

Пут и саобраћај

625.7



Бр. 1-2 1982. • Јануар-фебруар • Год. XXVIII



Пут и саобраћај

Часопис Друштва за путеве СР Србије, Македоније, Црне Горе и САП Војводине

1-2

ГОД. XXVIII • ЈАНУАР—ФЕБРУАР 1982.



САДРЖАЈ

Проф. Драгољуб Мацура
Нови правилник о елементима путева и упутство за примену правилника

Др Здравко Јоксић, дипл. инж.
Узроци оштећења асфалтних слојева коловозне конструкције
на деоници ауто-пута кроз Београд

Др Бранимир Ујдур, дипл. инж.
Приказ резултата мерења отпора клизању на асфалтним коловозним
засторима на путевима и у лабораторији

Др Миодраг Обрадовић,
Р. Љубичић, дипл. инж.
Веза и прионљивост асфалтних слојева флексибилних коловозних конструкција

Др Душан Светел, И. Пап
Могућност одређивања стандардних вискозности битумена
помоћу ротационог вискозиметра

Др Душан Светел, И. Пап
Утицај растварача на вискозност битумена

Др Душан Светел, дипл. инж.
Могућност примене природних асфалта с подручја
Југославије у асфалтним мешавинама

Мр Зоран Радојковић,
Ј. Ђуран, М. Стефановић
Комплексни модули југословенских асфалтних мешавина,
одређени индиректним поступцима

Др Александар Цветановић, дипл. инж.
Особине битуменом везаних материјала

Фотографија на првој страни:
Петља код Мркоњић града
пут АВНОЈ-а

Конгреси, симпозијуми
преглед објављених радова у току 1981. године.

Издавачки савет

Антонић Славољуб, Бајрами Шпенд, Бајевић Србољуб,
Бејтула Деваја, Бурбах Герхард, Вајда Војислав,
Гвозденчевић Миленко, Диманић Бранислав,
Ђорђевић Михајло, Ђукић Живорад,
Капларевић Вићентије, Кркић Предраг,
Марковић Мирослав, Марковић Никола,
Миливојевић Милан, Папо Јосиф, Радоман Радован,
Раковић Златомир, Славић Грујо, Филиповић Љубомир,
Шурбановић Бранко.

Уредништво и редакција

Анђус Војо, Буђевац Владимир, Ђурић Никола,
Катанић Јован, Кузовић Љубиша, Мијушковић Вера,
Миловановић Владета, Обрадовић Миодраг,
Ристић Никола, Терзић Милорад, Петковић Срђан,
Узелац Ђорђе, Шутић Јован.

Главни и одговорни уредник

Др Здравко Јоксић, дипл. инж.
Грађевински факултет у Београду
Булевар Револуције 73

Лектор:

Петар Кашић

Технички уредник

Тома Станковић, граф. инж.

Часопис издају:

Друштво за путеве СР Србије, Црне Горе
Македоније и САП Војводине

Претплата за часопис:

60 дин. годишње за појединце а 600 дин. за установе и пре-
дузећа. Цена часописа по једном примерку 5 динара.

Оглашавање у часопису:

800 и 1600 дин. у једном броју, односно 5000 и 10000 дин.
годишње, зависно од величине огласа (половина или цела
страна) и његовог положаја у часопису. Претплату за
часопис слати на текући рачун Друштва за путеве СРС
код Народне банке — 60816-678-4223, а огласе и остало на
Друштво за путеве СР Србије поштански фах, 452 Кумо-
драшка нова 257

Штампа:

ИШРО „Привредно финансијски водич“
Београд, Патријарха Димитрија 24

Нови правилник о елементима путева и упутство за примену правилника

Проф. ДРАГОЉУБ МАЦУРА, дипл. инж.

Савез друштава за путеве Југославије публиковао је јуна 1981. године као 30. свеску својих издања Правилник о основним условима које јавни путеви изван насеља и њихови елементи морају да испуњавају са гледишта безбедности саобраћаја и Упутство за примену Правилника. Овом публикацијом пројектантима је омогућено да на једном месту нађу нормативе којих се треба придржавати при трасирању и пројектовању, одговарајуће одредбе Закона о основама безбедности саобраћаја на путевима и тумачења како поступити у примени појединих одредби Правилника. Сем тога, дата су и извесна упутства о трасирању и пројектовању путева уопште.

Правилник заслужује да му се поклати одређена пажња јер су извесне поставке на којима се заснивају његове одредбе усвојене мимо изнетих теоријских и стручних доказа, тј. приклањањем решењу које је у досадашњој пракси мање-више уобичајено, или је примењено у страним нормативима, или које представља компромис супротних ставова. При том неке од одредаба представљају промашаје и не могу допринети побољшању услова пројектовања путева, док друге одредбе непотребно отежавају рад пројектантима. О овоме треба водити рачуна при доношењу предлога за нови правилник, када за то буде време.

У овом чланку биће разматрани само елементи пута који су условљени слободном брзином возила или конструкцијама пута. За елементе одређене величином саобраћаја треба очекивати дискусију саобраћајних стручњака. Одредбе Правилника и одговарајући делови Упутства који овде нису поменути или представљају, по мом мишљењу, добра решења, или су примедбе такве да дискусија може овом приликом да изостане.

1. НАЧЕЛНЕ ПРИМЕДБЕ НА ПРАВИЛНИК

Као што је то случај у целом свету, и нови правилник о елементима путева пренебрегава готово у потпуности „фактор човек“ и заснива одређивање елемената пута на:

1. константној рачунској брзини коју возач нити познаје нити остварује у слободној вожњи;

2. коефицијенту отпора клизању f_r , као физичком својству материјала пнеуматик-коловоз, које се реализује под одређеним условима;

3. примени највећег дозвољеног попречног нагиба коловоза у кривини ($q_{\max} = 7\%$) при израчунавању $R_{\min}$ у оквиру свих, па и великих пројектних брзина;

4. геометријским особинама клотоида, не водећи рачуна о времену кретања возила дуж прелазнице, брзини заокрета предњих точкова и величини бочног удара, односно о визуелном дејству прелазнице, које је условљено одређеним углом угла τ и радијуса R , који мора бити другачији од до сада усвојеног.

Ад.1 Константна пројектна брзина не може бити основ за димензионисање ни хоризонталне кривине ни било ког другог елемента пута, јер брзина којом ће се возило кретати зависи од прихватљивог напрезања возача, које изазива сама брзина и облик трасе, односно како је и са каквим елементима пут пројектован. Брзина у великој мери зависи од хоризонталне закривљености пута и дејства резултујуће радијалне силе на возило и возача, које изазива одређено напрезање. У кривини већег радијуса брзина возила ће бити већа без обзира на то по коме путу се возило креће, односно без обзира на рачунску брзину. Повећање брзине са порастом радијуса кривине престаје када прихватљиво напрезање возача буде исцрпљено.

Ад.2 Коефицијент радијалног отпора клизању који се јавља на додиру точкова и коловоза и којим се савлађује некомпензирани део центрифугалне силе у кривини има изванредно велике вредности у односу на попречну силу коју возач може да прихвати при одређеној брзини. Вредности ток коефицијента добијају се мерењем и нису потпуно реалне пошто зависе од инструмената и методе мерења. Расподела измерених величина на подужну и попречну компоненту не одговара стварности, те се добијају релативно мале вредности радијалних коефицијената отпора клизању f_r , док су оне стварно знатно веће. Међутим, ни овако мале f_r , које се користе за димензионисање хоризонталне кривине, нису у складу са прихватљивом попречном силом која представља израз могућности возача да реализује одређену брзину у кривини. У томе делимично леже узроци општеприхваћеног става да су брзине возила на путевима са малом рачунском брзином ве-

ће, а на путевима са великом рачунском брзином мање од рачунске брзине.

Ад.3 Одређивање минималног радијуса у оквиру великих рачунских брзина на основу дозвољеног попречног нагиба $i_{pd} = 7\%$ представља формализам, јер велики попречни нагиби не омогућавају возачу да оствари велику рачунску брзину. Ово је још један разлог што су прихватљиве брзине возила увек знатно мање од великих рачунских брзина. Супротно жељеном, велики попречни нагиби изазивају негативна дејства на возача спорог возила, јер га приморавају да на точак управљача дејствује тако да возило не скрене ка центру кривине.

Ад.4 Применом параметара $A_{min} = \sqrt{R_{min} \cdot L_{min}}$, и $A = R/3$ ($\tau = 1/18$) при димензионисању прелазне кривине не саображавају се услови пута прихватљивим условима управљања возилом нити усклађује пораст закривљености дуж прелазнице са закривљеношћу кружног лука. На овако одређеној дужини прелазне кривине су време кретања возила дуж прелазнице, брзина заокрета предњих точкова и бочни удар несаображени са закривљеношћу кривине, што је за возача неприхватљиво. Исто тако, и визуелно дејство пораста закривљености није усаглашено са психички повољним, јер када је меродавни параметар A_{min} , угао τ на крају прелазне кривине се мења по хиперболи код које је аргумент квадриран, што значи да веома брзо опада са порастом радијуса. Када важи параметар $A = R/3$, угао τ је константне вредности, што даје сувише мале дужине прелазница за мале радијусе и исувише дуге прелазнице за велике радијусе. Слично је, али у нешто блажој форми, и са прелазницама чије су дужине утврђене Правилником о елементима путева, јер су те дужине утврђене Правилником о елементима путева, јер су те дужине везане за пројектну брзину и непроменљивих су величина у кривинама радијуса од R_{min} до $3R_{min}$.

2. РАЧУНСКА, ПРЕТХОДНА И ОЧЕКИВАНА БРЗИНА

У настојању да се неки елементи пута саобразе возним брзинама, у СР Немачкој је уведена тзв. очекивана брзина. Према тач. 2.2 Упутства, то је „85%-на брзина на мокром и чистом коловозу“, али се не може третирати као брзина која се може остварити, већ као брзина коју остварује 85% возача на одређеној деоници пута. Разлика између могуће и оствариване брзине је при великим брзинама веома значајна, пошто возачи не прихватају могуће напрезање у свакодневnoj вожњи. Увођење очекиване брзине у Правилник извршено је неадекватно, што може довести до забуне при тумачењу појединих одредаба. Према тач. 2.2 Упутства, на основу очекиване брзине врши се одређивање попречног нагиба коловоза у кривини q и прегледност при кочењу P . Међутим, при предлагању да се у нов правилник уведе очекивана брзина, очигледно је дошло до погрешног схватања суштине проблема, те Правилник у тач. 2.2.1 утврђује да „за ауто-путеве 1. и 2. раз-

реда очекивана брзина вожње V_o представља рачунску брзину“, која је према 1. ставу тач. 2.1. „брзина на основу које се израчунавају елементи трасе и попречног профила“, док у 1. ставу тач. 2.1.1 стоји да „претходна брзина V_p је меродавна за одређивање ширине профила“. И даље: тачка 2.4 Правилника која коначно своди намену очекиване брзине V на праву меру. Очигледна неусаглашеност не само одредаба правилника, већ и између противуречно формулисаних одредаба Правилника и Упутства за примену Правилника. Све ово мора да створи конфузију код пројектанта и представника органа надлежних за одобравање пројеката, те ће се лоше одразити на пројектовање путева. Правилник би био много јаснији, а концепције на којима се заснивају његове одредбе биле би доследније, да је рачунска брзина утврђена директно и непосредно како је утврђена претходна брзина, а да је у посебном члану уведен појам очекиване брзине као меродавне за одређивање попречног нагиба и дужине прегледности.

У поглављу 2. Упутства веома добро и систематично је обрађен појам очекиване брзине и како се до ње долази. Захваљујући томе, омогућено је корисницима публикације да се лакше снађу у недовољно јасним одредбама Правилника који се односе на рачунску брзину.

Као алтернатива прихваћеним ставовима попуњена је и одбачена следећа концепција решења овог проблема.

Као прихваћива брзина дефинише се она слободна брзина коју може да оствари, у кривини радијуса R , 85% возача уз највеће подесно, односно још увек неизграђено напрезање при управљању довољно снажним путничким возилом. Рачунска брзина треба да представља минималну прихватљиву брзину која се за један пут прописује. Рачунска брзина треба да буде прописана на основу услова и трошкова експлоатације који зависе од прогнозиране величине и структуре саобраћаја. Док се не изведу и не докажу прихватљиве брзине, уместо њих се могу користити возне брзине $V_v = \sqrt{127 R(f_r + q)}$, при чему је $f_r = aV^2 - bV + c$ коефицијент отпора клизању, чије су вредности прихваћене у Правилнику. Док се не утврди зависност рачунске брзине од услова експлоатације за дату величину и структуру саобраћаја, рачунске брзине могу бити прописане како је то учињено табелом 2 Правилника. Ширина профила пута и радијус R_{min} били би зависни од рачунске брзине, а сви елементи трасе (сем нагиба нивелете) били би одређени на основу возне брзине, односно према радијусу кривине који терен условљава; при чему возна брзина не би могла имати вредност већу од 120 km/čas.

Да је прихваћена ова концепција не би требало уводити још једну унапред одређену — очекивану брзину, као величину меродавну за одређивање макар и неких елемената пута, и важиће за деоницу пута као целину. Сви елементи трасе били би усаглашени међусобно и са прихватљивом брзином коју нужно условљава минимални, односно тереном условљени радијус кривине.

3. ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ

3.1.1 Коефицијент отпора клизању f_r

Несумњиво је да вредности f_r према новом правилнику представљају побољшање у односу на вредности утврђене ранијим техничким прописима. Међутим, вредности f_r , одређене као компонента измереног отпора клизању точка по коловозу, не одговарају условима управљања возилом које прихватају возачи. Испитивања су показала да је при напред дефинисаној прихватљивој брзини од 30 km/čas прихватљива попречна сила знатно већа од коефицијента f_r , док је при брзини 120 km/čas знатно мања од f_r , што доводи до неусаглашености рачунских и остварених брзина.

3.1.2 Попречни нагиби $q_{\max}$ и q_r

Нови правилник, као и ранији прописи, и прописи других земаља, утврђује израчунавање радијуса $R_{\min}$ у оквиру свих па и највећих рачунских брзина применом попречног нагиба $q_{\max} = 7\%$.

Овако утврђивање радијуса $R_{\min}$ не одговара очекиваним условима вожње и управљања возилом.

На дијаграму на сл. 1 приказане су возне брзине $V_v = \sqrt{127 R(f_r + q)}$ при чему f_r има вредности одређене новим правилником. Горња линија је конструисана за $q_{\max} = 7\%$, доња линија за $q_{\min} = 2,5\%$. (Приказане линије су нешто стрмије од оних које приказују прихватљиве брзине с тим да су V_v за мале R мањих вредности, а за велике R већих вредности од прихватљивих брзина). Упоредо је приказана линија $V_{85\%}$ брзина путничких возила са мотором запремине веће од 1000 cm³ ($V_{85\%}$ је брзина коју остварује 85% возила у слободној вожњи). Не улазећи детаљно у осетљиво подручје возачеве психе, треба напоме-

нути да су брзине $V_{85\%}$ остварене уз значајно смањење напрезања, које остаје далеко испод прага свести возача. Из линија на сл. 1 се види да су брзине $V_{85\%}$ веће од брзина V_v до брзине 85 km/čas, односно 90 km/čas, а да су преко ових вредности V_v мање, што значи да у првом случају постоји релативно веће, а у другом случају релативно мање напрезање. Формално посматрано у првом случају би требало примењивати $q > q_{\max}$ а у другом случају $q < q_{\min}$. Међутим, ни једно ни друго није могуће. Између $R = 280$ и $R = 460$ m би требало извршити промену од $q_{\max}$ на $q_{\min}$.

С друге стране, из дијаграма на сл. 1 се види да је у кривини $R = 700$ m, $V_{85\%} = 97$ km/čas. Изражавање одређених величина за ове улазне податке могуће је коришћењем следећих образаца:

$$(a) f_r = aV^2 - bV + c$$

— отпор клизању уз чије ангажовање је могуће реализовати брзину V_v . При отпору f_r је напрезање возача знатно испод трага свести (сем за велике V , што је недостатак коефицијента $f_r = f(V)$.

$$(b) R = V^2/127 (f_r + q)$$

— радијус R кривине у којој се може реализовати брзина V уз ангажовање f_r и q ;

$$(c) f_{r1}, f_{r2} = V^2/127 R - q$$

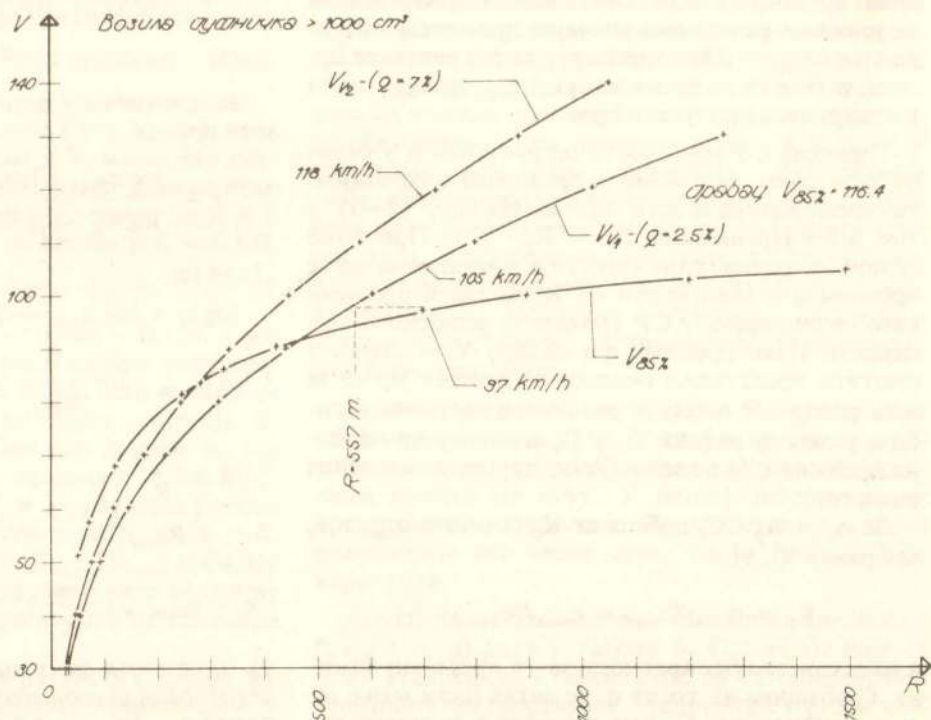
— ангажовани отпор клизању при брзини V , у кривини R , на коловозу нагиба q . Изражава напрезање возача у тим условима;

$$(d) V_v = \sqrt{127 R (f_r + q)}$$

— возна брзина у кривини R , q уз ангажовање $f_r = f(V)$.

За $V_{85\%} = 97$ km/čas и $R = 700$ m постоје следеће величине:

- (1) За $V_{85\%} = 97$ km/čas је према (a) $f_r = 0.1084$;
за $q_{\min}$ је према (b) $R = 557$ m



Сл. 1

- (2) За $V_{85\%} = 97 \text{ km/čas}$ и $R = 700 \text{ m}$ су према (c):
 за $q_{\min} f_{r1} = 0.0811 = 0.75 f_r$
 за $q_{\max} f_{r2} = 0.0361 = 0.33 f_r$
 (3) За $R = 700 \text{ m}$ и f_r прама (a), су према (d):
 за $q_{\min} V_{v1} = 105 \text{ km/čas}$
 за $q_{\max} V_{v2} = 118 \text{ km/čas}$

На основу (2) се уочава да је напрезање возача, изражено са f_{r1} , знатно смањено у односу на напрезање изражено са f_r , које ионако има мале вредности. То значи да су у кривинама великих R нагиби $q > q_{\min}$, који би требало да смање f_{r1} на f_{r2} , непотребни. Из налаза под (3) се види да је у кривинама са $R = 700 \text{ m}$ $V_{85\%} = 97 \text{ km/čas}$ док се прорачуном уз увођење f_r и $q_{\min}$ добије $V_{v1} = 105 \text{ km/čas}$, тј. величина коју $V_{85\%}$ добија тек у кривини са $R = 1500 \text{ m}$. Међутим, увођењем f_r и $q_{\max}$, у кривини са $R = 700 \text{ m}$ добија се брзина 118 km/čas , коју 85% возача путничких возила са мотором запремине веће од 1000 cm^3 не остварује ни на правцу. Ово речито говори да увођење у рачун $q > q_{\min}$ у оквиру великих пројектних брзина доводи до погрешних закључака и фиктивних релација V, R . На основу тога се може закључити да попречне нагибе треба третирати првенствено као технички чинилац од значаја за мале R (са повећањем q се мале V_v мало повећавају) и да промена q треба да буде усклађена са променом f_r , тј. $q_r = a_1 V^2 - b_1 V + c_1$. У том смислу је и поднет предлог за третирање q .

Усвајање зависности q од возне брзине, што би довело до смањивања $q_{\max}$ са порастом рачунске брзине, представљало би за светске појмове неуобичајено решење иако напред изведени докази показују да велики попречни нагиби не подстичу возаче на повећање великих брзина, а познато је да велики попречни нагиби узрокују у кривинама великих R негативну попречну силу која дејствује на спора возила. С обзиром на то да су чланови проширене комисије били неприпремљени за усвајање релативно значајне промене у третирању q , $q_{\max} = 7\%$ задржан је за све рачунске брзине, с тим да се промена q од $q_{\max}$ до $q_{\min}$ врши у оквиру сваке рачунске брзине.

Промена q у зависности од растућих R у оквиру $V_r = \text{const.}$ задржана је применом коефицијента пропорционалности према обрасцу (2—1) у тач. 3.1.3 Правилника ($q_r = K_p \cdot C_r$). При томе су поново разматране сугестије и мишљења да се промена q у зависности од R саобрази промени како се она врши у СР Немачкој, односно Швајцарској. Иако промена q у оквиру $V_r = \text{const.}$ у суштини представља неповољно решење јер се за исти радијус R добијају различити попречни нагиби q у оквиру разних V_r , у Правилнику прихваћена промена q је повољнија од других из следећих разлога.

За $q_r = K_p \cdot C_r$ добија се K_p из услова $q_{\max}$ и f_r за брзину V_r , тј.:

$$K_p = q_{\max}/C_{\max} = q_{\max}/(q_{\max} + f_r)$$

и има константну вредност за ту пројектну брзину. С обзиром на то да q_r не може бити мање од $q_{\min}$, коефицијент K_p има важност у подручју ра-

дијуса $R_{\min}$ до R_g , за који је $q_r = q_{\min}$. Радијус R_g одређен је условом

$$\frac{R_g}{R_{\min}} = \frac{\frac{V_r^2}{127 C_g}}{\frac{V_r^2}{127 C_{\max}}} = \frac{C_{\max}}{C_g}$$

$$C_{\max} = q_{\max}/K_p \quad C_g = q_{\min}/K_p$$

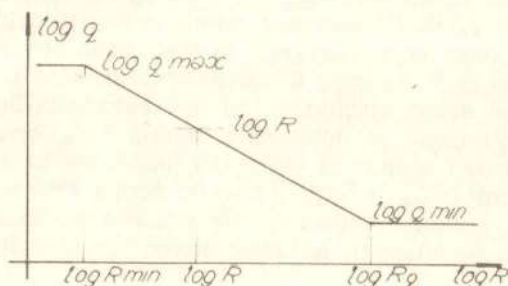
$$R_g = R_{\min} \frac{q_{\min}}{q_{\max}}$$

За $q_{\max} = 7\%$ и $q_{\min} = 2,5\%$ је $R_g = 2,8 R_{\min} = m \cdot R_{\min}$, одакле следи и да је

$$q_r = q_{\max} \frac{R_{\min}}{R}$$

тј. q_r има промену према хиперболи која је у дијаграму са логаритамском поделом приказана правом линијом.

Прописи СР Немачке и Швајцарске захтевају шире подручје R у коме се врши промена q , тј. $m > 2,8$. У немачким прописима се q мења од $q_{\max} = 6\%$ до $q_{\min} = 2,5\%$ у подручју одређеном са $m = 3,5$. Прописи Швајцарске су ближи нашем правилнику јер су $q_{\max} = 7\%$ и $q_{\min} = 2,5\%$ а у овим прописима је $m = 5$.



Сл. 2

За произвољну величину R_g (сл. 2) је коефицијент правца

$$z = \frac{\log q_{\max} - \log q_{\min}}{\log R_g - \log R_{\min}} = \frac{\log (q_{\max}/q_{\min})}{\log (R_g/R_{\min})}$$

Даље је:

$$\begin{aligned} \log q &= \log q_{\max} - (\log R - \log R_{\min}) \times z = \\ &= \log q_{\max} - \log \frac{R}{R_{\min}} \times z = \log q_{\max} - \log \left(\frac{R}{R_{\min}} \right)^z = \\ &= \log \frac{q_{\max}}{\left(\frac{R}{R_{\min}} \right)^z} \end{aligned}$$

$$q = q_{\max} \times \left(\frac{R_{\min}}{R} \right)^z = q_{\max} \cdot R_{\min}^z \times \frac{1}{R^z} = \frac{a}{R^z}$$

тј. q се мења по хиперболи у којој је аргумент степенован експонентом Z , који за наведене вредности $q_{\max}/q_{\min} = 2,8$ и $m = 5$ износи

$$Z = \log 2.8 / \log 5 = 0,6397.$$

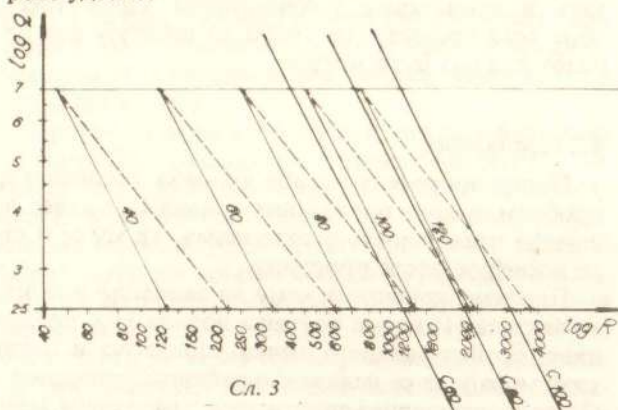
У прописима СР Немачке је

$$Z = \log (6/2,5) / \log 3.5 = 0,6983$$

У оба случаја се може узети $Z \approx 2/3$, па је

$$q_r \approx q_{\max} \cdot (R_{\min}/R)^{2/3} = q_{\max} \sqrt[3]{(R_{\min}/R)^2}$$

Упоређење два начина промене попречних нагиба могуће је на основу дијаграма на сл. 3, на коме су конструисане, за $R_{\min}$ према Правилнику, линије промене попречних нагиба, и то танке пуне линије за $m = 2.8$, испрекидане танке линије за $m = 5.0$ и дебеле линије центрифугалних сила које дејствују на возило при брзинама 60, 80 и 100 km/čas. При коришћењу слике 2 треба имати у виду да су за $V_r > 80$ km/čas радијуси $R_{\min}$ израчунати применом великих, правилником утврђених вредности f_r , те су $R_{\min}$ имали и да линије $q = f(R)$ у реалним условима морају бити померене удесно.



Сл. 3

Из дијаграма на сл. 3 се види да промена q за $m = 5$ утврђује, у оквиру свих рачунских брзина, а што је значајно за мале V_r , повећање попречног нагиба за $\Delta q = 1.12\%$ у кривини радијуса 2.8 $R_{\min}$, тј. у кривини у којој је центрифугална сила опала на $\frac{1}{2.8} \times 100 = 35.7\%$ -ну вредност. (Ова-

ква дискусија је неоснована јер у кривини радијуса 2.8 $R_{\min}$ брзина возила неће бити V_r , већ већа од V_r и утолико већа уколико је V_r мање. Но друга дискусија није могућа, јер се оваква промена q заснива на $V_r = \text{const.}$ То значи да је и f_r опало за исту меру. За $V_r = 50$ km/čas је $f_r = 0,193$,

па ће у кривини 2.8 $R_{\min}$ бити $f_{rR} = \frac{0,193}{2.8} = 0,069$ и мање је за $0,193 - 0,069 = 0,124$. Тако мали потисак (0,069) по другом начину витоперења се умањује још за $\Delta q = 0,011$, што никако не може бити оправдање за повећање подручја R , односно коефицијена m . Тим пре што се на тај начин Δq , које има највећу вредност за 2.8 $R_{\min}$, смањује са смањивањем R и за радијусе блиске $R_{\min}$, где је центрифугална сила највећа, је $\Delta q \approx 0$. И при промени q у подручју ($R_{\min}$, $5R_{\min}$) добијају се у кривини радијуса R три различите величине q у оквиру три рачунске брзине што не одговара очекивањима возача.

Ако се у оквиру великих рачунских брзина измена q врши по првом начину, примењеном у

Правилнику, ($q_r = q_{\max} \times R_{\min}/R$), у свим кривинама радијуса од $R_{\min}$ до R_g брзина возила 60 km/čas представља приближно брзину слободног волана на путу са $V_r = 100$ km/čas јер су центрифугалне силе нешто мало мање од компоненте тежине возила на нагнутом коловозу (види сл. 3). Исто важи и за брзину возила 80 km/čas на путу са $V_r = 120$ km/čas. При томе се при измени попречних нагиба према другом начину ($q_r = q_{\max}/(R_{\min}/R)^2$) јављају негативни потисци на возило, јер су попречни нагиби, па и потисци од попречних нагиба, већи од јединичних центрифугалних сила. То принуђује возача спорних возила да у кривинама релативно малих радијуса и на коловозу са $q_r > q_{\min}$ дејствује на точак управљача тако да возило не промени путању усмеравајући се ка центру кривине. Овакви услови управљања возилом, без обзира на мале вредности негативних потисака, не одговарају возачу нити доприносе безбедности саобраћаја. Овде треба подсетити на речено, да ће негативни потисци бити још већи када се примене реалне, тј. мање вредности коефицијента f_r , односно када вредности $R_{\min}$ порасту.

С обзиром на то да измена попречних нагиба по другом начину не даје жељене ефекте у оквиру малих рачунских брзина и да велики попречни нагиби, које таква промена условљава, не стимулишу возаче на повећање великих брзина већ само изазива одређене сметње код возача спорних возила, лако је закључити да је измена попречних нагиба према $q_R = q_{\max} \cdot R_{\min}/R$ ($m = 2.8$) повољнија и да у Правилнику усвојена промена q у већој мери (иако недовољно) задовољава очекивања и захтеве возача.

3.2 Прегледност при кочењу

Увођење три дужине прегледности, детаљније објашњене у поглављу 3.2 Упутства, представља приближавање услова управљања возилом претпостављене у току пројектовања условима које возач очекује и прихвата на путу. Посебно је од значаја дужина прегледности P_3 која мора да буде обезбеђена и при примени радијуса $R_{\min}$, тј у најтежим теренским условима. Захваљујући томе, дужина прегледности постаје елемент пута који мора бити обезбеђен, насупрот ранијој пракси, када су исувише оштри захтеви у овом смислу били пренебрегавани због немогућности да буду примењени. Међутим, и дужинама прегледности могу се ставити, са теоријског становишта, одређени приговори.

Прва и основна општа замерка састоји се у томе што је образац (3) за Z усвојен према дијаграмима успорења и брзине који не одговарају условима кочења на путу. У нашој литератури су презентиране повољније интерпретације услова реализације као чеоне силе, па је требало њих користити.

Друга општа примедба се односи на вредности ft и $(ft + u)$ дате у табели 5. Примедбе које се могу ставити на f_t идентичне су са примедбама учињеним вредностима f_r . Јединични отпори ваз-

духа w нису презентирани непосредно и њихове вредности се могу добити одузимањем f_t од $(f_t + u)$. Вредности i су исувише велике и њихов прираст са повећањем брзине не одговара стварности. Уместо да повећања отпора расту са брзином, она опадају. Међутим, вредност $(f_t + u)$ могу се прихватити онако како су дате у табели 5, али са другачијим образложењем, да представљају смањене вредности у односу на могуће и да су као такве усвојене ради обезбеђења лакших услова кочења, односно смањивања напрезања возача.

На вредности укупног успорења израженог са $a = 4$ односно 5 m/s^2 у тач. 3.2.5 Правилника стављене су примедбе у смислу да их је немогуће, или бар, веома тешко, реализовати. У лето 1981. године извршен је низ мерења успорења уз интроспективну оцену удобности и понашања возила при кочењу. О томе је проф. Мирослав Марковић написао чланак за „Пут и саобраћај“. Општи закључак из ових опита је да се вредности успорења унетих у Правилник могу користити тим пре када се има у виду релативан број кочења за које прегледношћу пута треба обезбедити потребне услове. (Далеко су значајнији услови кочења који проистичу из недовољног растојања возила у следу, на које се елементима пута не може утицати).

На поједине дужине прегледности треба ставити следеће примедбе.

Дужине P_1 су дате за све вредности пројектних брзина, што представља бесмислицу с обзиром на саму дефиницију дужине P_1 коју треба обезбедити при веома повољним елементима трасе, односно када је возач веома мало ангажован управљањем возилом. Дужину P_1 требало је утврдити само на основу рачунске брзине $V_r = 120 \text{ km/čas}$, а њену примену захтевати када су примењени радијуси хоризонталних кривина $R \geq 2000 \text{ m}$ на дужим секторима пута у равничарском терену. Дужине P_1 погрешно су конципиране јер се не може занемарити отпор при оваквим брзинама. С друге стране, за психотехничко време и подужни удар је требало одредити веће вредности.

Дужине прегледности P_2 одређене су за услове форсираног кочења па због тога не би требало да буду коришћене за одређивање радијуса вертикалних кривина, поготову у условима када су примењени радијуси знатно већи од $R_{\min}$.

Прелазно време t за израчунавање дужина P_3 је велико и може се прихватити једино ако се сматра да се један део тог времена ангажује на прираст кочионе силе.

4. ЕЛЕМЕНТИ ОСОВИНЕ

4.1 Радијуси $R_{\min}$

С обзиром на примену коефицијента отпора клизању f_t неприлагођеног прихватљивој попречној сили и примену $q_{\max}$ при израчунавању $R_{\min}$ у оквиру свих пројектних брзина, радијуси $R_{\min}$ су већи од потребних за рачунске брзине мање од $V_r = 70 \text{ km/čas}$. и мањи од потребних за $V_r > 70 \text{ km/čas}$. Ако се примене f_t и $q_{\max}$ прилагођени

психичким захтевима, уштедеће се у трошковима грађења због могуће примене мањих $R_{\min}$. Уштеде ће бити веће уколико је рачунска брзина мања. Применом психолошки дефинисаних параметара, радијуси $R_{\min}$ биће утолико већи од Правилником утврђених, уколико је V_r већа. То ће довести до смањивања рачунске брзине у свим случајевима када теренски услови не допуштају примену потребних величина $R_{\min}$. Тиме ће пројектне брзине постати реалне величине које возачи могу да остваре уз одговарајуће напрезање. Смањивањем V_r и саобраћавањем ширине коловоза остварљивим V_r уштедеће се у трошковима грађења, уз потпуније прилагођавање услова које утврђује пут условима управљања возилом који су прихватљиви за возача.

Одредба 4.1.1 о усаглашености радијуса суседних кривина је веома значајна и можда најзначајнија за безбедност саобраћаја. Појава усамљене оштре кривине, макар она била на $R \geq R_{\min}$, између кривина велика R , изазива изненађење за возача и представља потенцијални узрок удеса. Због тога пројектанти треба да поштују ову одредбу кад год је то могуће.

4.2 Прелазнице

Поред попречних нагиба коловоза у кривини q , проблем дужина прелазних кривина L је довео до највеће издвојености у ставовима, те му се и овде посвећује доста простора.

Прелазне кривине морају да задовоље две врсте захтева (1) време кретања возила дуж прелазнице, брзина заокрета точка управљача и бочни удар морају да се налазе у одређеним границама и (2) прираст закривљености дуж прелазнице мора да зависи од закривљености кружног лука. Конструктивни захтеви, који морају бити задовољени прелазницама, по правилу се задовољавају другим критеријумима и у том погледу треба само извршити проверу.

Захтеви под (1) нису утврђени неким прецизним мерилима и границе у којима се налазе могу бити шире. Али задовољење тих захтева не може излазити из тих граница. Тако, време кретања возила дуж прелазнице не може бити веома мало (рецимо $0,5 \text{ s}$), нити заокрета волана може бити, рецимо пута мања од неке просечне брзине. Такође, ни бочни удар не сме бити таквог дејства које возач и лица у возилу осећају. И, посебно, величина бочног удара не сме бити већа при улазу у кривину већег радијуса, тј. када нараста мања попречна сила.

Време кретања возила дуж прелазнице (односно време заокрета точка управљача одређено је са

$$t = 3.6 L/V_v$$

Угао заокрета предњих точкова ϵ одређен је са

$$\text{tg } \epsilon = l_0/R \approx \hat{\epsilon} = \hat{\epsilon} \times 57^\circ, 296$$

при чему је l_0 растојање осовина на возилу. Усваја се $l_0 = 3,0 \text{ m}$.

Једнолична брзина заокрета предњих точкова одређена је са

$$v_e = \frac{\epsilon}{t} \approx \frac{l_0}{R} \cdot \frac{V_v}{3.6} \cdot \frac{1}{L} \times 57^\circ,296 = \frac{171,887}{R \cdot t} \text{ (}^\circ/\text{s)}$$

Бочни удар x дат је познатом формулом

$$x = \frac{2.725 \cdot V_v \cdot f_r}{L}$$

Уколико се t , v_e и x приближавају екстремним границама или чак из њих излазе, утолико ће возач више бити изложен, најпре подсвесно а затим и свесно, негативном дејству облика осовине пута. При појави неприхватљивих напред наведених чинилаца, возач ће бити принуђен да путањом возила напусти линију на коловозу коју прати у току вожње, и биће при томе изложен повећаном напрезању. Такви услови управљања возилом не могу се сматрати нормалним и пројектом морају да се избегну.

У изразима за t , v_e и x брзина возила не може бити рачунска брзина, јер њу возач нити познаје нити је се придржава. То мора бити прихватљива брзина, коју возачи могу да остваре у кривини радијуса R , односно возна брзина, како је то у тач. 2 приказано.

Прираст закривљености дуж прелазнице треба да омогући уочљивост (перцептибилитет) тог прираста односно саме прелазнице, чиме се остварује позитивно дејство на психу возача. У кривинама малих R уочљивошћу прелазнице се обезбеђују оптичко вођење возача који, пратећи линију на коловозу, остварује путању возила која задовољава његове захтеве у погледу t , v_e и x и могућности да такву путању оствари. У кривинама свих радијуса постепено повећање закривљености дуж прелазнице отклања визуелно дејство „прелома“, односно обезбеђује континуитет у пружању пута, чиме се остварују естетски повољна решења.

Возач, посматрајући испред себе коловоз у кривини, уочава закривљеност посматрајући унутрашњу ивицу коловоза на одређеном растојању испред себе под ободним углом $\omega = \frac{\alpha}{3}$ у односу на правац одређен возилом. По истој основи, возач ће уочавати пораст закривљености дуж прелазнице, а самим тим и прелазницу, ако се на довољној дужини прираст ободног угла ω и ако $\omega = \tau/3$ има довољну величину на крају прелазне кривине. С обзиром да је за $\omega = 1^\circ \hat{\alpha} = 1/R$, тј. да је скретни угао који одговара јединици дужине лука једнак самој закривљености и да је $\hat{\alpha} = L/R^2 = \hat{\alpha}/2$, исти услови уочљивости пораста закривљености у кривинама растућих радијуса ће се добити ако угао τ опада са опадањем закривљености, тј. са порастом R . То значи да τ може да има промену у функцији радијуса изражену са $\tau = \tau_{\max} \cdot R_{\min}/R$ при чему је $\tau_{\max}$ одређен на основу $R_{\min}$, $L_{\min}$ за $V_{\min}$ и проверен преко других услова. Оваква промена τ би утврдила за све R исту дужину $L > L_{\min}$, што би одговарало стварности. За $R = R_0$ није потребно примењивати прелазницу, што је допуштено тач. 4.4.3.1 правилника и означено на сл. 4 у овом чланку. Међутим, пошто је и за релативно велике радијусе потребно обезбедити постепени прелаз из правца у кру-

жни лук и пошто треба рачунати са растућим брзинама у кривинама растућих R , промена τ треба да буде одређена са $\tau = \tau_{\max} \times (R_{\min}/R)^n$ при чему је $n < 1,0$.

При изради Нацрта правилника, за утврђивање дужине прелазне кривине L постојала су два предлога, а за усвојено решење се може рећи да представља компромис.

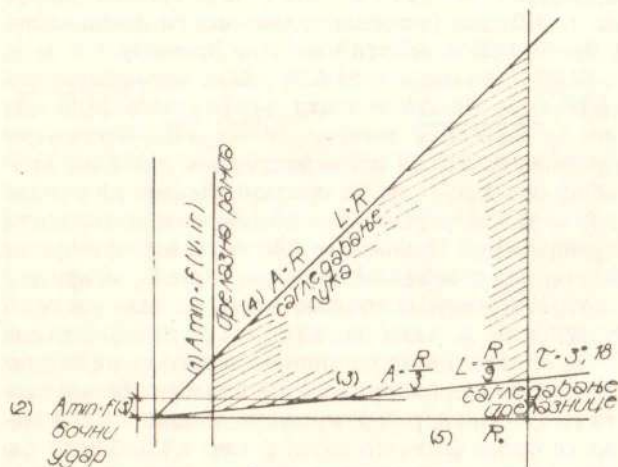
I предлог се састојао у томе да се прелазна кривина за свако R , без обзира на рачунску брзину, одређује на основу $\Delta R \approx 0,9 \text{ m} = \text{const.}$, што одређује $L = \sqrt{24 \cdot R \cdot 0,9}$ (ΔR је требало да буде $\sim 1,0$, али је стицајем околности предложено 0,9). Ако се за напред наведену промену $\tau = \tau_{\max} \times (R_{\min}/R)^n$ усвоји n са 0,5, таква промена се добија управо за $\Delta R = \text{const.}$ јер је $L \approx \sqrt{24 \cdot R \cdot \Delta R}$, $\tau \approx \sqrt{6 \cdot \Delta R/R}$ и $\tau = \tau_{\max} \sqrt{R_{\min}/R}$. (Француски прописи захтевају проверу дужине прелазне кривине, одређену другим критеријумима, на основу $\Delta R = 0,5 \text{ m}$ управо због обезбеђења уочљивости прелазнице). Применом $\Delta R = \text{const.}$ добија се постепено повећање L са порастом R , те време t заокрета предњих точкова веома полако расте са повећањем R , тако да је $t_{\max} : t_{\min} \approx 2:1$. Брзина v_e се готово пропорционално смањује са $1/R$ (директна пропорционалност не постоји због пораста t). Бочни удар X је пропорционалан са f_r и мења се према формули датај у тач. 4.4.а. Упутства. При оваквом третирању овог комплекса, постоје следеће релације: са порастом R закони се мења V_v и у функцији од V_v и f_r односно x , а преко x мења се истозначно и L односно сви вознодинамички и геометријски параметри су усклађени међусобно и са R , тако да се може сматрати да су услови управљања возилом прилагођени закривљености пута на исти начин у свакој кривини, без обзира на рачунску брзину. (Лакшем терену, који допушта примену већег R одговарају: већа V_v , мање f_r , мањи x , дужа L и незнатно дужа t . Уколико је терен тежи и принудно условљава мањи R , утолико су сви ови параметри оштрији).

Дужина $L = \sqrt{24 \cdot R \cdot 0,9}$ приказане су линијама 1 на сл. 5 и 6.

Овај предлог није прихваћен због бојазни да тако утврђене дужине прелазница неће моћи да се уклопе у терен иако те тешкоће треба очекивати само код веома плитких кривина, тј. када су у питању веома мали α . Међутим, критеријум $\Delta R = 0,9$ је примењен за утврђивање $L_{\min}$ за $R_{\min}$ у оквиру ступњевитих рачунских брзина, што представља извесно побољшање јер су макар $L_{\min}$ (за V_r усаглашене са бочним ударом, као што су $R_{\min}$ усаглашени са f_r). Овако је поступљено из разлога што $L_{\min} = \sqrt{21.6 R_{\min}}$ не одступају у великој мери од до сада примењиваних и од $L_{\min}$ одређених према II предлогу.

II предлог. Према овом предлогу требало је применити Немачке, односно Швајцарске прописе. У овим другим је дат дијаграм у коме је дефинисано подручје применљивих дужина прелазница изражених параметром A . (сл. 4). На слици се види да дужина прелазне кривине L мора бити већа од: (1) дужине прелазне рампе дозвољеног

нагиба; (2) дужине на којој се јавља бочни удар дозвољене величине; (3) $R/9$, што је условљено углом $\tau = \tau/18 = 3^\circ 18'$ и изражено параметром $A = R/3$, а што обезбеђује перцептибилитет прелазнице. (4) Прелазница мора бити краћа од $L = R$, што је условљено углом $\tau = \hat{1}/2 = 28^\circ, 296'$ и изражено параметром $A = R$, а што обезбеђује перцептибилитет кружног лука (углови $\tau = \hat{1}/18$ и $\tau = \hat{1}/2$ одговарају карактеристичним тачкама на јединичној клотоиди у којима је $\gamma = 3$ и $\gamma = 1$.) (5) Прелазница није потребна за радијусе $R > R_0$.



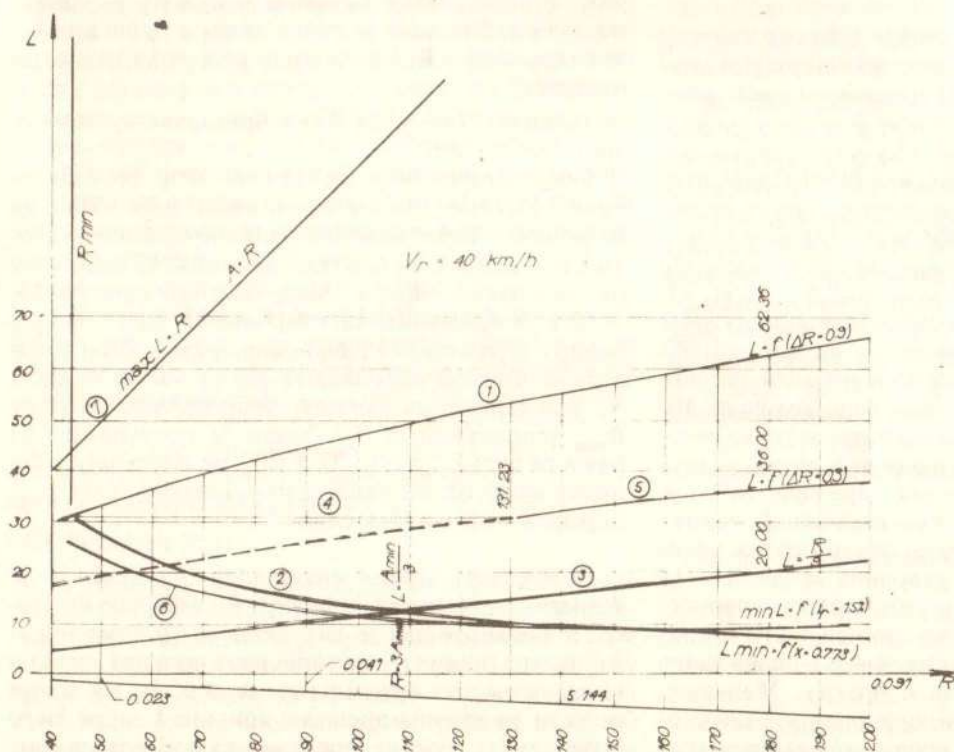
Сл. 4

Од 3 критеријума који дефинишу $L_{\min}$ најзначајнији би био критеријум који обезбеђује уочљивост прелазнице, јер би адекватним задовољењем тог критеријума била задовољена и остала два (као што је то у предлогу I). Међутим, поставка да се константном величином угла $\tau = \hat{1}/18$ обезбеђује уочљивост прелазнице апсолутно је

неприхватљива, што постаје разумљиво када се има у виду да овај критеријум одређује параметар $A = R/3$ и дужину прелазнице $L = R/9$ (за $R = 50 \text{ m}$ је $L = 5,5 \text{ m}$; за $R = 5000 \text{ m}$ је $L = 555,5$). Из ових разлога критеријум $A = R/3$ нема важност у подручју радијуса $R_{\min} < R < 3A_{\min}$.

Критеријуми $\tau = \hat{1}/18$ и $\tau = \hat{1}/2$ ($\gamma = 3$ и $\gamma = 1$) представљају реалне оквирне границе применљивости клотоиде с обзиром на перцептибилитет, односно естетику пута, али ти критеријуми морају да буду третирани на сасвим другој начин: да $\tau = \hat{1}/2$ буде меродаван за одређивање прелазнице за најмање, а $\tau = \hat{1}/18$ за велике радијусе кривина и да промена угла τ између ових величина прати промену R .

С обзиром на то да се критеријумом $\tau = \hat{1}/18$ ($A = R/3$, $L = R/9$) утврђују абнормално мале L за мале R , које нити обезбеђују перцептибилитет прелазнице, нити омогућавају нормалне услова управљања возилом, за подручје радијуса $R_{\min} < R < 3A_{\min}$, уведен је критеријум $A_{\min} = \sqrt{R_{\min} \cdot L_{\min}}$ који се заснива на захтеву да бочни удар x меродавне вредности остане константан. Дужина прелазнице утврђене критеријумима $A_{\min}$ и $A = R/3$ у оквиру Правилника (меродавне вредности f_r , $q_{\max}$, x) приказане су линијама 2 и 3 на сл. 5 и 6. Применом оба критеријума добијају се тако мале дужине L нарочито за $R = 3A_{\min}$, да се од пројектаната захтева да примењују знатно дуже L од прописаних, чиме им се, у ствари, препушта да субјективно оцењују и бирају параметре односно дужине прелазница. Самим тим прописи губе свој карактер и снагу. При избору параметара прелазница за повезивање два супротносмерно круга, пројектанти користе клотоидне лењире, савитљиву шипку, табеле и друга помагала, па ће повезивање два супротносмерна круга по прави-



Сл. 5

лу бити извршено клотоидом истог параметра с тим да буду задовољени захтеви $A > A_{\min}$ и $A > R/3$. И при томе ће се за круг већег радијуса добити мања дужина прелазнице ($A_1 = A_2$, $L_2 = R_1 \cdot L_1/R_2$) а при константној брзини возила биће време окретања точка управљача краће, док ће брзина v_e и x бити једнаки. Овакви чиниоци од утицаја на управљање возилом нису они које возач очекује, а исти ће се још и погоршати када брзина возила, зависна од R , буде већа од рачунске.

III Усвојено решење. Прелазница $L_{\min}$, одређена према $R = 0,9$ односно на основу $x = f(f_r)$, задржава се иста дужина за све R од $R_{\min}$ до $3R_{\min}$, при чему опада ΔR од 0,9 до 0,3. За $R > 3R_{\min}$ је $L = \sqrt{24 \cdot R \cdot 0,3} = \sqrt{7,2R}$ што одговара раније важећим прописима. Дужине прелазница утврђена Правилником приказане су линијама 4 и 5 на сл. 5 и 6. Начелно оцењујући ово решење, може се рећи да је знатно мање подобно од решења по предлогу I са разлога: (1) што су дужине прелазница везане за V_{rac} ; (2) ΔR , па и уочљивост прелазнице опада са порастом R и од $R = 3 R_{\min}$ уочљивост зависи од $\Delta R = 0,3$; (3) t, v_e и x су неусаглашени са R . Међутим, усвојено решење је знатно повољније од решења по предлогу II са разлога што се са порастом R не смањује L за било који R .

На сл. 5 и 6 линије 6 приказују минималне дужине прелазних рампи, које могу бити лимитирајући фактор за L . На сл. 5 приказана је линија 7 која представља $L_{\max} = R$, $A = R$. Уз ове слике треба користити и сл. Y-11 из Упутства, на којој су упоредо дате све ове линије изузев линије 2, за коју је $A = A_{\min}$ и која је везана за V_r .

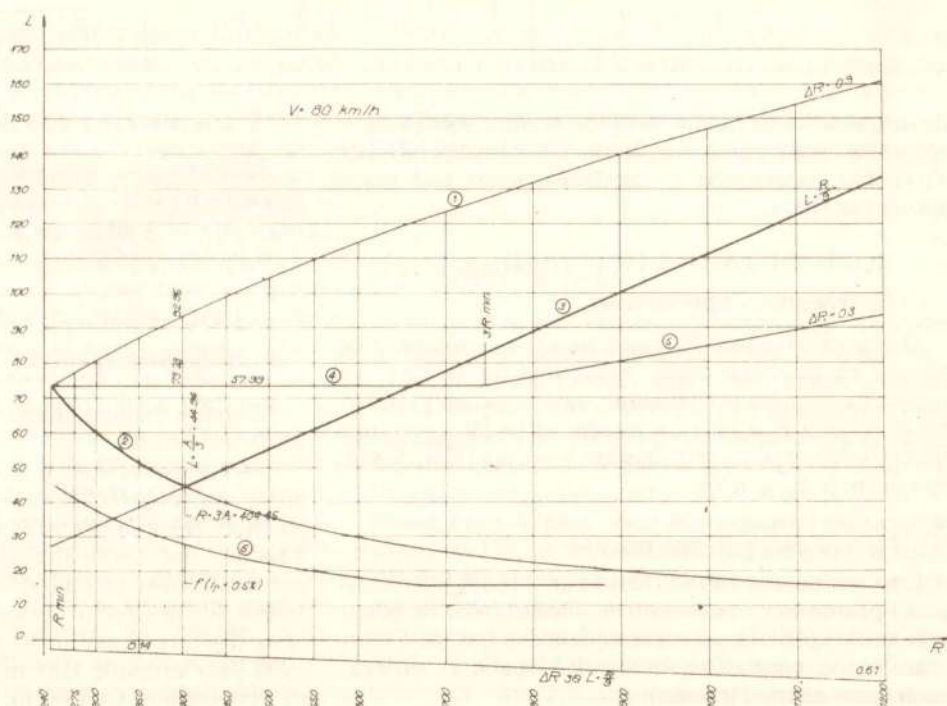
На слици Y-11 се налази и линија 8, која се Упутством препоручује за $L_{\max}$ и која се заснива на $\Delta R = 3,0$.

Ради лакшег уочавања карактеристика појединих решења израђене су и табеле 1 и 2. У првој су

дати обрасци за израчунавање одређених величина које приказују законитости промена као што их графички приказују сл. 5 и 6. У другој су дате бројне вредности одређених величина. Сви обрасци су изведени на основу полазног приближног обрасца $L \cong \sqrt{24 R \Delta R}$. На сликама и табелама се јасно виде преимућства и недостаци појединих решења. Тако, према I решењу $\Delta R = 0,9$ за кривину било ког радијуса R у којој је $V_v = \sqrt{127 R (f_r + q)}$, $f_r = f(V)$, утврђена је као минимална само једна дужина прелазне кривине L и само једна вредност x и t . При томе са порастом R , L расте са $\sqrt{R}$ и то тако да параметар (фактор увећања) прелазнице расте са $R^{3/4}$, опада са $1/\sqrt{R}$, x опада са f_r , а време окретања точка управљача расте са V_v (односно са R) обрнуто пропорционално са квадратним кореном опадајућих величина $f_r + q$. (I q треба довести у вези са V . Код друга два решења све зависи од рачунске брзине, што је потпуно неосновано. Промене величине клотоиде, промене угла и помака круга R (као карактеристика клотоиде од којих зависи перцептибилитет) и промене бочног удара и времена окретања волана су неуједначене и не обезбеђују усклађивање услова управљања возилом са визуелним дејством закривљености кружног лука. При томе је решење по II предлогу занто неповољније од решења усвојеног у Правилнику. Из ових разлога је препоручено пројектантима да кад год је то могуће примене дужину $L = \sqrt{21,6 R}$ као најмању.

4.3 Поглавље 4 Упутства

Веома је корисно то што су Упутства обухватила поглавље 4. којим се омогућава пројектантима, нарочито из малих пројектних организација, да се упознају са одговарајућим појмовима.



Сл. 6

Табела 1

Решење	III		I		II
Критеријум	$L = \sqrt{21.6 R_{\min}}$	$\Delta R \approx 0.3$	$\Delta \approx 0.9$	$A_{\min}$	$A = R/3$
важи за	$R \leq 3 R_{\min}$	$R \geq 3 R_{\min}$	$0 < R < \infty$	$R \leq 3 A_{\min}$	$R \geq 3 A_{\min}$
L	$\sqrt{21.6 R_{\min}}$	$\sqrt{7.2 R} =$ $L_{\min} \cdot \sqrt{R/3 R_{\min}}$	$L_{\min} \sqrt{\frac{R}{R_{\min}}}$	$L_{\min} \cdot \frac{R_{\min}}{R}$	$\frac{R}{9}$
A	$2.156 R_{\min}^{1/4} R^{1/2} =$ $= A_{\min} \sqrt{R/R_{\min}}$	$1.638 R^{0.75}$	$2.156 R^{0.75}$	$\sqrt{R_{\min} \cdot L_{\min}}$	$\frac{R}{3}$
τ	$\frac{2.324 \sqrt{R_{\min}}}{R}$	$\sqrt{\frac{1.8}{R}}$	$\sqrt{\frac{5.4}{R}}$	$\frac{A_{\min}^2}{2 R^2}$	$\frac{1}{18}$
ΔR	$0.9 \frac{R_{\min}}{R}$	0.3	0.9	$\frac{0.9 R_{\min}^2}{R^3}$	$5.144 \times 10^{-4} R =$ $= R/1944$
x	$6.607 f_r \sqrt{(f_r + q) x}$ $\sqrt{\frac{xR}{R_{\min}}}$	$11.444 f_r$ $\sqrt{f_r + q}$	$6.607 f_r$ $\cdot \sqrt{f_r + q}$	$X_{R_{\min}} \cdot \frac{f_r}{f_{r_{\max}}}$ $\cdot \sqrt{\left(\frac{R}{R_{\min}}\right)^3 \cdot \frac{f_r + q}{(f_r + q)_{\max}}}$	$276.383 \cdot f_r$ $\cdot \frac{\sqrt{f_r + q}}{R}$
t	$\sqrt{\frac{2.204 R_{\min}}{(f_r + q) R}}$	$\sqrt{\frac{0.73474}{f_r + q}}$	$\sqrt{\frac{2.204}{f_r + q}}$	$0.319 \frac{A_{\min}^2}{\sqrt{R^3 (f_r + q)}}$	$0.03549 \sqrt{\frac{R}{f_r + q}}$

Дијаграми на сл. U-14 и U-15, којима треба придружити дијаграме 1, 2a и 2b са стр. 99-101 Упутства, олакшаће у одређеној мери рад свим пројектантима.

5. ХОРИЗОНТАЛНА ПРЕГЛЕДНОСТ

5.1 Прегледност при кочењу

Основна замерка Правилнику је у томе што се рачуна са прегледношћу зависном од V_r када се зна да ће одређени проценат возача (када су у питању велики R и нагиби нивелете са јаким путничких возила) остваривати брзину $V_v = \sqrt{127R(f_r + q)}$, при чему је $f_r = f(V)$.

5.2 Прегледност за претицање

Ово питање је непроучено како теоријски тако и са практичног становишта. Правилник не утврђује како треба користити дужине P_p , а ни Упутство то не чини. Ову тачку би требало изоставити у следећем Правилнику.

6. ЕЛЕМЕНТИ УЗДУЖНОГ ПРОФИЛА

Заобљење конвексних прелома нивелете треба вршити на основу блажих углова кочења и на основу дужина прегледа израчунатих према возној, а не рачунској брзини.

7. ПОПРЕЧНИ ПРОФИЛ

7.1 Шиrine коловоза

Шиrine саобраћајних трака су веће него што је то потребно.

Ово важи на првом месту за једносмерне коловозе, на којима релативна брзина представља разлику брзина претицаоног и претичућег возила. Такође, две саобраћајне траке исте ширине на једносмерном коловозу немају оправдање. Десна трака ће увек бити заузета тешким возилима која се крећу брзинама до 80 km/čas, те би требало да буде увек ширине 3,25 m, а могла би да се смањи на успонима и на 3,00 m.

Табела 2

		$V_r = 40 \text{ km/h}$			$V_r = 80 \text{ km/h}$		
Решенје	R	$R_{\min} = 43,74$	$110 \approx 3 A_{\min}$	180	$R_{\min} = 248,24$	$400 \approx 3 A_{\min}$	800
	q	7,0	2,5	2,5	7,0	4,34	2,5
	V_v	$V_{ra\check{c}} = 40$	54,04	65,10	$V_r = 80$	90,36	110,07
	f_r	0,218	0,184	0,160	0,133	0,117	0,094
	ϵ	$3^\circ, 930$	$1^\circ, 719$	$0^\circ, 955$	$0^\circ, 692$	$0^\circ, 430$	
III	L	30,74	30,74	36,00	73,23	73,23	75,89
	A	$A_{\min} = 36,67$	58,15	80,50	$A_{\min} = 134,83$	171,15	246,41
	τ	$\hat{T}/2,846 = 20^\circ, 133$	$\hat{T}/7,156 = 8^\circ, 006$	$\hat{T}/10 = 5^\circ, 730$	$\hat{T}/6,780 = 8^\circ, 451$	$\hat{T}/10,924 = 5^\circ, 245$	$\hat{T}/21,083 = 2,718$
	ΔR	0,900	0,358	0,300	0,900	0,559	0,300
	x	0,773	0,881	0,788	0,396	0,393	0,372
	t	2,767	2,025	1,991	3,295	2,918	2,482
	L	30,74	48,74	62,35	73,23	92,95	131,45
I	A	$A_{\min} = 36,67$	73,22	105,94	$A_{\min} = 134,83$	192,82	324,29
	τ	$\hat{T}/2,846 = 20^\circ, 133$	$\hat{T}/4,514 = 12^\circ, 694$	$\hat{T}/5,774 = 9^\circ, 923$	$\hat{T}/6,780 = 8^\circ, 451$	$\hat{T}/8,607 = 6^\circ, 657$	$\hat{T}/12,172 = 4,707$
	ΔR	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
	x	0,773	0,556	0,455	0,396	0,310	0,214
	t	2,767	3,247	3,448	3,295	3,703	4,299
II	L	30,74	$A_{\min}/3 = 12,22$	$R/9 = 20,00$	73,23	45,45	88,89
	A	$A_{\min} = 36,67$	$A_{\min} = R/3 = 36,67$	$R/3 = 60,00$	$A_{\min} = 134,83$	134,83	266,67
	τ	$\hat{T}/2,846 = 20^\circ, 133$	$\hat{T}/18,003 = 3^\circ, 183$	$\hat{T}/18 = 3^\circ, 183$	$\hat{T}/6,780 = 8^\circ, 451$	$\hat{T}/17,602 = 3^\circ, 255$	$3^\circ, 183$
	ΔR	0,900	0,057	0,093	0,900	0,215	0,412
	x	0,773	2,217	1,419	0,396	0,634	0,317
	t	2,767	0,814	1,106	3,295	1,811	2,907

На двосмерним коловозима ширине саобраћајних трака готово искључиво зависе од рачунске брзине и терена, док је разред пута занемарен. Тако се на путу 2. разреда, на коме је PGDS до 12000 воз/дан, на планинском терену, где треба очекивати често примењивање $R_{\min}$, прописује саобраћајна трака ширине 3,00 m и једнаке ширине као на путу 5. разреда, са мање од 1000 воз/дан, у равничарском терену, тј. где су елементи трасе готово без ограничења. У првом случају се напрезање возача значајно повећава због оштрих кривина и неповољних облика доњег строја, великог броја мимоилажења и претицања. Уз то треба имати у виду да је претицање у великој мери отежано. У другом случају, на путу за који не постоји оправданост за већа финансијска улагања, напрезање возача је смањено због повољних елемената трасе и облика доњег строја и исто се још више смањује због малог броја возила односно малог броја мимоилажења и претицања. Овде треба имати у виду обавезну примену ивичних трака које проширују коловоз. И, такође, релативно малу ширину банкина, чији се један део замењује коловозом, односно коловозном конструкцијом.

Неоспорно је да широк коловоз позитивно утиче на возача. Међутим, да ли су наша путна мрежа и економске могућности такве да је оправдано улагање значајних додатних средстава у повећане ширине коловоза и где то није потребно?

7.2 Зауставне траке

И зауставне траке представљају несумњиво допринос високом комфору војње. Међутим, питање је у којој мери зауставне траке доприносе саобраћајном квалитету пута (капацитет, брзине и др.). На ово питање одговор ће дати саобраћајни стручњаци. Међутим, на основу опште оцене наше ситуације, као и на основу тога да је све мање возила која због неисправности морају да стану као и да зауостављено возило мора да буде уочено на растојању безбедног кочења, зауставне траке би требало искључити и заменити ширим стабилизованим банкама. И, пошто не знамо шта су то стабилизоване банке, требало би што пре приступити опитима ради изналажења таквих банкина за наше услове.

7.3 Банкине

Једно од најслабијих решења у новом правилнику јесте растојање заштитне ограде од ивице крајње конструкције горњег строја, утврђено са 0,5 m. Иако је требало да ова ширина зависи од рачунске брзине и да се повећава до 1,0 m (1,2 m), учињен је уступак захтевима за смањивањем трошкова грађења, нарочито мостова, те је усвојено исто растојање од 0,5 m за све рачунске брзине. При том растојању ограда делује неповољно на возача, принуђујући га да се приближи супротној ивици саобраћајне траке, што неминовно доводи до смањивања брзине. У том случају се банкина, односно део разделне траке, замењују скупом коловозном конструкцијом, што је неприхватљиво. Када је немогуће потребно удаљавање возила од ограде због одређеног положаја возила на суседној саобраћајној траци, може доћи до удара возила у ограду због тога што је возач изгубио присуство духа. Негативно дејство блиске ограде је нарочито изражено када је у питању ограда у разделној траци ауто-пута, јер се иста налази уз брзу саобраћајну траку. Као очигледан пример за то се наводе оштећења заштитне ограде на ауто-путу Загреб—Ивања река, за која кажу да су се појавила у року од само годину дана, готово на сваком километру.

И саме ширине банкина су недовољне када се има у виду функција банкине, као и то да се банкине изводе на релативно ниским насипима (где нема заштитних ограда).

7.4 Површине за задржавање возила ван коловоза

Иако одредбе Правилника и препоруке у упутствима представљају основу за далеко боље решавање овог питања у новим пројектима у односу на досадашњу праксу, ипак је ово питање недовољно обрађено и треба му поклонити знатно више пажње у идућем правилнику.

7.5 Прелазне рампе

Захтев да се уз нулти попречни нагиб на прелазној рампи изведе нагиб рампе $i_{\min} = 0,1 \text{ ‰}$, односно $0,1 \text{ ‰}/2$ је исувише оштар и довео је до тога да се максимални допуштени нагиб рампе, чије су вредности прописане у табели 11, повећа за $V_r \geq 80 \text{ km/h}$ на 0,75%. С друге стране, захтев да се оствари $i_{\min}$ на свим нагибима нивелете и на дужини док се не оствари $q_{\min}$ довео је до потребе да се одређивање положаја кратке прелазне рампе на дугој прелазници услови дијагра-

мом бочних удара. Примена одредаба Правилника у овом смислу је добро приказана у Упутству и не треба очекивати веће тешкоће при томе. Међутим, захтев за применом $i_{\min}$ је исувише оштар и истовремено представља израз једностраног посматрања проблема. Његова примена је неоспорно оправдана само ако је нагиб нивелете мањи од критичног нагиба који се може узети $s_{kr} = q_{\min}/5 = 0,5\%$

Веома је важно да пројектанти обрате пажњу на тач. 7.2.4. Правилника и Упутства у којој је указано на потребу за вођењем воде дуж ригола, што условљава исти предзнак нагиба ригола на целој дужини између два кружна лука и на истовремено одводњавање коловоза, што условљава одређени нагиб рампе. Пројектант је дужан да, иако пише у Упутству, провери могућности одводњавања нарочито ригола.

8. ЗАВРШНА РЕЧ

На крају се треба осврнути на поступак израде Нацрта правилника, који затим озакоњује државни орган.

Досадашња пракса се састојала у томе да се изложи дискусији комплетан предлог Нацрта правилника, без обављене претходне дискусије о одређеним теоријским питањима. Сама израда и умножавање предлога Нацрта захтевали су огроман рад и финансијска средства. Када се појавио предлог за измену или допуну неке одредбе, предлагач је морао усмено да образлаже свој предлог уз ограничену могућност да буде схваћен и евентуално подржан с обзиром на технику дискусије и ограничено време. Због тога би следила нова верзија одговарајућег дела предлога, па реплика на ту верзију и тако каткад више пута изнова. У то је улаган нов рад, то је захтевало нова прекуцавања и умножавања, нов губитак времена чланова комисије, да би Нацрт па и Правилник остао у много чему недоречен и са погрешним одредбама. За будућу праксу треба усвојити да се позову сви заинтересовани да обраде одређена питања и сачине предлоге чланова правилника, што треба публиковати у часописима. На основу тога одржати тематску конференцију на којој ће моћи да учествују заинтересовани, и то добо припремљени за дискусију јер су теоретске основе могли да упознају благовремено. На основу искристалисаних теоретских поставки лако је затим сачинити предлог одређеног дела и сачинити цео нацрт правилника који може и треба да регулише пројектовање на заиста савременим основама. У том смислу треба, делимично, и овај чланак схватити.

Узроци оштећења асфалтних слојева коловозне конструкције на деоници ауто-пута кроз Београд

Др ЗДРАВКО ЈОКСИЋ, дипл. инж.

На основу расположивих података из времена изградње (претходна и контролна испитивања), као и резултата теренских и лабораторијских истраживања — а нарочито носивости коловозне конструкције у различитим временским условима, затим промена карактеристика коловозног застора (посебно равности у попречном и уздужном смислу) и величина температурних промена на различитим дубинама одређени су параметри неопходни за димензионирање коловозних конструкција, за оцену критеријума коришћених за проверу квалитета изграђених слојева и коловозне конструкције у целини, односно за утврђивање узрока појаве оштећења и мера за њихово отклањање^(1,2,3).

НОСИВОСТ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

Мерењем дефлексија коловозне конструкције обављеним непосредно пред пуштање Ауто-пута у експлоатацију и касније, у различитим годишњим добима — повољним и неповољним за њено држање у саобраћају — добијени су подаци на основу којих се може закључити:

— У току експлоатације дошло је до консолидације и повећања збијености — густине материјала — у носећим асфалтним слојевима и у коловозном застору, што се одразило на повећању носивости конструкције (укупне дефлексије су најчешће испод 0,2 mm, док су заостале дефлексије знатно мање и износе 1/3 од величине укупних дефлексија) и на појави колотрага на површинама изложеним саобраћају;

— Носивост коловозне конструкције врло је висока ако се као критеријум користе величине укупне измерене дефлексије а оне су најчешће у интервалу $d_0 = 0,07$ до 0,3 mm;

— Носивост коловоза на правцу Загреб—Ниш мања је него на правцу Ниш—Загреб;

— Носивост коловозне конструкције на истом попречном профилу аутопута често је неуједначена (најмања је на око 1,7 m од ивице у средњој саобраћајној траци;

— Уочене су промене носивости коловозне конструкције зависно о периоду у коме су обављена мерења дефлексија (утицај температура, промена влажности у основи коловоза, допунско

збијање материјала и повећање чврстоће цементом стабилизovanог носећег слоја и структуре коловозне конструкције на појединим деоницама) (слика 1).

СТАЊЕ ПОВРШИНЕ КОЛОВОЗНОГ ЗАСТОРА

На основу обављених снимања обима и врста оштећења може се закључити да су најчешћа и најизразитија: колотрази, затим отварање површине коловозног застора услед одношења финих фракција и појава прелина у уздужном смеру (најчешће у колотразима), а ређе у попречном. Ретко — само местимично — јављају се ударне рупе величине неколико десетина сантиметара.

— На основу прецизних геодетских снимања обављених на 9 карактеристичних попречних профила с уграђеним челичним реперима, на међусобном растојању од 50 cm (видети слике 2. и 3), констатује се по 6 подужних колотрага различите дубине о којих су четири јаче изражена.

— Најдубљи су колотрази у средњој саобраћајној траци (денивелације дубоке 20 до 65 mm), док су у крајњој траци за градска возила (жута трака) нешто мањи (од 12 до 28 mm).

— Истовремено с појавом колотрага запажа се и издизање коловоза — у облику таласа различите висине, а у периоду између три нивелманска снимања (у мају 1978. и децембру 1979. године), констатовано је продубљивање колотрага и бочно померање асфалтне масе у колотрагу, а на неким профилима појавили су се нови врхови на местима где раније нису постојали, што се објашњава релативно високим летњим температурама у току 1979. године (слике 2. и 3).

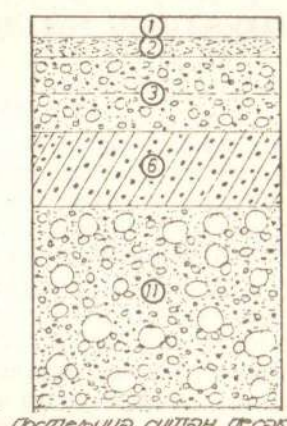
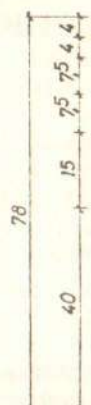
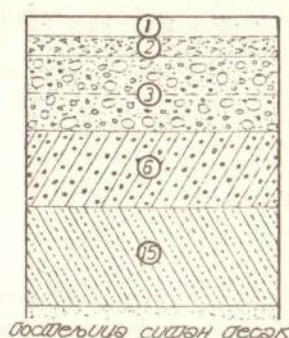
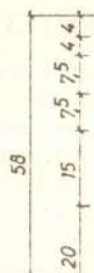
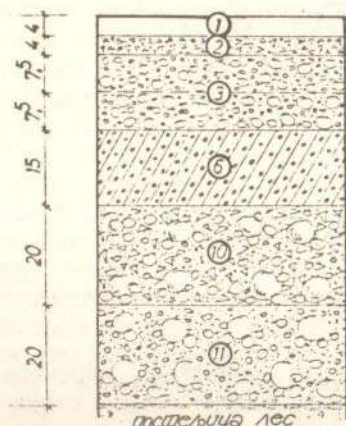
— Разлике у висини и у дебљинама асфалтних слојева уочавају се и на „керновима“ пречника 10 или 15 cm, извађеним из коловозне конструкције на различитим одстојањима од осе аутопута (у врховима и дну таласа), као што је показано на сликама 2. и 3.

— На сваком карактеристичном попречном профилу извађено је 13 до 14 „кернова“ ради мерења дебљине појединих слојева и утврђивања слоја или слојева у којима је дошло до померања материјала под дејством високих температура и

геошица 1-0-А
од км. 0+000
до км. 1+740

геошица 1-0-Б
од км. 2+000
до км. 5+750

геошица 1-0-С
од км. 7+100
до км. 9+400



Легенда:

① асфалтни бетон

② битуменом обаврјено

③ битуменом обаврјен шљунак

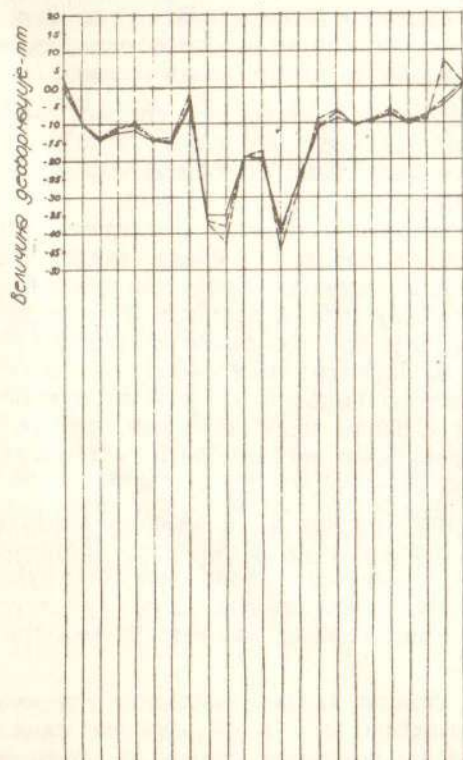
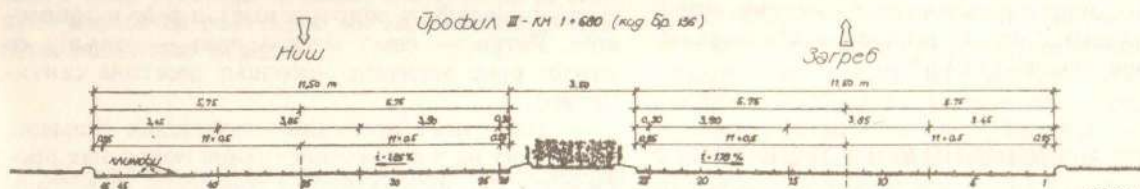
④ земиска стабилизација (шљунак "Марсвац" са 4-6% цемента), $Q \geq 21$ кг/см²

⑩ шљунак "Марсвац" 30% ризле

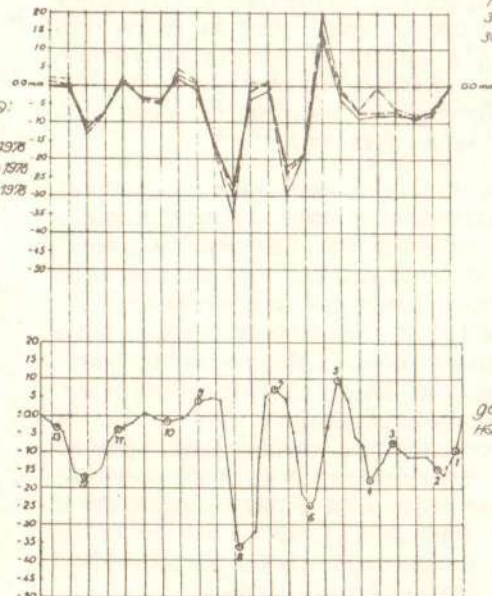
⑪ шљунак "Марсвац"

⑬ земиска стабилизација песак "Дунсвац" са 7% цемента $Q \geq 14$ кг/см²

Сл. 1. Структура коловозне конструкције на делу Ауто-Пута кроз Београд

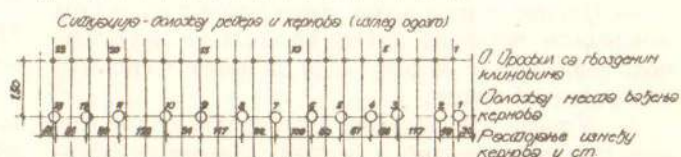


Легенда:
Нареша:
— мају 1978
--- октобра 1978
--- децембра 1978

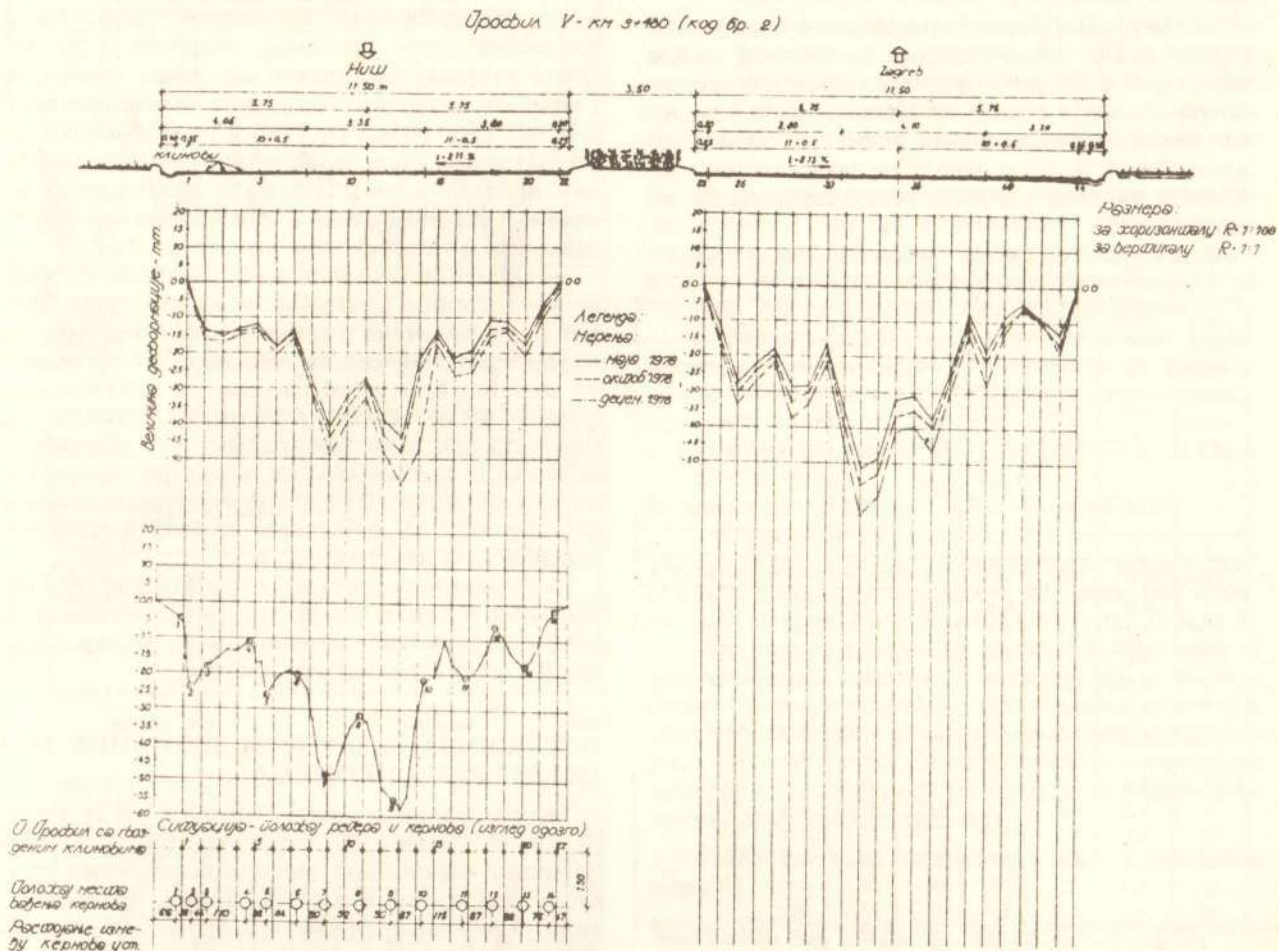


размера
за хоризонталну R=100
за вертикалну R=1.1

деформације очитане профилу
на месално ваљеном
кернома



Сл. 2. Попречни профили на одабраним карактеристичним местима (промена стања и положаја „кернова“)



Сл. 3. Попречни профили на одабраним карактеристичним местима (промена стања и положај „кернова“)

точкова тешких возила у току експлоатације. Тако се добио и материјал потребан за лабораторијска испитивања.

КВАЛИТЕТ АСФАЛТНИХ МЕШАВИНА У КОЛОВОЗНОМ ЗАСТОРУ У НОСЕЋИМ СЛОЈЕВИМА

Анализиране су карактеристике мешавина шљунковитих и песковитих материјала стабилизационих битуменом и цементом а употребљених за израду носећих слојева, као и карактеристике носивости одређених у време грађења 1970/71. године. На темељу тих анализа може се закључити:

— Општи квалитет уграђених материјала и слојева одговара пројектом предвиђеном, односно утврђеном на темељу претходних испитивања лабораторијских мешавина.

— Уочавају се местимична одступања у односу на захтеване карактеристике, нарочито при изради доњег носећег слоја; постоје и већи потези Ауто-пута, где нису постигнуте жељене карактеристике, или где су оне знатно више од захтеваних (што је такође неповољно).

— Врсте цемената коришћених за израду носећих слојева знатно су се разликовале по својствима тако да је и то, поред начина њихове изградње (мешање на месту уграђивања), утицало на

уједначеност квалитета изграђених доњих носећих слојева.

— Носећи слојеви начињени од битуменом обавијеног шљунка (шљунак моравац уз додатак дробљене камене ситнежи до 30%) не могу се сматрати правилним решењем иако су по реолошким и механичко-физичким карактеристикама, углавном, одговарали техничким условима и важећим стандардима.

— Квалитет асфалтних слојева, а посебно коловозног застора, позитивно је оцењен с обзиром на тадашње критеријуме и стандарде иако се запажају знатнија одступања код појединих карактеристика (веће или мање вредности од захтеваних), тј. неуједначености у попречном и подужном профилу.

На темељу истраживања обављених 1979. године на непоремећеним узорцима — „керновима“ извађеним из асфалтних слојева (таблица 1.) констатовано је:

— Измерене укупне дебљине свих асфалтних слојева (коловозног застора и носећих слојева) мање су од пројектом предвиђене (23 cm) на 71% од укупног броја испитаних узорака (од 20,5 до 22,3 cm, а ређе 16,5 до 18,5 cm односно 24,3 до 24,7 cm), а исти је случај и с укупним дебљинама носећих слојева, односно коловозног застора у целини.

— Не уочавају се веће разлике у дебљини хабајућег и везног слоја у односу на положај извађења узорака у попречном профилу (врх или дно колотрага), али су зато те разлике врло уочљиве код носећих слојева ако се посматра укупна дебљина оба слоја, што наводи на закључак да су колотрази настали најчешће услед деформације носећих слојева.

Табела 1. Измерене дебљине појединих асфалтних слојева на „керновима“ извађеним из коловоза

Број ознака керна према прилогу бр. 2-3	Измерене дебљине асфалтних слојева				Укупна дебљина асфалт- них слојева (cm)	Напомена	
	хабајући слој (cm)	везни слој (cm)	Битуменом об- вијени шљунка:			положај керна у коловозу (врх или дно коловогата)	пречник керна (cm)
			-горњи слој (III) (cm)	-доњи слој (II) (cm)			
1	2	3	4	5	6	7	8
* Профил III — km 1 + 680 — коловоз за смер према Загребу							
1	4,0	3,3	8,9	6,3	22,5	врх	10,0
2	4,0	3,5	7,4	6,0	20,9	дно	10,0
3	4,0	3,5	7,6	6,5	21,6	врх	10,0
4	4,0	4,0	6,4	6,0	20,4	дно	10,0
5	3,3	3,8	7,0	8,5	22,6	врх	10,0
6	4,0	4,0	4,5	5,5	18,0	дно	10,0
7	3,0	3,6	7,5	7,5	21,6	врх	10,0
8	3,0	3,5	5,0	4,6	16,1	дно	10,0
9	3,0	4,0	7,5	6,5	21,0	врх	10,0
10	3,0	4,0	6,5	7,9	21,4	дно	10,0
11	3,0	4,0	8,0	9,3	24,3	врх	10,0
12	3,5	3,5	7,0	10,4	24,4	дно	10,0
13	3,0	3,0	8,0	10,7	24,7	врх	10,0
Профил V — km 3 + 480 — коловоз за смер према Нишу							
1	4,0	3,7	—	—	17,7*	врх	15,2
2	3,0	3,5	7,3	7,0	20,8	дно	15,2
3	3,3	4,5	5,5	7,6	20,9	врх	15,2
4	2,8	4,2	5,5	9,8	22,3	врх	15,2
5	3,5	4,0	5,5	8,3	21,3	дно	15,2
6	3,5	5,0	6,0	7,5	22,0	врх	15,2
7	3,0	5,0	6,0	4,5	18,5	дно	15,2
8	3,0	5,5	5,5	(5,8)*	19,8*	врх	10,0
9	2,0	4,5	5,5	5,5	17,5	дно	10,0
10	3,0	5,0	5,5	8,2	21,7	врх	10,0
11	2,7	5,3	5,5	(4,8)*	18,3*	дно	10,0
12	2,8	5,2	7,0	(5,7)*	20,7*	врх	10,0
13	3,2	5,3	6,0	(1,9)*	16,4*	дно	10,0
14	3,5	5,5	6,0	(2,0)*	17,0*	врх	10,0

* Цифре наведене у заградама су непотпуне дебљине слоја (није било могуће извадити цео керн-непоремећен узорак)

— За израду слојева коловозне конструкције употребљени су битумени из Рафинерије Ријека (BIT 90 за хабајући а BIT 130 за везни слој) и Славонски Брод (BIT 200 за III и II носећи слој), камено брашно из Баточине, а фракције дробљене камене ситнежи из каменолома Шумник (за хабајући и везни слој), односно из Баточине само фракција 15/25 mm за III и II носећи слој, ради поправке гранулометријског састава природне мешавине шљунка моравца коришћеног за израду обају носећих слојева. За справљање асфалтне мешавине за хабајући слој коришћен је природни песак (дунавац или моравца) и дробљени песак 0/2 mm из Шумника, а за справљање везног слоја само дробљени песак 0/2 mm из Шумника⁽¹⁾.

— На основу резултата добијених испитивањем физичко-механичких карактеристика ас-

фалта у извађеним „Керновима“ (груписаним по саобраћајним тракама), утврђена су за неке групе узорака одступања од данас захтеваног квалитета асфалтних мешавина за поједине врсте слојева. Одступања се односе на стабилност носећих слојева (велика количина зрна са заобљеним ивицама и неодговарајућа гранулација), а у неким случајевима и на коловозни застор. Одступања има и у односу на модул крутости.

— Општи је закључак да су за израду коловозне конструкције употребљене мекше врсте битумена, да количина везива у асфалтној маси за припремљене минералне мешавине не одговара и то за хабајуће и везне слојеве, да асфалтној мешавини често недостаје потребна количина каменог брашна и да при грађењу — с обзиром на садашње стање збијености асфалтних слојева — није на свим потезима постигнута задовољавајућа збијеност; на појединим се узорцима запажа вишак везива између слојева.

— Наведени недостаци, нарочито уочљиви код хабајућег и везног слоја, сигурно су утјецали на уочене деформације коловоза и на појаву описаних оштећења коловозног застора.

ИСТРАЖИВАЊЕ ВРСТЕ И ВЕЛИЧИНЕ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПРОМЕНА

Истраживање величине, обима и врсте температурних промена на површини и на различитим дубинама коловозног застора у слојевима коловозне конструкције и у постелици, обављена су ради утврђивања параметара битних за димензионирање коловозних застора и за конструкцију таквих који ће бити постојани на температурне промене, као и ради утврђивања узрока појаве колотрага.

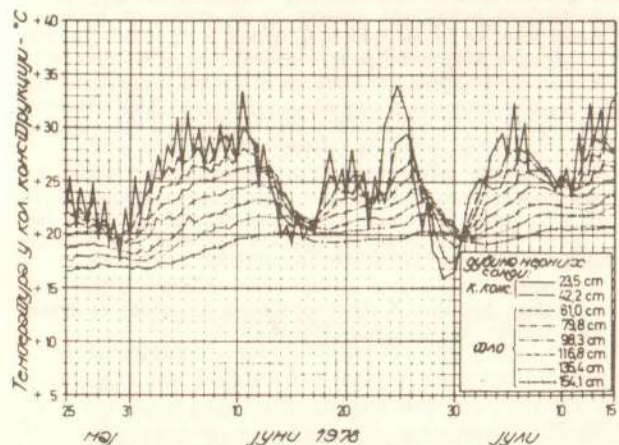
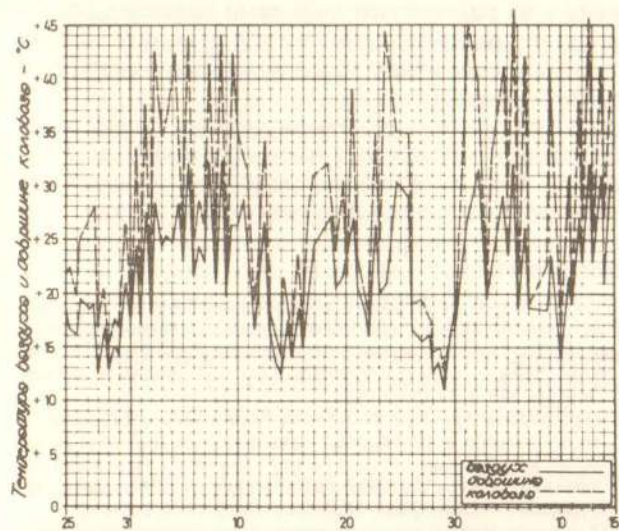
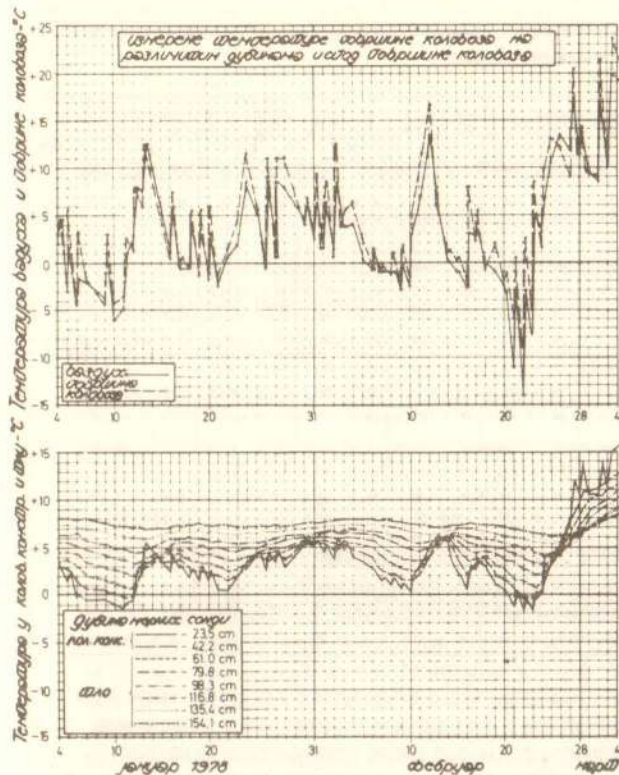
Нарочито су интересантне величине амплитуда и корелација између температуре ваздуха и температуре површине коловоза у различитим дубинама дана и ноћи, односно у различитим годишњим периодима, као и брзине и величине промена, температуре зависно од дубине, а с обзиром на термичке карактеристике асфалтних материјала уграђених у испитивану коловозну конструкцију (чине 40% укупне дебљине коловозне конструкције — слика 1).

Мерењем температура-максималних и минималних одређени су апсолутни максимуми за поједине године у периоду од 1974. до 1979. године и израђени дијаграми температура на различитим дубинама коловоза, овисно о температури ваздуха у различитим годишњим периодима, уз свакодневна мерења у 7 и 14 часова (слика 4,5, и табела 2). Досадашња су мерења показала следеће:

— Највећа апсолутна амплитуда измерених температура на површини коловоза у току 1978/79. године била је 56°C; (-9°C до +47°C).

Највећа апсолутна амплитуда измерених температура на 23,5 cm испод површине коловоза била је 36°C; (-2,1°C до +34°C).

— Максимална температура ваздуха у означеном периоду била је +33,5°C, а минимална температура -14°C.



Сл. 4—5. Температуре ваздуха и температуре коловоза измерене на различитим дубинама од површине коловоза сондом „Лејер“

— Максимална дубина продирања изотерме 0°C кроз коловозну конструкцију (дубина смрзавања), измерена термосондом LEGER с платинским отпорницима, у току зиме 1978/79. год. била је 75 cm; максимална дубина прскања божица, одређена у току исте зиме сондом WYBO била је 58 cm.

На основу метеоролошких података о температурама и другим климатским показатељима одређени су параметри неопходни за димензионарање коловозних конструкција с обзиром на локалне услове и опасност од дејства мрза.

— Обрадом података о температурама за двадесетогодишњи период, срачунати су индекси мрза за сваку зиму, и утврђено је да су најхладније зиме биле:

а) изузетно хладне: 1890/91. и 1928/29 $I = 450$ и $460^{\circ}\text{C} \times \text{дана}$).

б) врло хладне: 1939/40, 1941/42. и 1953/54 ($I = 360$ до $390^{\circ}\text{C} \times \text{дана}$).

— Утврђено је да је најхладнија зима у последњем тридесетогодишњем периоду (од 1946. до 1979. године) била она 1953/54. год. Табела 3.

— На основу обављених анализа предложене су као меродавне вредности индекса мрза за одбране пројектне периоде (век трајања коловозне конструкције), које се могу применити на територији Београда при димензионарању коловозних конструкција отпорних на мраз и за одређивање максималне дубине смрзавања:

$I_{10} = 265^{\circ}\text{C} \times \text{дана}$ (за десетогодишњи пројектни период,

$I_{20} = 350^{\circ}\text{C} \times \text{дана}$ (за двадесетогодишњи пројектни период).

При коришћењу података наведених у 4. поглављу, неопходно је да се води рачуна о чињеници да су зиме у периоду 1974. до 1979. године биле релативно благе, те се дубине смрзавања и измерене температуре не могу сматрати меродавним, већ само оријентационим, све док се у току једне изузетно оштре зиме и изузетно топлог лета не добију потребни подаци за димензионарање асфалтних застора и коловозних конструкција отпорних на дејство изузетних температура (у току врло топлог лета и изузетно оштре зиме).

ЗАВРШНЕ НАПОМЕНЕ — ЗАКЉУЧАК

Основни разлог настајања колотрага у коловозном застору је деформабилност носећих слојева изграђених од шљунка, обавијеног битуменом неуједначеног квалитета и неодговарајуће мешавине за коловозну конструкцију ауто-пута с великим учешћем тешких возила (од којих је знатан проценат градских зглобних аутобуса). Други разлог је и неуједначен квалитет асфалтних мешавина уграђених у коловозни застор.

Приказани резултати указују на значај и корисност обављених десетогодишњих истраживања која треба наставити и проширити да би се дошло до коначних података од којих наводимо најзначајније:

— Век трајања коловозне конструкције и саобраћајно оптерећење које је коловозна конструк-

Табела 2. Интервали максималних температура измерених на различитим одстојањима од површине коловоза у току 1978. године за поједине топле и хладне таласе

Ниво мерења коте (cm)	Месеци у којима су обављена мерења температура и измерене температуре																							
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII	
ваздух -180,0	-6,2	-2,5	-14,0	-2,8	+1,0	+2,0	+2,0	+5,0	+5,0	+1,2 ^a	+11,0	-12,2	-11,0	+15,5	-13,6	+14,6	+6,0	-11,2	-1,0	-7,6	-1,8	-1,2	-8,6	-3
површина коловоза 0,0	-8,5	+12,5	-8,5	+13,3	-19,7	-21,7	-22,0	-26,4	+22,6	-25,2	+30,5	-12,4	-27,0	+34,0	+30,6	+33,0	+26,6	+29,2	-22,4	-23,4	+7,2	+12,8	+15,4	+14,4
	-1,5	-1,5	-9,0	-2,0	+3,0	+5,2	+5,0	+8,0	+8,5	+16,8	+12,5	-18,2	-17,0	+20,0	+15,6	+17,0	+7,6	-12,6	+1,0	-9,0	-1,2	-0,5	+7,1	-2,2
-24,5	-11,5	-12,5	-12,5	+17,4	+25,7	+31,0	+34,0	+35,0	+33,4	+38,0	+44,0	+44,5	+44,0	+7,0	+48,4	+44,4	+36,4	+37,4	-25,8	-28,0	+6,0	+13,7	+9,8	+12,8
	-1,25	-0,5	-1,8	+0,5	+1,1	+6,7	+6,8	+11,4	+13,7	+16,2	-15,7	-17,4	-21,4	-21,3	+21,0	+21,2	+15,4	-17,7	+5,4	-15,2	-2,2	-2,9	+1,3	+0,6
-47,2	+3,8	+5,8	+6,0	+6,2	+16,0	+17,9	-19,5	+9,7	+25,4	+25,3	+33,5	+34,0	+32,5	+32,3	+28,3	+31,0	+25,3	+17,2	+21,7	+25,2	+5,0	+12,9	+8,3	+9,2
	-8,3	-1,5	-0,4	+1,5	+6,2	+8,8	+10,2	+11,6	+15,1	+17,8	+17,4	-20,5	+28,0	+25,0	+23,4	+25,4	+17,3	+20,3	+8,6	+17,6	+3,2	+3,7	+0,2	-2,4
-61,0	+3,8	+4,25	+3,3	+6,1	+13,8	+15,0	+16,8	+17,6	+23,1	+23,2	-29,3	+30,3	+28,0	+30,4	+27,8	+29,4	+22,2	+24,8	+19,6	+22,1	+5,7	+11,5	+7,7	+8,0
	+8,8	+2,5	+0,75	+2,4	+7,5	+9,2	+11,1	+12,1	+15,7	+18,4	+13,7	-21,15	+24,5	+26,1	+23,9	+28,4	+18,6	+21,5	+10,4	+18,3	+4,2	+4,7	+1,2	+3,4
-79,8	+4,4	+4,65	+5,7	+5,9	+13,0	+14,4	+16,4	+16,75	+23,8	+22,2	-27,6	+28,0	+27,5	+29,5	+26,4	+28,2	+22,1	+24,3	+19,2	+21,1	+5,9	+12,0	+7,5	+7,8
	-2,0	+3,6	+2,0	+5,5	+8,2	+9,7	+11,8	+12,6	+16,0	+17,7	+19,75	+21,4	+24,15	+25,7	+26,4	+25,5	+19,2	+22,3	+11,8	+18,7	+5,7	+6,0	+2,8	+4,6
-90,3	+8,8	+5,8		+6,0	+12,25	+14,8	+15,6	+15,7	+19,7	+21,2	+26,3	+26,4	+25,8	+28,2	+26,1	+27,3	+21,5	+24,0	+19,2	+20,7	+6,6	+12,65	+7,6	+7,3
	+3,2	+3,65	+3,15	+4,5	+8,7	+10,1	+12,5	+12,7	+16,35	+17,1	+20,1	+21,0	+23,6	+25,2	+24,3	+25,0	+19,7	+22,5	+13,2	+18,8	+7,0	+7,2	+4,1	+5,6
-116,8	+5,4	+5,75	+6,2	+6,5	+11,7	+14,4	+15,0	+15,2	+18,6	+20,3	+24,2	+24,3	+24,5	+26,1	+25,4	+26,3	+21,2	+23,6	+19,2	+20,2	+7,4	+11,4	+7,8	+8,1
	+4,5	+5,1	+4,1	+5,1	+8,3	+9,3	+12,25	+12,4	+15,25	+16,1	+19,9	+20,6	+22,2	+24,2	+23,9	+24,6	+19,8	+22,4	+14,0	+18,8	+8,2	+8,4	+5,7	+6,7
-145,4	+6,1	+6,2	+6,4	+6,8	+11,5	+14,4	+14,2	+14,4	+17,5	+19,5	+23,0	+23,2	+23,0	+25,3	+24,7	+25,4	+20,7	+23,1	+18,9	+20,1	+8,4	+14,0	+8,2	+8,5
	+5,1	+6,3	+5,3	+6,3	+9,3	+10,1	+12,3	+12,5	+15,2	+15,3	+19,75	+20,1	+21,8	+21,4	+23,4	+24,0	+19,3	+22,3	+14,9	+19,0	+9,4	+9,3	+7,2	+7,7
-154,1		+6,1	+6,9	+7,0	+7,4	+13,2	+12,7	+13,7	+11,9	+16,3	+19,2	+21,8	+21,9	+22,2	+24,4	+23,4	+24							
	+6,9	+7,15	+6,15	+7,05	+8,4	+9,9	+12,0	+12,3	+14,2	+15,05	+19,1	+19,25	+20,5	+22,1	+22,4	+24,8	+20,7	+22,1	+14,8	+16,6	+9,8	+10,3	+8,2	+8,1
	+7,4	+7,55	+7,5	+7,4	+9,7	+11,3	+12,9	+13,2	+15,5	+16,9	+20,2	+20,3	+20,6	+22,5	+24,0	+23,4	+20,1	+22,0	+14,6	+19,4	+10,7	+14,6	+9,1	+9,0

ција пренela пре него што је дошло до потребе за њеним појачањем или обномом коловозног застора.

— Критична вредност дефлексија у тренутку када наступе јача оштећења коловозног застора.

— Квалитет материјала уграђених у слојеве коловозне конструкције, врсте и обим промена појединих карактеристика у току експлоатације.

— Понашање коловозне конструкције при различитим временским условима и утицајима, а нарочито промене њене крутости и носивости.

— Промене температура у различитим слојевима и на различитим дубинама коловоза, зависно од спољашњих температура (топли и хладни таласи) и термичких карактеристика метеријала од којих је изграђена.

— Максималне дубине смрзавања у току зима различитог интензитета и дужине трајања, а посебно у току изузетно оштре или врло оштре зиме и изузетно топлог или врло топлог лета.

Табела 3. Нумерички приказ индекса мраза у Београду за зиме од 1946/47. до 1977/78. године

Зима	Индекси мрза (°Cxdana)	Зима	Индекси мрза (°Cxdana)
1946/47	287-10-24	1962/63	15-54-247-48
1947/48	25-8-24	1963/64	218-7-5-15-3-7
1948/49	23-68-3-34-31	1964/65	7-3-3-73
1949/50	7-29-113	1965/66	5-85
1950/51	7	1966/67	4-73-23
1951/52	11-9-3-18	1967/68	50-5-56-3-4
1952/53	12-20-15-10-6	1968/69	25-98-6-23
1953/54	3-6-372	1969/70	16-39-4-25-8-12-7
1954/55	4-3-6-13	1970/71	11-56-5-39
1955/56	6-23423	1971/72	6-47-18-3
1956/57	11-3-24-54-3	1972/73	21-7-12
1957/58	32-15-4-11-63-3-14-6	1973/74	36-13-8
1958/59	5-17-70	1974/75	6-5
1959/60	69-66-5	1975/76	13-4-3-11-50-8-6
1960/61	33-16	1976/77	15-6-3
1961/62	64-17-17-4-7-22	1977/78	16-52-18-2-4-19
		1978/79	4-20-51-21

НАПОМЕНА:

* Појединачни индекси мрза у току зиме представљени су као производи средње температуре (°C) и трајања периода са средњим дневним температурама нижим од 0°C. Највећа шифра у току једне зиме представља индекс мрза за ту зиму.

ЛИТЕРАТУРА

1. Истраживање понашања коловозних конструкција под саобраћајем — II фаза. Научноистраживачки задатак обрађен у Институту за испитивање материјала СРС (0—6505/1 од 8.04.1980.) — уговор с Републичком заједницом науке Србије бр. 983/1 од 19.03.1980.
2. Проучавање промена носивости коловозне конструкције у експлоатацији и утврђивање дејства мрза на тло и коловозну конструкцију аутопута кроз Београд. Научноистраживачки задатак обрађен у Институту за испитивање материјала СРС (број 03—6635/2 од 12.11.1978. године).
3. З. Јоксић, Утицај спољашњих чинилаца, структуре и новоизграђених асфалтних слојева за појачање на носивост флексибилних коловозних конструкција на путевима. Документација за грађевинарство и архитектуру ДГА—1380, 1976.
4. З. Јоксић, Национални извештај по теми II (земљани равдови, пројектовање и изградња путева) на XVI Светском конгресу за путеве, Беч, 1979. год. Конгресна публикација. „Пут и саобраћај“ бр. 5—6, 1980.
5. Истраживање дубине мржњења и дејства мрза у тлу и у коловозним конструкцијама путева и аеродромских pista (II и III фаза). Научноистраживачки задатак обрађен у Институту за испитивање материјала за РЗНС (бр. 03—559 од 20.03.1980. год.).
6. З. Јоксић, Одређивање максималне дубине смрзавања и утицајних фактора. X Конгрес Савеза друштава за путеве Југославије. Аранђеловац 1978. год.

Приказ резултата мерења отпора клизању на асфалтним коловозним засторима на путевима и у лабораторији

Др БРАНИМИР УЈДУР, дипл. инж.

УВОД

Асфалтни коловози су директно изложени утицају саобраћаја па морају поседовати одговарајуће особине да би задовољили низ услова које захтева данашњи степен моторизације и експлоатације пута. Имајући у виду ову чињеницу, појављује се потреба за изналажењем коловозне површине с потребном отпорношћу према клизању, која ће пружити пуну безбедност саобраћају при свим временским условима за дужи временски период.

Одређивање, експерименталним путем, потребног отпора клизању на коловозу постало је неопходно, јер је то готово једини начин да би се дошло до стварних података који ће послужити као основ за проверу теоријских поставки приликом пројектовања коловоза.

С обзиром на изузетну сложеност проблема који је мултидисциплинарног карактера, намеће се потреба и за солидним теоријским разматрањем, али су директна мерења на путевима и експерименталним деоницама најбољи прилаз у проучавању и расветљавању овог проблема.

На отпор клизању утичу многобројни фактори који су у досадашњим испитивањима, у нашој земљи, недовољно проучени.

Отпор клизању је сила која се ствара на пнеуматику точка који је претходно укочен и клизи дуж површине коловоза. Стога отпор клизању по влажном коловозу може да буде пресудан фактор у превентиви саобраћајних незгода и за објашњење њихових потенцијалних узрока.

Због врло разноликих карактеристика коловозних површина тешко је предвидети отпор клизању на влажном коловозу, јер долази до компримовања и глачања коловоза у току експлоатације. У зимском периоду снег и лед, уз старост застора, веома компликују разјашњавање овог проблема.

У СР Србији систематска испитивања отпора клизању на изграђеним коловозним засторима до сада нису обављена чак ни на потезима на којима су учестале саобраћајне незгоде. Стога је веома значајно да се укаже на могућност обезбеђења и повећања отпора клизању, како новопроектованих коловозних застора, тако и оних који су више година у експлоатацији.

На основу увида у евиденцију и записнике о удесима на тзв. „црним местима“, добијених у Републичком СУП-у Србије, утврђено је да се повећањем отпора на клизање коловозног застора смањује и број удеса, што указује на важност проблема. Уочено је да је укупно смањење броја незгода, после охрапављења застора, често веће него што се може објаснити само променом отпорности коловоза на клизање.

Вишегодишња истраживања која су вршена на путевима СР Србије, СР Црне Горе и САП Војводине, указала су на директну повезаност отпора клизању с безбедношћу саобраћаја.

МЕРЕЊЕ ОТПОРА КЛИЗАЊУ НА КОЛОВОЗНИМ ЗАСТОРИМА ОД АСФАЛТНОГ БЕТОНА У СР СРБИЈИ, СР ЦРНОЈ ГОРИ И САП ВОЈВОДИНИ УРЕЂАЈЕМ „PORTABLE SKID RESISTANCE TESTER“

Према важећем стандарду ЈУС У.Е.4.014 за израду асфалтних бетона, извршена је подела према саставу и величини зрна у асфалтној мешавини, и то на:

- пешчани асфалт са зрном од 0 до 2,0 mm,
- асфалтни бетон са зрном од 0 до 5,0 mm,
- асфалтни бетон са зрном од 0 до 8,0 mm,
- асфалтни бетон са зрном од 0 до 11,0 mm,
- асфалтни бетон са зрном од 0 до 16,0 mm.

Поред захтеваних физичко-механичких својстава за агрегат примењен у асфалтној мешавини и физичко-механичких својстава асфалтних мешавина или уграђеног слоја, важећи ЈУС прописује количину и тип битумена за поједине мешавине. Уочава се, међутим, недостатак критеријума у погледу потребног отпора клизању који треба да пружи застор на почетку и у току експлоатације. ЈУС У.Е.4.014 прописује начин уграђивања, транспорт готове асфалтне масе, справљање асфалтне мешавине, контролу равности изграђеног застора, међутим, нема речи о отпору клизању потребном за остварење безбедне површине при различитим временским условима. То је био разлог за мерење отпора клизању на асфалтно-бетонским засторима који задовољавају Стандард ЈУС У.Е.4.014, и за утврђивање њихове зависности од крупноће примењеног агрегата, количине и врсте везива у мешавини.

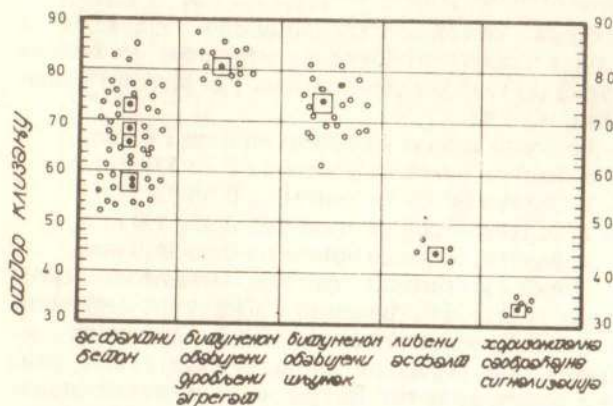
У табели 1. сажето су приказани резултати мерења отпора клизању на засторима од асфалтног бетона уграђеног на путевима СР Србије, СР Црне Горе и САП Војводине.

Табела 1. Сажет приказ резултата мерења отпора клизању на засторима од асфалтног бетона⁽¹⁾

АСФАЛТНИ БЕТОН С ВЕЛИЧИНОМ ЗРНА	ПРОСЕЧАН ОТПОР КЛИЗАЊУ	ВРСТА БИТУМЕНА
0 — 5 mm	53	BIT 60 (45)*
0 — 8 mm	66	BIT 60 (45)*
0 — 11 mm	73	BIT 90 60 (45)*
0 — 15 mm	69	BIT 60 (90)*

* Примењен на опитној деоници обилазних пута у Суботици

Анализом резултата датих у Табели 1. уочава се да асфалтни бетон, којему је величина зрна агрегата 0—11 mm, пружа највећи отпор клизању, а асфалтни бетон компонован од зрна агрегата величине од 0—5 mm најмањи. Код средњезрних мешавина у пуној мери долази до изражаја макро и микрохрупавост. Крупнозрна мешавина од које се очекивало да пружи највећи отпор клизању, у односу на друге мешавине, има нешто нижу вредност. Извршена мерења су показала да у почетку експлоатације ови застори дају високе отпоре клизању, а да, због величине саобраћаја и квалитета агрегата, често знатно опадну убрзо после изградње. Врхови агрегата на површини застора који је изложен саобраћају, углачају се и у влажном стању површина коловоза постаје клизава.



Сл. 1. Графички приказ вредности отпора клизању на асфалтним коловозним засторима⁽¹⁾

Ситнозрне мешавине типа пешчаног асфалта, чија је крупноћа зрна агрегата од 0—5 mm, показују задовољавајућу отпорност клизању, међутим, смањена могућност дренажа воде кроз коловозни застор у тренутку наиласка возила ограничава њихову примену код путева с већом брзином кретања возила.

На слици 1. дат је графички приказ вредности отпора клизању на асфалтним засторима. У њему се уочава групација резултата код одређених

застора, при чему је вредно уочити три основне групације резултата за асфалтно-бетонски застор, што потиче од различите гранулације агрегата примењеног у мешавини. Асфалтни бетони „средње“ гранулације, чија је крупноћа зрна агрегата од 0—11 mm, пружају највеће отпоре клизању, док асфалтни бетони рађени од агрегата од 0—5 mm дају најниже вредности.

Етапна изградња коловозних конструкција све чешће се користи у нашој пракси. Шљунковито-песковити и дробљени камени материјали обавијени битуменом најчешће се узимају као „привремени“ коловозни застори.

Ливени асфалт не користи се у толикој мери, међутим налази се као застор на мостовима, или служи за „поправке“ оштећења на асфалтно-бетонским засторима у експлоатацији.

Увидом у записнике о саобраћајним несрећама из 1976. год. у Републичком секретаријату за безбедност саобраћаја Србије, утврђено је да су „поправке“ на оштећеним путевима, које су вршене ливеним асфалтом на застору од асфалтног бетона, убрзо после израде биле узрок клизању возила по коловозу у кишним данима. То је био разлог да се мерењем отпора клизању утврди подобност примене ових мешавина и уочи разлика у отпору клизању (Табела 2).

Табела 2. Отпор клизању у зависности од врсте асфалтног застора⁽¹⁾

Врста застора	Макс. вред.	средња вред.	миним. вред.	захтев. вред.	ПРИМЕДБЕ
Асфалтни	83,6	66,4	53,1	55	Неуједначеност у резултатима потиче од разнородних мешавина крупнозрнасте или ситнозрнасте као и од века трајања високог отпора клизању препоручује ову мешавину за застор у етапној изградњи коловозне конструкције с ограниченим временом употребе
Дробљени битуменизирани агрегат	88,8	81,5	76 (70)*	55	
Битуменизирани шљунак	82	70,4	62 (53)*	55	
Ливени асфалт	45	44,2	43,4	55 (60)**	
					класично рађен ливени асфалт има низак отпор клизању, те се на основу овог критеријума не препоручује као застор на путевима с моторним саобраћајем

(*) После две године експлоатације

(**) Захтевана вредност на мосту

Обимна испитивања коловозних површина изграђених путева, у вези с отпором клизању, указују на следеће:

— На почетку експлоатације сви застори пружају висок отпор клизању, али тај отпор у зависности од саобраћаја, квалитета агрегата и битуменског везива, опада убрзо после изградње.

— Квалитет минералног агрегата и његово неједнако хабање има позитивног утицаја на постојаност отпора клизању и његову апсолутну вредност.

— Колотрази (деформације у попречном профилу пута) обично имају знатно нижи отпор клизању у односу на делове пута ван њега. Локално накопљање воде у колотразима најчешћи је узрок несреће, јер долази до клизања возила по коловозу. У вези с тим, утврђено је да недоста-

так скелетне структуре, повећане количине везива у асфалтној мешавини и недовољна збијеност асфалтног слоја поспешују стварање колотрага.

АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА ОТПОРА КЛИЗАЊУ У ЛАБОРАТОРИЈИ

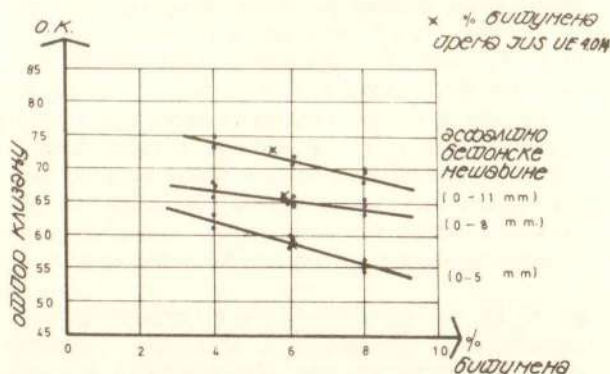
Анализом резултата добијених мерењем отпора клизању на путевима и опитним деоницама, уочена је зависност отпора клизању од количине битумена. Да би се ова зависност испитала, у лабораторији су извршена испитивања на три карактеристичне асфалтне мешавине. Испитивање је извршено на асфалтно-бетонским застори-ма који су рађени према Техничким условима за израду асфалтних бетона, и то:

- на асфалтном бетону с величином зрна агрегата од 0 — 5 mm,
- на асфалтном бетону с величином зрна агрегата од 0 — 8 mm и
- на асфалтном бетону с величином зрна агрегата од 0 — 11 mm.

Мешавине су компоноване са 4% и 8% битумена а коришћен је битумен ВІТ 60 из Босанског Брода. Пројектоване су три асфалтне мешавине за сваки проценат битумена, а нису компоноване мешавине с мање од 4% и више од 8% битумена, јер такве мешавине не могу остварити потребне физичко-механичке карактеристике захтеване по ЈУС.У.Е4.014.

Табела 3. Упоредни приказ лабораторијских резултата и просечних вредности мерења отпору клизању на путу⁽¹⁾

ТИП АСФАЛТНЕ МЕШАВИНЕ	% битумена						% битумена по ЈУС-у	ВРСТА БИТУМЕНА
	4	6	8	4	6	8	6 5,8 5,5	
	ИЗМЕРЕНИ ОТПОР КЛИЗАЊУ							
	у лабораторији			средња вред- ност			мерено на пу- ту сред. вреп.	
Асфалтни бетон 0—5 mm	63	58	55	61,3	59,6	55,6	5,8	ВНТ. 60
	61	59	56					
	60	60	56					
Асфалтни бетон 0—8 mm	66	65	63	66,3	65,0	63,3	66	ВНТ. 60
	67	65	64					
	66	65	63					
Асфалтни бетон 0—11 mm	73	72	69	73,3	72,0	69,6	73	ВНТ. 60
	74	72	68					
	73	72	69					



Сл. 2. Зависност отпора клизању од количине везива у асфалтно-бетонској мешавини⁽¹⁾

У табели 3. дат је приказ лабораторијских мерења отпора клизању, а ради упоређења приказане су просечне вредности отпора клизању измерене на путевима.

На слици 2. дат је приказ зависности отпора клизању од количине везива у асфалтно-бетонским мешавинама.

Анализирајући дијаграм (Слика 2), видимо да повећањем количине везива у асфалтној мешавини опада отпор клизању код све три посматране мешавине. Уочава се да ситнозрна мешавина даје ниже, а мешавина 0—11 mm више вредности отпора клизању, као и да мешавине 0 — 8 mm и 0 — 11 mm имају мањи нагиб од мешавине 0 — 5 mm, што указује на степен осетљивости ових мешавина на промену количине спојног средства у односу на отпор клизању.

Мерењима на путевима утврђено је да повећана количина везива у асфалтној мешавини утиче на појаву „масних мрља“ на површини коловоза, што доводи до смањења отпора клизању и указује да на тим површинама долази до пенетрације асфалтног мастика (песак + камено брашно + битумен) у горње слојеве асфалтног застора. То је оцењено као неповољно за отпор клизању. На таквим засторима уочен је губитак макрохраповости и појава колотрага (трајан деформација површине коловоза у попречном профилу на трагу кретања возила).

Упоредјујући мешавине компоноване у лабораторији, и зависност отпора клизању од количине везива, с искуствима стеченим током мерења на путевима, може се претпоставити да би лабораторијски резултати били за 5% до 8% већи када би се с површине лабораторијских узорака скинуо танки битуменски слој.

ЗАКЉУЧАК

1. С обзиром на то да у нашој техничкој регулативи не постоје критеријуми за мерење отпора клизању, било је неопходно извршити претходна мерења и формирати граничне услове. У том циљу искоришћени су подаци Републичког СУП-а за безбедност саобраћаја о „црним местима“ на путевима СР Србије из 1976. год., на којима се дешавају учестале саобраћајне незгоде изазване клизањем возила по коловозу. Ова мерења су допуњена мерењима на мостовима, кривинама малог радијуса, градским и ванградским саобраћајницама и деловима пута који су значајни за разматрање овога проблема. Комплексном анализом добијених резултата установљени су критеријуми о минималним допуштеним вредностима отпора клизању за поједине путне правце и делове пута који су дати у Табели 4, а уједно су формиран и гранични услови. Остали услови су формиран на основу искустава стечених експерименталним радом и праћењем понашања изграђених деоница путева у погледу отпора клизању.

2. Анализом резултата добијених мерењем отпора клизању на путевима и опитним деоницама, уочава се зависност отпора клизању од количине битумена. То је био повод да се у лаборато-

Табела 4. Критеријуми за минималне допушене вредности отпора клизању за поједине путене правце и делове пута^(1,2)

Карактеристике пута	Отпор клизању		
	Гранична вредност	Експлоат. вредност	Почетна вредност
А. Путеви с брзинама мањим од 80 km/čas и градске саобраћајнице	min.50	min.55	60
Б. Путеви и ауто-путеви с брзинама већим од 80 km/čas	min.55	min.60	65
Ц. Денонице с отежаним условима саобраћаја: — путеви с две или више саобраћајних трака по смеру — Кривине с „R“ мањим од 150 m после дугих праваца — Успони већи од 8% и дужи од 100 m	min.60	min.65	70
Д. Улази и излази из тунела где дува јак ветар	min.60	min.65	70
Е. Деонице пута испред семафора и на раскрсницама	min.60	min.65	70
Ф. Мостови и надвожњаци	min.60	min.65	70
Г. Носећи слојеви коловозне конструкције у функцији привремених застора	min.60	min.65	70
Х. Друга опасна места	min.60	min.65	70

рији изврше испитивања на три карактеристичне асфалтно-бетонске мешавине и утврди њихова зависност од количине везива у односу на отпор клизању (слика 2).

Утврђено је да повећана количина битумена у асфалтној мешавини негативно утиче на отпор клизању и да мешавине с количином везива мањом од предвиђене ЈУС-ом У.Е4.014. пружају већи отпор клизању, као и да постоји линеарна зависност ових параметара. Уочено је да ситнозрне мешавине дају ниже, а средњезрне (0—11 mm) више вредности отпора клизању, као и да су мешавине 0—8 mm и 0—11 mm мање осетљиве на промену количине везива од мешавине 0—5 mm.

3. Због економске оправданости, етапна изградња коловозних конструкција све чешће се користи у нашој пракси. Шљунковито-песковити или дробљени камени материјал обавијен битуменом

при томе се најчешће користе као „привремени“ коловозни застор.

То је био разлог да се мерењем отпора клизању утврди квалитет и подобност употребе ових мешавина (Табела 2).

На основу обављених експеримената може се закључити да шљунковито-песковити материјал обавијен битуменом не би требало користити дуже од 2 до 3 године као коловозни застор у етапној изградњи коловозних конструкција за велики обим саобраћаја. Треба истаћи да на почетку експлоатације ови застори пружају висок отпор клизању а примарни утицај има микрохрапавост као последица присуства кварца у пешчаној фракцији мешавине.

При дужем коришћењу овог „привременог“ застора уочена је појава трајних деформација у попречном профилу на трагу кретања возила, што у кишним данима доводи до локалног накупљања воде, а то директно утиче на безбедност саобраћаја јер нагло опада отпор клизању.

Нешто више вредности отпора клизању регистроване су на засторима који поред песковито-шљунковите фракције садрже и дробљени агрегат у количини од 30% до 40%.

„Привремени“ коловозни застори рађени од дробљеног агрегата обавијеног битуменом имају нешто блажи пад вредности отпора клизању (у фракцији времена), те се дуже могу користити као коловозни застори од претходне песковито-шљунковите мешавине обавијене битуменом. Због тога је неопходно „привремене“ коловозне засторе контролисати периодичним мерењима и извршити прекривање завршним слојем асфалта чим се уочи пад вредности овог параметра, као и појава деформације у попречном профилу, уколико се из других разлога то не обави раније.

Класично рађен ливени асфалт, који није посебно охрапављен у току израде неким од познатих поступака, показао је веома низак отпор клизању, те се према том критеријуму не препоручује као коловозни застор на путевима с моторним саобраћајем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. И. Ујдур, Прилог проучавању отпора клизању на асфалтним коловозним засторима, дисертација, Београд, 1979.
2. Швајцарски прописи, SNV 640511 Griffigkeit. Anforderung SRT. Јуни 1970.

Веза и прионљивост асфалтних слојева флексибилних коловозних конструкција

Др МИОДРАГ ОБРАДОВИЋ, Р ЉУБИЧИЋ, дипл. инж.

УВОД — АНАЛИЗА ПРОБЛЕМА ВЕЗЕ АСФАЛТНИХ СЛОЈЕВА ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Обимни истраживачки пројекти који се предузимају широм света ради побољшања квалитета и трајности флексибилних коловозних конструкција, имају заједнички циљ да се ова врста коловозних конструкција што више подреди аналогним законитостима које важе и у другим инжењерским конструкцијама.

Комплексност вишеслојне флексибилне коловозне конструкције захтева да се познавању особина и понашања асфалта уграђеног у поједине слојеве коловозне конструкције посвети посебна пажња.

Порастом интензитета саобраћаја, тежине возила и различитих услова за кретање моторних возила, појављују се различита оштећења и разарања флексибилне коловозне конструкције. Та се оштећења могу очекивати у разним слојевима коловозне конструкције, али су највише изражена у слојевима који су израђени од асфалта. Сигурно је да ова оштећења умногоме зависе од својстава и реолошких карактеристика асфалтне мешавине која је уграђена у поједине слојеве коловозне конструкције, али је исто тако значајно да су многа оштећења асфалтног коловоза директно везана за прионљивост асфалтних слојева коловозне конструкције.

Због слабе и недовољне везе и прионљивости појединих асфалтних слојева флексибилне коловозне конструкције, могу се јавити разноврсна оштећења коловозног застора. То су, првенствено, оштећења која се манифестују као већи или мањи таласи, због чега је коловоз деформисан, нераван и неудобан за вожњу, затим у одношењу појединих делова застора услед чега се стварају ударне рупе, а мање или веће површине застора остају без хабајућег слоја и то су, на крају, оштећења, која настају из прва два разлога, и која доводе до пропадања читаве коловозне конструкције.

Изнете констатације указују на то да је за обезбеђење равности и трајности флексибилне коловозне конструкције, између осталог, неопходно обезбедити добру прионљивост асфалтних слојева.

Данас се проблем прионљивости асфалтних слојева делимично решава непосредним уграђивањем слоја на слој док је асфалтна маса топла и док претходни асфалтни слој није запрљан и влажан. Међутим, како овакви услови нису увек у пракси обезбеђени, јављају се поједини истраживачки радови, али се они, углавном, ослањају на до сада стечена искуства. Ту се, првенствено, мисли на испитивања прионљивости употребом премаза асфалтног слоја угљоводоничним везивом, које углавном обезбеђује задовољавајућу прионљивост.

У овом реферату дат је прилог проучавању прионљивости асфалтних слојева флексибилних коловозних конструкција с аспекта стања површине асфалтног слоја, а у зависности од третирања асфалтног застора. Истраживање обухвата лабораторијско одређивање силе смицања, а у зависности од неколико битних променљивих фактора.

Крајњи циљ ових истраживања, која ће се и даље наставити, јесте да се установе критеријуми који би са сигурношћу одредили која се и каква прионљивост асфалтних слојева мора остварити да не би дошло до деформација и разарања асфалтног коловозног застора.

ДОСАДАШЊИ ПОСТУПЦИ ЗА ОСТВАРЕЊЕ ВЕЗЕ ИЗМЕЂУ АСФАЛТНИХ СЛОЈЕВА ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

У нас је пракса да се добра веза између асфалтних слојева флексибилних коловозних конструкција може остварити прскањем површине асфалтног слоја угљоводоничним везивом, без обзира на стање површине коловоза. У ту сврху углавном се користи врућ битумен високе пенетрације и полустабилна алкална битуменска емулзија у количини од $\sim 0,5 \text{ kg/m}^2$, без обзира да ли је ова количина у датом случају оптимална или не.

Овај поступак је уобичајен, почива на искуству и не води рачуна о којој се врсти коловозног застора ради и у којем је стању површина коловоза. Прскање површине асфалтног слоја угљоводоничним спојним средством, у одређеним условима стања површине асфалтног коловоза,

може да обезбеди успех, али то је само у изузетним случајевима. Ако је површина асфалтног слоја потпуно чиста и сува, а уграђивање следећег асфалтног слоја непосредно иза уграђивања претходног, може се очекивати добра прионљивост. Међутим ако је асфалтни слој запрљан и при том влажан, или се ради о застору од ситне камене коцке, онда је прионљивост недовољна и не постоји добра веза слојева. У овим случајевима сасвим је сигурно да ће доћи до деформација и разарања, прво асфалтног застора, а касније и до деформација горњих носећих асфалтних слојева.

И поред тога што се досадашњим испитивањима, а и у пракси, показало да се прскањем површине асфалтног слоја битуменском емулзијом не постижу задовољавајући резултати (нарочито онда када је површина асфалтног коловоза запрљана и влажна), овај се поступак упорно проводи јер неки наши прописи, који се односе на технологију извођења асфалтних коловоза, препоручују овај поступак. Из тог разлога овај се начин уноси и у Техничке услове, па се њега готово увек придржавају и надзорни органи.

Поступак прскања битуменском емулзијом, ради добијања добре везе између асфалтних слојева, зависи од више параметара. Првенствено од количине битуменске емулзије за прскање по m^2 а затим, у вези с тим, и од стања у коме се налази површина асфалтног коловоза.

У пракси се ови фактори не узимају у обзир, па и ако би се овим поступком и добили неки позитивни резултати (на пример кад је површина асфалтног слоја чиста и сува), они често изостају јер се поступак увек проводи на исти начин.

На многим нашим путевима констатовано је да се деформације коловозног застора настале услед слабе или готово никакве прионљивости асфалтних слојева. Међутим, ове констатације су базиране на визуелном осматрању приликом вађења непоремећених асфалтних узорака. У извештајима о насталим деформацијама асфалтног застора овај се недостатак описно образлаже, без могућности да се одређено, каже да ли веза и прионљивост асфалтних слојева задовољава или не. Оваквом начину рада, у највећој мери, доприносе Југословенски стандарди за асфалт који у погледу прионљивости асфалтних слојева немају дефинисан став. Наиме, у Југословенском стандарду за асфалт ЈУС У.Е9.021, критеријум у погледу прионљивости дефинисан је описно, тј. захтева се да прионљивост буде задовољавајућа. Овакав критеријум даје могућност да се прионљивост асфалтних слојева слободно процењује и да се она, углавном, проглашава задовољавајућом, сем у драстичним случајевима када је очигледно да се асфалтним слојевима одвајају и приликом вађења непоремећених узорака.

Изнета анализа указује на то да досадањи начини и поступци за везивање појединих асфалтних слојева флексибилне коловозне конструкције нису право решење и да имају низ недостатака. Поред тога, важећи критеријуми, који се налазе

у нашим стандардима, омогућују да се проблему прионљивости асфалтних слојева не поклања довољна пажња, што доводи до тога да се асфалтни коловози, у овом погледу, изводе некавалитетно и да се у току експлоатације пута могу очекивати неизбежне деформације коловозних конструкција.

ПОСТУПЦИ КОЈИ ОМОГУЋУЈУ ДА СЕ ОСТВАРИ ДОБРА ПРИОНЉИВОСТ АСФАЛТНИХ СЛОЈЕВА ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Познато је да се побољшање прионљивости у асфалтним мешавинама може остварити употребом адитива који побољшавају лепљивост угљоводоничног везива за камени агрегат. За ту сврху данас се користе различите врсте допова на бази амина, диамина и полиамина масних киселина.

Идеја да допови омогућују бољу прионљивост битумена за камени агрегат, искоришћена је у покушају да се прионљивост асфалтних слојева оствари применом асфалтних мешавина које су претходно допиране.

Резултати испитивања показују да се код допираних асфалтних мешавина остварује боља прионљивост слојева, али само у случају када површина асфалтног коловоза није напавашена водом. На основу ових истраживања дате су препоруке да се при изради асфалтних коловоза користе претходно допиране асфалтне мешавине јер само оне обезбеђују и добру прионљивост асфалтних слојева, али само када је површина асфалтног слоја чиста и сува.

Поступак с допираним асфалтним мешавинама донекле је решио проблем не само отпорности асфалтних мешавина на утицај воде већ и прионљивости асфалтних слојева коловозне конструкције. Допиране асфалтне мешавине нису, међутим, решиле и проблем који је толико присутан у пракси, а то је: како остварити најбољу везу асфалтних слојева када је површина коловоза напавашена водом, запрљана и влажна или запрљана и сува.

Да би се донекле решио проблем везе асфалтних слојева и у овим случајевима, предузета су истраживања и лабораторијска испитивања ради увођења поступка који би осигурао добру прионљивост асфалтних слојева флексибилних коловозних конструкција. Ова истраживања треба да докажу и предност овог поступка у односу на досадашње који су примењивани у пракси.

Идеја ових истраживања је да се прионљивост асфалтних слојева, без обзира на то у каквим је условима третирана површина асфалтног коловоза, оствари применом дисперзија допа којим ће се површина коловоза попрскати пре уграђивања другог предвиђеног асфалтног слоја. Следећи ову идеју извршена су потребна испитивања која су, у овој првој фази истраживања, показала да се прскањем површине диспергованим допом могу добити најбољи резултати у обезбеђивању прионљивости асфалтних слојева у свим условима.

ЛАБОРАТОРИЈСКА ИСПИТИВАЊА ПРИОНЉИВОСТИ АСФАЛТНИХ СЛОЈЕВА ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Лабораторијска испитивања прионљивости асфалтних слојева базирана су на одређивању силе смицања асфалтних узорака који су припремљени у лабораторији. Површине узорака биле су без премаза, премазане битуменском емулзијом или дисперзијом допа. Поред тога ове површине су различито третиране и то: чисте и суве, наквашене водом, запрљане и влажне и запрљане и суве. На овај начин обухваћени су сви могући случајеви који се јављају у пракси, а који имају утицаја на остварење потребне прионљивости асфалтних слојева. У почетној фази испитивања примећено је да на прионљивост асфалтних слојева битно утиче и температура површине коловоза. Због тога су испитивања вршена на температури од 20°C и 40°C, а ове температуре су одабране из дијаграма распрострањања температуре кроз асфалтне слојеве коловозне конструкције.

Испитивања прионљивости извршена су на носећим слојевима коловозне конструкције израђеним од битуменизованог шљунка.

Примењени материјали и асфалтна мешавина за испитивање прионљивости асфалтних слојева

За састав асфалтне мешавине употребљен је шљунковито-песковити материјал из реке Мораве, који је претходно био раздвојен на пет фракција ради добијања константне гранулације минералне мешавине. Асфалтна мешавина садржи и 5% каменог брашна, као и битумен BIT 130 у количини 4,5%.

За премазивање површине асфалтних узорака коришћена је полустабилна алкална битуменска емулзија у количини 0,2 kg/m² и 0,5 kg/m² и петнаестопроцентни емулговани доп Naftmittel F4HB/SI. Поступак дисперговања адитива F4 у води, као и однос количине воде и адитива, испитиван је у Лабораторији за путеве Завода за саобраћајнице и геотехнику Грађевинског факултета у Београду.

Поступак за испитивање прионљивости асфалтних слојева

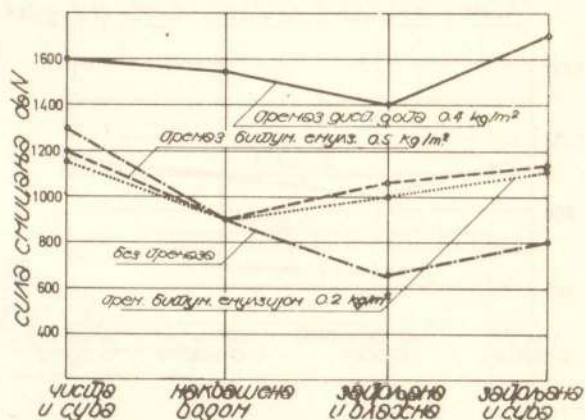
За испитивање прионљивости асфалтних слојева флексибилне коловозне конструкције усвојен је поступак за одређивање силе, силе на смицање при константној брзини деформације од 50 mm/min. Коришћени су стандардни Маршалови узорци који су били припремљени под истим условима који се прописују за методу „Marshall“, а висина узорка износила је 1/2 стандардне висине, тј. 3,5cm.

Испитивања прионљивости извршена су за различита стања површине коловоза (чиста и сува, наквашена водом, запрљана и влажна и запрљана и сува), при изабраним врстама третиране површине асфалтног слоја (површина без премаза, премазана битуменском емулзијом и премазана емулзијом допа), на температури од 20°C и 40°C.

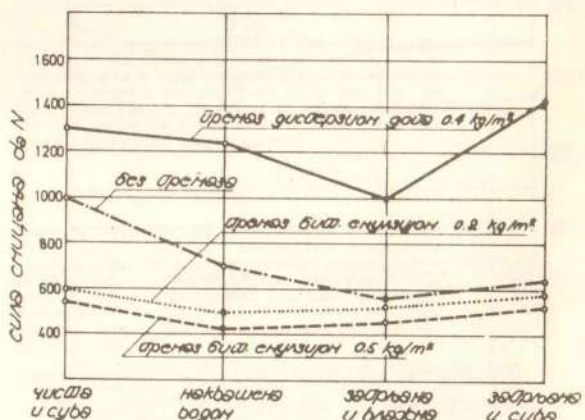
Резултати извршених испитивања прионљивости асфалтних слојева

Резултати испитивања прионљивости, а који се односе на одређивање силе на смицање, сређени су према врсти третиране површине, стању површине асфалтног слоја и температури испитивања и приказани на одговарајућим дијаграмима.

Да би се уочила промена силе смицања у зависности од врсте третиране површине, на дијаграму (слика 1) приказана је ова зависност у односу на температуру испитивања T = 20°C и T = 40°C. На дијаграму (слика 2) дата је, такође, међусобна зависност између стања површине коловоза и третиране површине за температуре испитивања T = 20°C и T = 40°C.



Сл. 1. Промена силе смицања у зависности од врсте третиране површине асфалтног слоја на температури +20°C

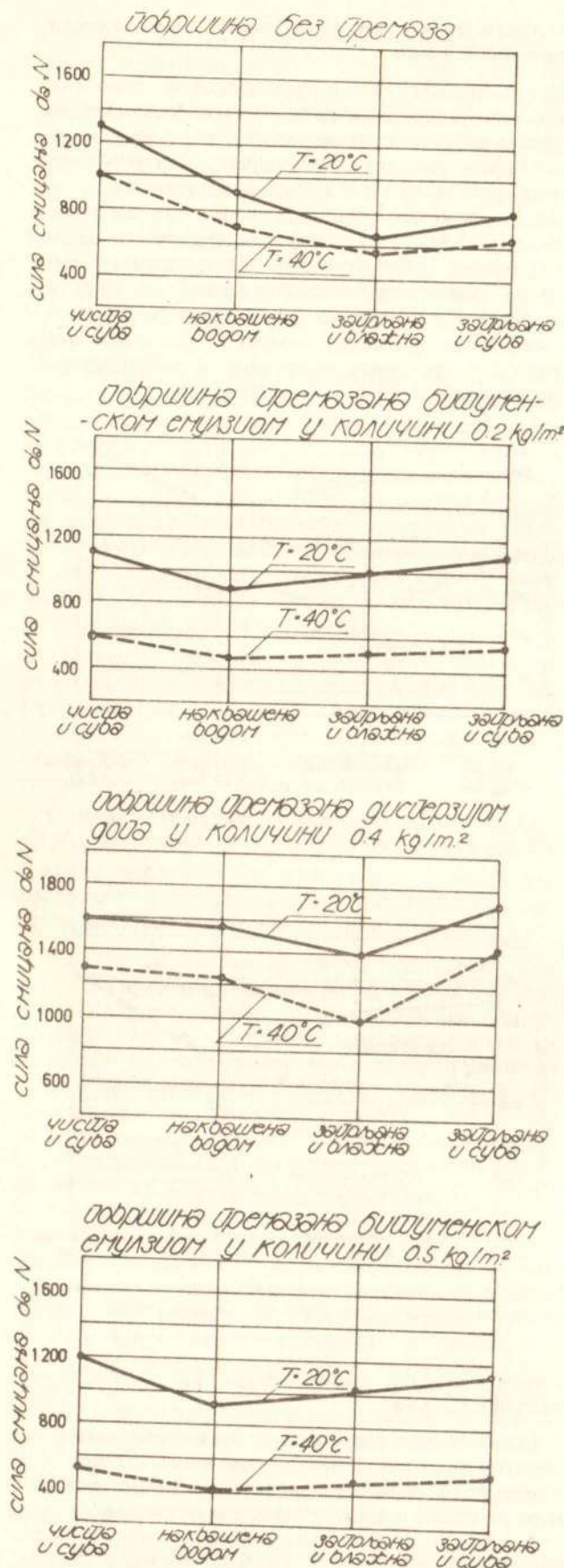


Сл. 2. Промена силе смицања у зависности од врсте третиране површине асфалтног слоја на температури +40°C

Анализа резултата испитивања прионљивости асфалтних слојева

Из прегледа резултата испитивања може се уочити да прионљивост прилично зависи од температуре површине асфалтног слоја, без обзира на стање и врсту третиране површине.

Резултати испитивања, такође, показују да се највеће вредности сила смицања добијају када је површина асфалтног слоја чиста и сува (дијаграм, слика 2). Међутим, може се запазити да сила смицања нагло опада када се повећава темпе-



Сл. 3. Промена силе смицања у зависности од врсте штретиране површине асфалтног слоја на температури +20°C и +40°C

ратура површине слоја. Овај скок је најизраженији при премазу коловоза битуменском емулзијом.

Ако се анализирају вредности силе смицања при чистој и сувој површини асфалтног коловоза на температури 20°C, онда се може констатovati да постоје незнатне разлике у вредностима силе смицања када је површина асфалтног слоја без премаза или је премазана битуменском емулзијом. Опадање силе смицања, у овом случају, износи око 8%. Најмање силе смицања добијају се када је површина коловоза наковашена водом а премазана битуменском емулзијом у количини 0,2 kg/m² или 0,5 kg/m². Процентуално опадање силе смицања је веће код количине емулзије од 0,5 kg/m² (износи 24%) него код количине 0,2 kg/m² (износи 20%). Међутим, ово опадање силе смицања је, за обе температуре од 20°C и 40°C, приближно исто, што указује на то да је, у овом случају, боље површину коловоза прскати мањом количином битуменске емулзије.

ЗАКЉУЧАК

На основу обављених испитивања и добијених резултата може се издвојити неколико битних закључака који указују на значај и допринос овог реферата.

1. При решавању проблема прионљивости асфалтних слојева неопходно је установити у ком је стању површина асфалтног коловоза и према том стању изабрати поступак који ће обезбедити најбољу везу, асфалтних слојева. Резултати извршених испитивања несумњиво показују да се применом новог поступка, прскањем површине коловоза дисперзијом допа, добија најбоља прионљивост асфалтних слојева, без обзира у ком је стању површина асфалта.

2. Прионљивост и веза асфалтних слојева флексибилних коловозних конструкција релативно је оцењена а на бази упоређења резултата добијених за различите врсте третирањих површина асфалтних коловоза. На овај начин може се само указати на то којим се поступком може остварити најбоља прионљивост, али се не може рећи и да ли она задовољава или не, у погледу трајности коловозне конструкције. Зато је неопходно да се у даљим истраживањима, на основу резултата лабораторијског испитивања и резултата испитивања узорка извађених из готовог асфалтног коловоза, утврде критеријуми на основу којих би се прописале вредности за неопходну прионљивост асфалтних слојева флексибилне коловозне конструкције.

3. При решавању проблема пројектовања и димензионисања коловозних конструкција мора се дефинисати и прионљивост асфалтних слојева, а у функцији разматраних променљивих параметара. Због тога резултати добијени у овом раду, а и они који ће се добити даљим истраживањима, корисно ће послужити у поступку пројектовања и димензионисања флексибилних коловозних конструкција.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Обрадовић, Прилог проучавању реолошких особина асфалтних мешавина са додатком еластомера под поновљеним оптерећењем, докторска дисертација, Београд, 1978. г.
2. М. Обрадовић, Р. Љубичић, Студија санације асфалтних слојева коловозне конструкције на аутопуту Е75 Београд—Нови Сад, Завод за саобраћајнице и геотехнику Грађевинског факултета, Београд, 1979.
3. М. Обрадовић, Р. Љубичић, Извештај о извршеним испитивањима прионљивости на путу Мали Пожаревац—Влашко Поље, Институт за испитивање материјала СР Србије, Београд, 1979.
4. TH. Goldschmidt „Tedo-Heftmittel“ i Tedo-aditiv ALFA C“, TH Goldschmidt NV, посебна публикација, 1976.
5. ЈУС U.E4.014
6. ЈУС U.E4.021



ГРАБЕВИНСКО ПРЕДУЗЕЋЕ

СА СОЛИДАРНОМ ОДГОВОРНОШЋУ

ЗЕМУН, 22. октобар 15. СРС

Телефон 607-071 — Телекс 11136 YU ПЛАНУМ,
жрн 60805-601-13789

ген. дир. инж. грађ. Милан Миливојевић,
тел. 607-671

ИЗВОДИ У ЗЕМЉИ И ИНОСТРАНСТВУ

аеродроме, ауто-путеве, савремене саобраћајнице, подземне објекте специјалних врста, железничке, путне и хидротехничке тунеле, железничке пруге, земљане и бетонске бране и сл.

ДО САДА ЈЕ ИЗВЕЛО

више модерних аеродрома у земљи и иностранству са бетонским и асфалтним пистама (аеродроми: „Београд“, „Скопје“, „Титоград“, „Мостар“, „Пула“, „Ријека“, „Иванград“, „Приштина“, као и аеродроми у Либији, Сирији, Јордану и Замбији). Изграђено је више стотина километара савремених путева у земљи као и 365 км путева у Замбији и 127 км у Сирији. Изграђено је око 70 км нормалних железничких пруга, нарочито деонице пруге Београд—Бар, затим железничких тунела укупне дужине 31 км и најтежи тунел „Мили“ на прузи Београд—Бар. Такође је доводио тунел водостан и машинска зграда ХЕ „Глобочица“ као и неколико подземних хала посебне намене са попречним профилама до 16 м² укупне дужине око 5 км. Саграђено је

и тунела у експлоатацији на прузи Никшић—Титоград—Бар и то прсканим бетоном и инјектирањем, као и хидроизолација на разним објектима површине око 90.000 м². Овде спада и изградња вертикалних шахтова и окана, пресека 2,5—20,0 м² укупне висине око 3000 м као и низ других подземних објеката.

САДА ИЗВОДИ У ЗЕМЉИ

Деоницу аутопута Мали Пожаревац—Умчари—Нинш, реконструкцију и проширење аеродрома „Београд“ као и реконструкцију старих и изградњу нових саобраћајница на територији Београда. Такође изводи тунел „Дедине“ у оквиру Железничког чвора Београд, колектор за атмосферску воду у Земуну и подземни објекти посебне намене.

У ИНОСТРАНСТВУ ИЗВОДИ

Брану на реци Зарка у Јордану као и путеве и аеродроме у Замбији и Кувајту.

Могућност одређивања стандардних вискозности битумена помоћу ротационог вискозиметра

Др ДУШАН СВЕТЕЛ, И. ПАП

УВОД

Битумен представља еластовискозан материјал коме се, у зависности од температуре, реолошке особине приближавају понашању идеално еластичних, чврстих тела (температуре испод тачке лома по Фрасу), као и вискозних, течних тела (температуре изнад тачке размекшања по РК) с опсегом вискозности од 10^{-3} Pa · s па до око 10^9 Pa · s.

Јединствени реолошки инструмент, који би обухватио сва испитивања, веома је сложен. Због тога постоји неколико општих метода и читав низ инструмената који омогућују испитивање појединих карактеристика. Коју ћемо методу испитивања и реолошки инструмент изабрати, зависи од тога који нам је податак и под којим условима потребан.

Једноставне корелације између вредности вискозности не постоје јер су битумени углавном нењутновског карактера, с израженим еластовискозним особинама.

У овом раду приказана је могућност одређивања стандардних вискозности битумена (динамичке на 60°C и кинематичке вискозности на 135°C) помоћу ротационог вискозиметра HAAKE RV-2.

ТЕОРИЈСКИ ДЕО

Капиларни вискозиметри

Према Југословенским стандардима ЈУС В.Н8.620⁽¹⁾ и ЈУС Б.Х8.621⁽²⁾, који су засновани на америчким стандардима ASTM D 2171-66⁽³⁾ и D 2171-74⁽⁴⁾, динамичка и кинематичка вискозност испитује се помоћу стаклених капиларних вискозиметара.

Код капиларних вискозиметара протицање течности кроз капилару у ламинарном току почива на Poiseuilleovom закону, према којем је:

$$\eta = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot \Delta p \cdot t}{8 \cdot V \cdot L}$$

односно, вискозност течности (η) је директно пропорционална разлици притиска на крајевима капиларе (Δp). (еквивалентно напону), четвртој степену полупречника капиларе (R^4), времену протицања (t), а обрнуто пропорционална запремини течности (V) која протиче кроз капилару и дужини капиларе (L).

Метода испитивања вискозности заснива се на мерењу времена протицања одређене запремине, односно масе, течности кроз тачно дефинисану капилару, под дејством сопственог хидростатичког притиска или примењеног спољашњег притиска. Под тачно контролисаним условима притиска и температуре, вискозност се израчунава множењем времена протицања течности кроз капилару с баждарним фактором вискозиметра.

Ротациони вискозиметри

Ротациони вискозиметар HAAKE RV-2 спада у групу електро-ротационих вискозиметара, где се електричним путем мери обртни моменат настао на ротационом телу. Веома је погодан за реолошка испитивања, нарочито за испитивање зависности брзине смицања о отпору смицања и за добијање карактеристичних дијаграма протицања. Принцип мерења на ротационом вискозиметру састоји се у томе што се, при тачно контролисаној температури, у испитаном узорку обрће ротационо тело одређеном брзином. Услед ротационог смицања јавља се напон смицања који је пропорционалан динамичкој вискозности.

Тангенцијални напон израчунава се из угаоне брзине и димензија вискозиметра. Одређивањем низа вредности напона смицања при различитим брзинама смицања добија се зависност $\tau = f(D)$ која је у реолошком дијаграму у log-log координатама дефинисана правом. Нагиб праве представља степен комплексног течења (n) и указује на одступање од њутновског понашања.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

Могућност одређивања динамичке вискозности битумена на 60°C помоћу ротационог вискозиметра

За одређивање динамичке вискозности битумена на 60°C и вакууму од 40,0 kPa, према стандарду ЈУС Б.Х8.620, употребљавају се вакуум капиларни вискозиметри Америчког асфалтног института, који се користе за испитивање вискозности нењутновских течности.

Цео поступак испитивања траје око 1,5 сат и захтева велику умешност експериментатора. Пра-

Таблица 1. Резултати одређивања вискозности битумена БИТ 60 на ротационом вискозиметру HAAKE RV-2

N ($^{\circ}$ /min)	D (s^{-1})	log D	τ (Pa)	log τ	η (Pa s)
0 200	3 600	0 560	1 506 0	3 177	395
0 283	5 377	0 731	2 048 5	3 310	379
0 400	7 600	0 881	2 796 0	3 446	367
0 563	10 754	1 032	3 635 0	3 563	339
0 800	15 200	1 182	4 837 5	3 685	318
1 130	21 470	1 332	6 667 5	3 817	305
1 600	30 400	1 483	8 707 5	3 940	286
2 260	42 940	1 633	11 810 0	4 065	270
3 200	60 000	1 784	15 605 0	4 196	258

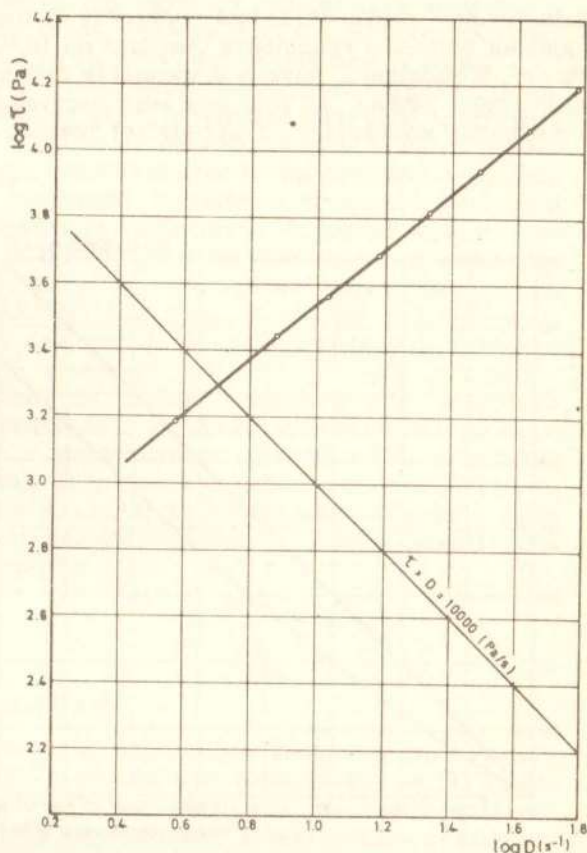
ње вискозиметра такође није једноставно. Сем тога услови испитивања, тј. $\tau = 40.000$ Pa, прилично су оштри. Због тога се испитивала могућност одређивања динамичке вискозности битумена на 60°C помоћу ротационог вискозиметра HAAKE RV-2, помоћу мерног система плоча — конус РК-2. Нагиб конуса је $0,3^{\circ}$, а висина зазора између плоча и конуса износи мање од $0,5$ mm. При обртању конуса сталном угаоном брзином, материјал је подвргнут константном смицању.

Предности овог мерног система су у томе што је за одређивање вискозности потребна врло мала количина битумена, свега око $0,1$ cm³, време термостатирања је 2-3 минута, испитивање траје око 30 минута а поступак чишћења је врло једноставан.

Једина мана овог система је што при већим брзинама смицања долази до истискивања испи-

Таблица 2. Вредности динамичке вискозности битумена на 60°C

ВРСТА БИТУМЕНА	Противојач битумена	Вискозност битумена (Pa·s)		Степен комплексног течења
		JUS B H8 620	HAAKE RV-2 T. 0. 9. 7. 1	



Сл. 1. Зависност тангенцијалног напона од градијента смицања на 60°C , мерена вискозиметром Haaке RV-2, системом плоча—конус

тиване супстанце испод конуса, тј. до Weissenbergovog ефекта, при чему долази до наглог пада вредности тангенцијалног напона.

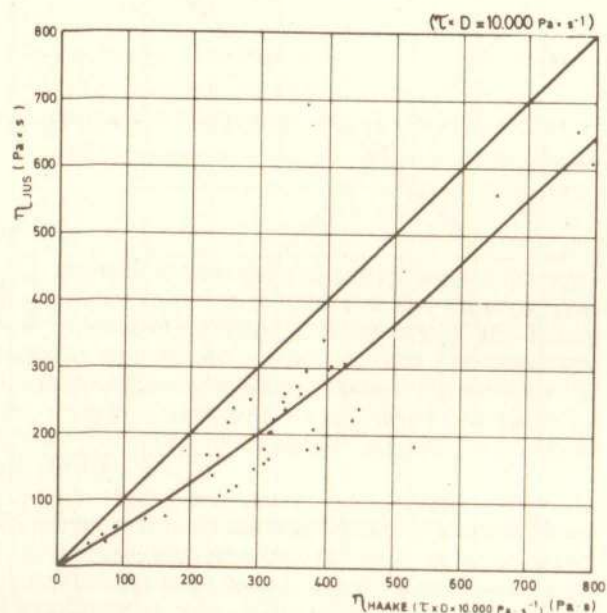
На ротационом вискозиметру HAAKE RV-2, уз мерни систем плоча-конус, одређене су вредности при различитим обртним брзинама. У табели 1. дате су вредности обртног момента (N), градијента смицања (D) тангенцијалног напона (p) и динамичке вискозности битумена БИТ 60, а на дијаграму на слици 1. дата је зависност $\log \tau = f(\log D)$.

Апсолутна вискозност је одређена код константне вредности производа тангенцијалног напона и градијента смицања од 10.000 Pa $\cdot$ s⁻¹, односно узимајући у обзир вредности координата пресечне тачке права: $\log \tau = f(\log D)$ и $\tau \times D = 10.000$ Pa $\cdot$ s⁻¹. Вредност вискозности добијене на овај начин износи 387 Pa $\cdot$ s.

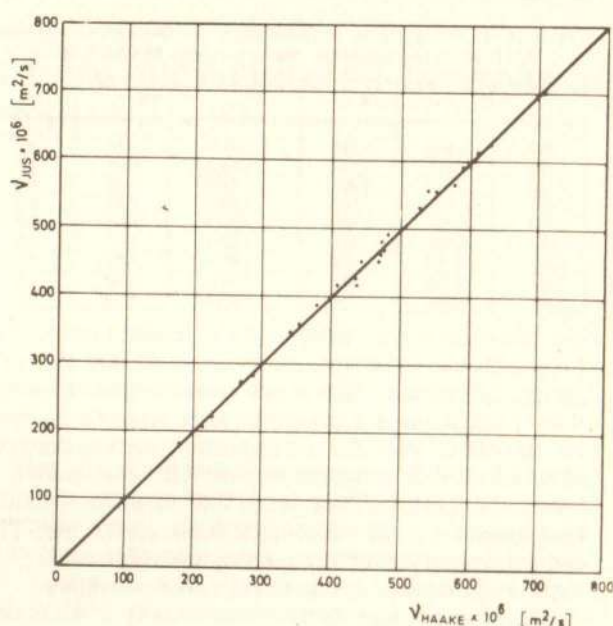
Вредност производа тангенцијалног напона и градијента смицања од 10.000 Pa $\cdot$ s⁻¹ узета је због тога што при већим вредностима долази до Weissenbergovog ефекта, а при мањим вредностима не добијају се довољно тачни резултати. Ова одабрана вредност показала се као најпогоднија за све врсте битумена према ЈУС-у У.М3.010. При томе вредност тангенцијалног напона се, у зависности од врсте битумена, креће између 150 и 4.000 Pa, а вредност градијента смицања од 2 до 60 s⁻¹.

У табели 2. и у дијаграму на слици 2, приказане су вредности динамичке вискозности на 60°C , одређене стандардном методом по ЈУС-у Б.Х8.620, као и вредности динамичке вискозности одређене на ротационом вискозиметру HAAKE RV-2, с уре-

ђајем плоча—конус РК-2, при производу тангенцијалног напона и градијента смицања од $10.000 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$. У табlici 2. дате су и вредности степена комплексног течења „н“ који даје меру одступања у понашању материјала од њутновског течења.



Сл. 2. Зависности стандардне апсолутне вискозности битумена на 60°C од апсолутне вискозности одређене на ротационом вискозиметру Haake RV-2



Сл. 3. Зависности стандардне кинематичке вискозности битумена на 135°C од кинематичке вискозности одређене на ротационом вискозиметру Haake RV-2

Могућност одређивања кинематичке вискозности битумена на 135°C помоћу ротационог вискозиметра

Према стандарду ЈУС-а Б.Х8.621 кинематичка вискозност представља отпорност течности према течењу под дејством сопственог хидростатичког притиска и дефинисана је односом динамичке вискозности (η) и густине (d). Будући да се битумен на 135°C налази у области врло блиској њутновском понашању, вискозност не зависи од величине градијента смицања.

Према југословенском стандарду, кинематичка вискозност је одређена на 135°C помоћу стаклених капиларних вискозиметара према, „Cannon-Fenske“.

Динамичка вискозност битумена одређена је и помоћу ротационог вискозиметра HAAKE RV-2 уз употребу коаксијалних цилиндара — мерни систем SV—I. Запреминска маса одређена је према ЈУС-у У.М8.010, на 25°C , а запреминска маса на 135°C добијена је множењем вредности запреминске масе на 25°C фактором 0,934 који узима у обзир коефицијент ширења битумена. Кинематичка вискозност добијена је из $\gamma = \eta/d_{135^\circ\text{C}}$

У табlici 3. приказане су вредности кинематичке вискозности одређене стандардним методом и помоћу ротационог вискозиметра, при градијенту смицања $D = 644,4 \text{ s}^{-1}$. Ове вредности су приказане и на дијаграму на слици 3.

РАЗМАТРАЊЕ РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА

Из 2. табlice се види да су вредности динамичке вискозности на 60°C , одређене на ротационом вискозиметру HAAKE RV-2, с уређајем плоча—конус, код услова $\tau \times D = 10.000 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$, знатно веће од вредности динамичке вискозности

Таблица 3. Вредности кинематичке вискозности битумена

Врста Битумена	Произвођач битумена	Вискозност битумена		Релативно одступања %	
		JUS B. N8. 621 $\sqrt{10^6 (m^2/s)}$	HAAKE SV-1 (mPa) $\sqrt{10^6 (m^2/s)}$		
BIT 200	Бос. Брод	212	0 200 211	-0 47	
		181	0 173 181	+0 55	
BIT 130		208	0 203 215	+3 26	
		282	0 274 288	+2 08	
BIT 90		273	0 256 270	-1 11	
		346	0 327 343	-0 87	
BIT 60		359	0 337 355	-1 13	
		387	0 362 380	-1 84	
		401	0 380 400	-0 86	
		418	0 389 408	-2 48	
		427	0 415 434	+1 61	
		447	0 424 446	-0 22	
		468	0 451 475	+1 47	
		481	0 461 472	-1 96	
		534	0 510 534	0 00	
		531	0 560 589	-0 34	
		628	0 610 630	-0 32	
		525	0 500 524	-0 19	
		BIT 45	612	0 589 608	-0 49
			704	0 681 708	+0 71
BIT 60	Нови Сад	415	0 389 416	+0 24	
		482	0 418 443	-2 09	
		504	0 477 501	-0 60	
		555	0 519 543	-1 10	
		404	0 380 399	-1 25	
		565	0 539 576	+1 81	
		492	0 450 481	-2 29	
		223	0 222 229	+2 62	
BIT 200	ИНА-Ријека	493	0 450 467	+3 00	
		531	0 504 526	-0 95	
BIT 60		416	0 407 436	+4 59	
		462	0 440 470	+1 90	
BIT 45		556	0 504 539	-3 15	
		816	0 840 857	+4 18	
BIT 90		Албанија	727	0 742 755	+3 71
396	0 389 397		+0 25		
BIT 200	Shell	243	0 233 246	+0 41	
BIT 60	ESSO	447	0 423 446	-0 22	
BIT 45		896	0 778 821	-0 61	

која се добија одређивањем стандардне динамичке вискозности помоћу капиларног вискозиметра по методи ЈУС Б.Х8.620.

Из 2. таблице се, такође, види да се вредност степена комплексног течења „ n “ креће од 0,65 до 1,10, што значи да код свих узорака битумена долази до већег или мањег одступања од понашања њутновског материјала. Према томе, вредност вискозности зависи од услова под којима се врши испитивање и што су веће вредности тангенцијалног напона и градијента смицања, добијају се мање вредности вискозности јер долази до већег разарања структуре битумена.

Швајцарски стандард SNV 671722 прописује стандардни метод за одређивање динамичке вискозности на 60°C и 130°C помоћу ротационог вискозиметра система цилиндар-цилиндар. Стандард прописује да се код одређивања динамичке вискозности на 60°C примењује градијент смицања од 1 s⁻¹, значи мањи но што смо ми усвојили. Напоменимо да су Romberg и Traxler⁽⁶⁾ предложили да се код битумена који одступају од њутновског понашања, одређивања вискозности врше код вредности продукта тангенцијалног напона и градијента смицања од 1.000 erg/s · cm³ што одговара вредности од 100 Pa·s⁻¹. Очигледно је да се тражи могућност одређивања вискозности при што је могуће мањим вредностима тангенцијалног напона и градијента смицања, како би се добила вредност вискозности битумена непоремећене структуре.

Ако се, међутим, тражи да се добије корелација резултата испитивања ротационим вискозиметром и испитивања динамичке вискозности по ЈУС-у Б.Х8.620, било би потребно извршити испитивања динамичке вискозности у приближно истим условима, односно при напону смицања од 40.000 Pa. При овом смицању дошло би до Weissenbergovog ефекта, тако да директно одређивање није могуће. Покушали смо рачунским путем, методом екстраполације, да одредимо ову вредност, узимајући у рачун вредности вискозности при $\tau \cdot D = 10.000 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ и вредност степена комплексног течења „ n “. Код извесног броја узорака добили смо вредности које се у границама грешке слажу с вредностима одређеним помоћу капиларног вискозиметра. Међутим, одступања су бројна, и то нарочито код узорака код којих је садржај парафина изнад дозвољеног. Ово указује на чињеницу да индекс комплексног течења није исти изнад мерног подручја, већ да при великим напонима смицања долази до промене његове вредности. Ова појава је предмет нашег даљег проучавања и за сада немамо довољно података да бисмо дали њено тумачење.

Ови резултати испитивања покрећу питање важно за карактеризацију битумена: која вредност вискозности је меродавна за оцену понашања битумена? Да ли је важнија вредност поремећене или делимично, односно потпуно поремећене структуре? Да ли је стандардна метода за одређивање динамичке вискозности на 60°C повољна с обзиром на то да даје вредност вискозности разорене структуре? При томе не улазимо у то да ли је дошло до разарања мицела, или до веза ме-

ђу њима, или само до оријентације молекула у смеру течења. Важно је да меримо вредност вискозности узорка у знатно измењеном стању.

Код одређивања кинематичке вискозности битумена на 135°C понашање битумена је другачије. Потврђена је претпоставка да се на тој температури испитивани битумени понашају врло блиско понашању њутновске течности. Резултати кинематичке вискозности одређене методом по ЈУС-у Б.Х8.621 помоћу капиларног вискозиметра и методом с ротационим вискозиметром по HAAKE SV-1 одступају у просеку $\pm 1,45\%$, а само у два случаја од 39, одступање је износило 4,59%, односно 4,70%, што је, с обзиром на одступања од средње вредности које дозвољава стандард ЈУС Б.Х8.621 (поновљивост највише 1,8% и упоредљивост највише 8,8%) и одступања која се јављају код мерног система SV-I ротационог вискозиметра (поновљивост највише $\pm 0,8\%$ и упоредљивост највише $\pm 2,5\%$), сасвим задовољавајуће.

ЗАКЉУЧАК

Поступци одређивања апсолутне вискозности на 60°C и кинематичке вискозности на 135°C, које прописују стандарди ЈУС Б.Х8.620 и 621, поред тога што захтевају велику умешност експериментатора, временски врло дуго трају а прање стаклених вискозиметара је посебан проблем.

Одређивање вискозности помоћу ротационог вискозиметра на 135°C далеко је једноставније и брже, а тачност испитивања се налази у границама које прописује стандард ЈУС Б.Х8.621. Због тога одређивање вискозности ротационим вискозиметром има предности у односу на стандардну методу.

Метод одређивања кинематичке вискозности на 135°C помоћу ротационог вискозиметра потпуно може да замени стандардну методу помоћу капиларних вискозиметара јер се добијају идентични резултати.

Одређивање динамичке вискозности на 60°C помоћу ротационог вискозиметра даје нам друге вредности од оних које се добијају помоћу стандардних капиларних вискозиметара због других услова испитивања и због одступања понашања битумена од њутновског течења на 60°C.

Поставља се важно питање: која вискозност битумена је меродавна за оцену квалитета и употребљивости битумена као везива, да ли вискозност поремећене или непоремећене структуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЈУС Б.Х8.620
2. ЈУС Б.Х8.621
3. ASTM D 2171-66
4. ASTM D 2171-74
5. I. Van Wazer, I. Lyons, R. Kim, R. Colwell, Viscosity and flow measurement, New York, Interscience Publishers, 1963.
6. J. W. Romberg, R. N. Traxler, J. Colloid. Sci. 2 (1947) 33.

Утицај растварача на вискозност битумена

Др ДУШАН СВЕТЕЛ, И. ПАП.

УВОД

Битумен се највише употребљава у грађевинарству, као компонента асфалта, изолационог материјала, код разних индустријских производа и у друге сврхе. Ради квантитативног и квалитативног добијања битумена за даља испитивања, потребно је претходно растварачем издвојити битумен из наведених производа, а затим одстранити растварач. Издвајање се најчешће врши екстракцијом с погодним растварачем, а уклањање растварача комбинованим методама загревања и вакуум дестилације.

У овом раду разматрано је питање дали је употребљени растварач добро солватизационо средство и да ли утиче, и у којој мери, на карактеристике битумена.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

Да би се утврдио утицај појединог растварача на битумен, као и могућност елиминисања тог утицаја, битумени врсте БИТ 60 из рафинерије ИНА-Ријека и из Босанског Брода, растворани су у растварачима: CS_2 , CHCl_3 , CCl_4 , C_6H_6 , ТНЕ р.а., ТНЕ технички и дизел уљу, тако што је 3 грама битумена, уз благо загревање и мешање, растворено у 150 cm^3 растварача. Растварач је затим одвојен класичним загревањем раствора битумена до константне масе, као и помоћу вакуум дестилације.

Утицај растварача на битумен код класичног издвајања растварача

Раствор битумена у растварачу упараван је на пешчаном купатилу приближно 24 часа на $135 \pm 5^\circ\text{C}$ уз повремено мешање. Да би се пратио утицај загревања на битумен, иста количина битумена је, такође, подвргнута 24-часовном загревању на $135 \pm 5^\circ\text{C}$.

Свим узорцима битумена одређена је апсолутна вискозност на 60°C , на ротационом вискозиметру НААКЕ RV-2, с мерним системом плоча-конус.

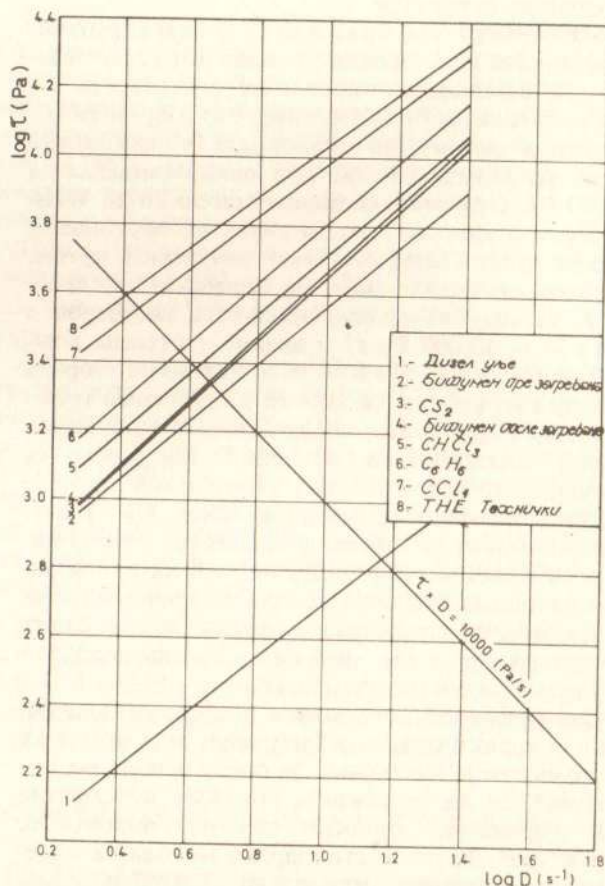
Резултати испитивања приказани су на дијаграму на слици 1. У дијаграму је дата зависност тангенцијалног напона τ од примењеног градијента смицања D у log-log систему, при чему је

апсолутна вискозност одређена при константној вредности производа тангенцијалног напона и градијента брзине од $10.000 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$.

Степен комплексног течења n је тангенс правца функције $\log \tau = f(\log D)$.

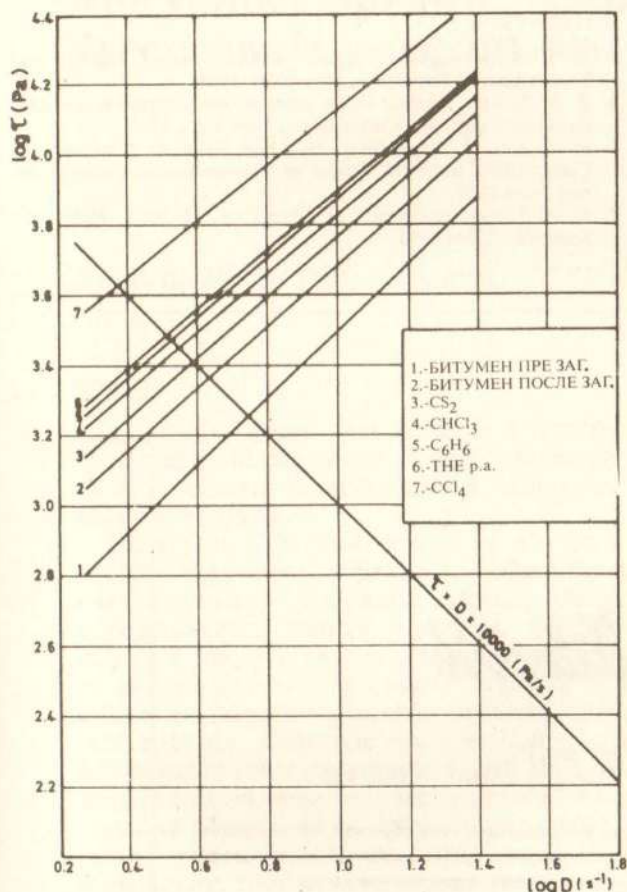
За њутновске течности, и оне које се приближавају том понашању, степен комплексног течења има вредност од 1,0 до 0,95. За битумене који одступају од тог понашања степен комплексног течења има вредност од 0,3 до 0,95⁽²⁾.

Иста испитивања извршена су и с битуменом БИТ 60 из Рафинерије нафте у Босанском Броду.



1. Апсолутна вискозност битумена на 60°C
(Битумен БИТ 60 ИНА-Ријека)

Резултати испитивања приказани на дијаграму на слици 2.



Сл. 2. Апсолутна вискозност битумена на 60°C (Битумен BIT 60 из Рафинерије Босански Брод)

Утицај растварача на битумен код вакуум дестилације

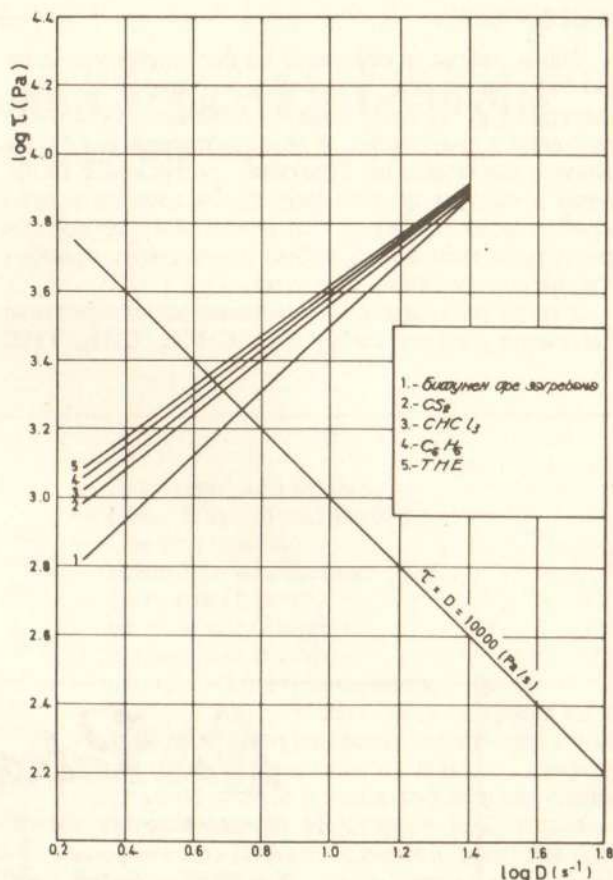
После растварања битумена, растварач је уклоњен вакуум дестилацијом у вакуум испаривачу.

Резултати испитивања битумена после вакуум дестилације дати су у дијаграму на слици 3. Испитани су само битумени из Рафинерије у Босанском Броду.

РАЗМАТРАЊЕ РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА

Из резултата испитивања приказаних на дијаграмима на сликама 1. и 2, може се закључити да код класичног издвајања растварача, загревањем раствора битумена до константне масе, врста растварача знатно утиче на промене особина битумена.

Вредност апсолутне вискозности битумена и тачке размекшања по РК се повећавају, а вредност степена комплексног течења опада, у смеру CS_2 , CHCl_3 , C_6H_6 , TNE p.a., CCl_4 , TNE технички. Резултати испитивања, очигледно, указују на различит степен хемијске промене битумена под утицајем растварача, при чему CCl_4 и TNE у великој мери утичу на промену особина битумена.



Сл. 3. Апсолутна вискозност битумена на 60°C (Битумен BIT 60 из Рафинерије Босански Брод — вакуум дестилација)

Утицај растварача на битумен, приликом загревања, расте у смеру CS_2 , CHCl_3 , C_6H_6 , TNE p.a., CCl_4 , TNE технички дизел уље, што је у доброј корелацији с вредностима напона паре растварача. Практички је немогуће одстранити растварач из тако комплексног материјала а да не дође до промене реолошких особина услед хемијских промена битумена.

Ова метода се стога не може применити за издвајање битумена из мешавина у оним случајевима када се желе одредити особине екстрахираног битумена.

Издвајање битумена из раствора дестилацијом на температури од 163°C у струју CO_2 , према Абсон методи — ASTM D 1856, такође има својих недостатака.

Због тога је усвојена метода одстрањивања растварача вакуум дестилацијом. Предност ове методе је у брзини уклањања растварача, а тиме се смањује и време контакта растварач-битумен, као и већина непожељних ефеката.

Резултати испитивања битумена после екстракције и вакуум дестилације дати су на дијаграму на слици 3.

Испитивањем промене вискозности и степена комплексног течења установљено је, међутим, да и после овог поступка долази до одређене промене битумена.

ЗАКЉУЧАК

Овим радом је показано да растварач утиче на особине битумена, без обзира на методу којом се одстрањује. Од свих наведених метода уклањања растварача, најтачнија и најпрактичнија је метода вакуум дестилације. Поступак екстракције битумена и вакуум дестилације треба извести у што краћем року. Само на тај начин могу се добити резултати који доста добро репродукују првобитне карактеристике битумена.

Утицај растварача на реолошке карактеристике битумена расте у смеру CS_2 , CHCl_3 , C_6H_6 , THE

р.а., CCl_4 , THE техн., дизел уље, што је у доброј корелацији с вредностима напона пара поменутих растварача.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. J. Barth, Asphalt Science and Technology, Gordon and Breach Science Publishers, New York 1968.
2. R. N. Traxler, Asphalt — its composition, properties and uses Reinhold Publishing Corporation, New York 1961.
3. M. Duriez, J. Arrambide, Nouveau traité de Matériaux de Construcion tome III, Liant et bétons hydrocarbonés, Dunod Paris 1962.
4. N. A. Lange, Handbook of Chemistry, Naddbook Publ. Inc. Sandusky, Ohio 1956.



ГРАБЕВИНСКО ПРЕДУЗЕЋЕ

БЕОГРАД, Косте Главинића 8 — Пошт. факс 757

Тел. 650-522 — Телекс: 11649 — Телеграми: РАМИТ — БЕОГРАД

Текући рачун 60802-601-4767

Грабевинско предузеће „Ратко Митровић“ бави се изградњом свих објеката високоградње и нискоградње са одговарајућим инсталацијама, пројектовањем грабевинских објеката, производњом опеке, полиуретана, креча и камена, ремонтом машина, транспортом и др.

За непуне три деценије пословања предузеће „Ратко Митровић“ саградио је десетина фабрика, неколико хиљада комфорних станова, бројне здравствене, културне и друштвене објекте, стотине километара путева са савременим коловозима, железничке пруге, платформе и бране

Изграђени објекти спадају у најзначајнија југословенска достигнућа у грабевинарству.

Добра техничка база, модерна технологија и стручан кадар омогућавају да предузеће послује на најсавременији начин у свим видовима своје делатности па из године у годину увећава обим свога пословања.

ООУР — БЕОГРАД-ГРАДЊЕ: „НОВИ БЕОГРАД“, „БУЛЕВАР“, „ДЕДИЊЕ“, „ЗЕМУН“, „НИСКОГРАДЊА“; ЗАНАТСКИ РАДОВИ, МЕХАНИЗАЦИЈА И ТРАНСПОРТ, ПРОЈЕКТНИ БИРО, ПОГОН ДРУШТВЕНОГ СТАНДАРДА, ЗАЈЕДНИЧКИ ПОСЛОВИ — ЧАЧАК: ГРАДЊА, ЦИГЛАНА — КРАГУЈЕВАЦ-ГРАДЊА — СКОПЈЕ-ГРАДЊА — ПОЖЕГА: ГРАДЊА, ФАБРИКА ОПЕКЕ И ПОЛИУРЕТАНА „РАДНИК“ — ЈЕЛЕН ДО-ФАБРИКА КРЕЧА И КАМЕНА

Могућност примене природних асфалта с подручја Југославије у асфалтним мешавинама

Др ДУШАН СВЕТЕЛ, дипл. инж.

УВОД

Примена природних асфалта и битумена за асфалтне коловозе и хидроизолације била је позната Вавилонцима и Асирцима, па и ранијим културама.

Почетком XIX века поново се почело с употребом природног асфалта у грађевинарству и његова примена се све више ширила. Шездесетих и седамдесетих година, међутим, због великог избора и високог квалитета битумена добијеног из нафте, примена природног асфалта је нагло смањена и задржала се само примена тринидадског асфалта, Селенице и сличних, и то у одређеним асфалтним мешавинама. Већ 1973. године, када је избила прва петролејска криза, у многим земљама обновљена су истраживања у вези с применом природних асфалта у путоградњи. У Француској, која располаже налазиштима асфалтних стена, ова испитивања су посебно наглашена.

ПРИРОДНИ АСФАЛТИ У ЈУГОСЛАВИЈИ

У познатим делима Н. Abraham⁽¹⁾, Marcusson⁽⁵⁾ и других^{(2) (9) (16)}, такође се помињу природни асфалти из наше земље. У ослобођеном Београду, већ 9. фебруара 1945. године, М. Луковић⁽¹⁸⁾ даје опширан елаборат о битуминозним стенама у Југославији, а о природним асфалтима у СР Србији С. Стојишић⁽¹⁹⁾ и М. Јовановић⁽¹⁷⁾ 1954. и 1955. дају своје извештаје. Д. Светел^(10, 11, 12, 13, 14) објављује 1957, 1959. и 1962. године радове о природним асфалтима у СР Србији, СР Хрватској и СР Црној Гори. Колико нам је познато, после тог времена у нас опада интерес за проучавање могућности примене асфалтних стена, а једино предузеће „Изолација“ користи природни асфалт из Вргорца за производњу једне врсте хидроизолационог мастика.

ИСТРАЖИВАЊА МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ПРИРОДНИХ АСФАЛТА У НАС

У Југославији се на многим местима налазе налазишта природног асфалта и то асфалтних стена.

- Буштрање код Врања,
- Доње Жапско код Врања,
- Гоч код Врања,
- Црни Луг код Врања,
- Бела код Пирота,
- Катран код Улциња,
- Козице код Вргорца,
- околина Сплитске на острву Брачу.

У врањанском басену, који се пружа од Владициног Хана до Бујановаца, на дужини од 45 км с укупним пространством од 400 km², природни асфалт се појављује у више хоризоната седиментне терцијарне серије. Најстарија је Буштрањска, где су кречњаци јако здобљени а пукотине испуњене битуменом. Друга, млађа серија је у Доњем Жапском. Ту су кречњаци у слојевима и импрегнирани битуменом. Серије на Гочу садрже пешчаре натопљене битуменом.

Ревир Буштрање налази се код села Буштрања удаљеног око 15 km од железничке станице Ристовац у правцу Трговишта. У атару овог села, а нарочито у потоку Велики До налазе се битуменизирани кречњак, битуменизирани пешчар и битуминозни шкриљац.

У табlici 1. приказано је испитивање 29 узора природних асфалта из ревира Буштрање. Као што се види из резултата испитивања, садржај битумена је релативно мали а тачка размекшања битумена варира у распону од 31°C до 156°C. Ако се узме у обзир место с кога је узет узорак и положај слојева, долази се до закључка да су слојеви који се налазе на површини, или слојеви који су се налазили на површини пре тектонских поремећаја, натопљени тврђим битуменима, док су слојеви у дубини натопљени мекшим врстама. Ова чињеница би могла да указује на начин постајања налазишта. Највероватније да је оно постало миграњем нафте из дубине, која је за време миграције, услед неког спољњег утицаја, губила испарљиве делове и на тај начин, продирући према површини, натапала слојеве све тврђим битуменом. Да ли постоји могућност да у дубинама још постоји лежиште нафте, питање је геолошких истраживачких радова. Постанак асфалтног лежишта може се тумачити и тако што је нафта натопила стене, па је накнадно претрпела промену услед оксидације која је била највећа у слојевима ближим површинама.

Таблица 1. Резултати испитивања особина природних асфалта

Налазиште природног асфалта	% бит. у асфалу (% мас.)	тачка размек. по РК (°C)	тачка лома по Франку (°C)	пенетрац. на 25°C (10 ⁻¹ mm)	растегљивост на 25°C (cm)	% хитан асфалтена (% мас.)
1	2	3	4	5	6	7
Врање — Буштрање	2 00	31	-16	-	-	12
	1 20	32	-17	-	-	12
	1 53	40	-12	-	-	20
	2 25	43	-11	-	-	36
	1 80	46	-10	-	-	39
	1 25	51	-6	-	-	45
	0 47	-	-	-	-	-
	1 25	-	-	-	-	-
	1 20	-	-	-	-	-
	10 80	55	-5	91	13	133
	2 75	66	-1	-	-	156
	3 80	72	-4	-	-	180
	2 85	78	+6	-	-	182
	4 15	80	+8	15	8	261
	7 00	80	+7	22	8	259
	1 50	81	+6	-	-	-
	1 55	83	+13	-	-	270
	1 90	85	+7	-	-	265
	5 23	85	+6	-	-	270
	3 40	90	+2	-	-	-
	8 00	102	+17	14	5	366
	3 30	104	-	-	-	-
	6 55	111	+17	4	1	360
	1 80	117	>+20	-	-	396
	2 42	122	>+20	-	-	-
Врање — Доње Жапско	4 15	135	>+20	-	-	478
	5 20	150	>+20	-	-	655
	4 30	154	>+20	-	-	781
	13 00	156	>+20	-	-	832
	6 20	63	-7	76	100	65
	4 37	72	+2	14	14	76
	2 90	88	+12	-	-	260
	5 85	91	+16	8	1	221
	7 20	95	+19	5	0,5	210
	0 81	96	>+20	-	-	258
	4 80	100	-	-	-	-
	2 77	108	>+20	-	-	436
	4 60	110	+16	8	0,5	-
	2 47	110	>+20	5	0,5	375
	3 20	110	-	-	-	-
	8 00	113	>+20	-	0,3	481
	4 12	114	>+20	7	0,4	422
	4 85	119	>+20	-	-	491
	6 20	119	>+20	2	0	-
	7 85	124	>+20	6	0	446
	5 10	125	>+20	2	0	-
	5 25	125	>+20	5	0	-
	4 28	125	>+20	8	-	452
	4 12	125	>+20	7	0,6	465
	3 30	125	-	-	-	-
	3 70	126	>+20	-	-	-
	6 75	127	>+20	0	0	-
Врање — Доње Жапско	3 10	129	-	-	-	-
	4 65	130	>+20	5	0	548
	2 40	130	-	-	-	-
	2 50	132	-	-	-	-
	2 20	133	-	-	-	-
	3 40	134	-	-	-	-
	4 10	135	-	-	-	-
	2 30	136	-	-	-	-
	2 80	136	-	-	-	-
	5 70	138	>+20	4	0	556
	4 75	140	>+20	5	0	618
	4 54	141	>+20	6	0	672
	2 30	143	-	-	-	-
	4 60	150	>+20	1	0	704
	5 50	150	>+20	1	0	796
	5 25	150	>+20	1	0	762
Врање — Гоч	4 20	19	-20	120 (d°C)	-	-
	2 40	-	-	-	-	-
	2 60	-	-	-	-	-
	0 60	-	-	-	-	-
	2 50	-	-	-	-	-
	2 30	-	-	-	-	-
	2 20	-	-	-	-	-
	2 20	-	-	-	-	-
	2 80	-	-	-	-	-
	2 70	-	-	-	-	-
	2 60	-	-	-	-	-
	2 30	30	-	-	-	-
	2 50	23	-16	-	-	-
	2 80	23	-23	-	-	-
	2 00	30	-15	-	-	-
	2 80	35	-16	-	-	-
	2 00	36	-15	-	-	-
	1 90	-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7
Врање — Гоч	1 70	-	-	-	-	-
	1 80	-	-	-	-	-
	1 60	-	-	-	-	-
	1 70	-	-	-	-	-
	1 90	-	-	-	-	-
	1 90	-	-	-	-	-
	2 90	-	-	-	-	-
	2 70	-	-	-	-	-
	2 10	-	-	-	-	-
	1 80	-	-	-	-	-
	1 50	-	-	-	-	-
	1 40	-	-	-	-	-
	1 30	-	-	-	-	-
	1 30	-	-	-	-	-
	2 10	-	-	-	-	-
	1 60	-	-	-	-	-
	1 80	-	-	-	-	-
	1 60	-	-	-	-	-
	1 60	-	-	-	-	-
	1 80	35	-17	300	80	-
	4 16	19	-20	-	100	04
	2 40	30	-	-	-	-
	6 20	150	>+20	-	-	-
	29 50	45	-5	73	100	-
Уљив — Катран	-	62	+6	16	65	-
	5 10	52	-3	42	100	286
	6 00	38	+3	32	100	318
	7 50	59	+3	35	100	346
Врхорат — Кошче	6 90	62	+6	28	100	363
	5 90	65	+8	16	37	384
	3 80	63	+1	22	47	-
	3 80	65	+4	20	31	-
Брич	4 20	67	+3	24	43	-
	6 90	73	+5	-	-	-
	2 40	92	>+20	-	-	-
	-	104	>+20	-	-	-
	-	107	>+20	-	-	-
	-	102	>+20	-	-	-
	-	100	>+20	-	-	-
	-	90	>+20	-	-	-
Vorhler-Brausch	4 75 - 9 45	42	-20	98	-	-
Сишпија	20 - 300	43	-20	97	-	-
Лобан-Француска	12 - 2	62	-13	-	-	-
Pont-du-chateau	10 40	-	-	-	-	-
Bassin du gard	65 - 100	-	-	-	-	-

Квалитет битумена расте с повишењем размекшања по РК. Индекс пенетрације расте од вредности +0,8 код анализе 10, преко вредности +1,8 и +2,6 за анализе 14 и 15, до вредности +4,2 за анализу 21. Код анализе 23 IP = +2,8, а за још тврђе врсте није се могао одредити. За битумене с тачком размекшања изнад 120°C и тачком лома изнад 20°C тешко је рећи нешто одређеније о њиховим особинама. Садржај асфалтена је врло висок, од 36% до 83%, што би могло да буде врло интересно у случају да се може наћи примена овим природним асфалтима, јер би мешавина битумена за коловозе и битумена из природног асфалта могла да буде врло квалитетна.

Код битумена (анализа 10), с обзиром да смо располагали већом количином екстрахираног битумена, извршено је и испитивање промене дуктилитета у функцији температуре. Дуктилитет је испитан на 0°C, 10°C, 15, 20, 25, 30 и 35°C и кретао се од 2,5 cm на 0°C до 32 cm на 35°C, што указује на минималну зависност дуктилитета од температуре односно на висок квалитет екстрахираног битумена у реолошком смислу. Битумен из нафте, са сличном тачком размекшања, на 10°C има дуктилитет од око 1 cm, а на 25°C око 100 cm. Код истог битумена извршено је и испитивање промене пенетрације у функцији температуре, што је важан реолошки показатељ квалитета битумена. Вредност пенетрације овог битумена кретала се од 9 пенетрацијских степени на 0°C

до 91 на 25°C, што је повољније него код битумена за коловозе сличних карактеристика.

Да бисмо испитали способност мешања тврђих врста екстрахираног битумена с битуменима за коловозе, спрашено је неколико узорака природних асфалта који садрже битумен с тачком размекшања изнад 110°C и тачком лома изнад 20°C до величине зрна 0—3 mm. Битумен врсте BIT 200 додан је спрашеном природном асфалту у тој количини да мешавина садржи 50% битумена врсте BIT 200 и 50% спрашеног природног асфалта коме се садржај битумена кретао између 3,2% и 3,4%. Сачињене су и мешавине 50% битумена врсте BIT 200 и 50% екстрахираног спрашеног природног асфалта. Мешавине су загреване 2 часа на 120°C и испитивањем тачке размекшања по Wilhelmiju установљено је да нема битне разлике у тачки размекшања мешавине битумена BIT 200 и спрашеног природног асфалта, и тачке размекшања мешавине битумена BIT 200 и екстрахираног спрашеног природног асфалта.

Испитивања су настављена на тај начин да је загревање битумена BIT 200 и природног асфалта, односно битумена BIT 200 и екстрахираног природног асфалта, вршено 20 часова на 120°C, а касније на температури од 175°C 3 часа. Загревање је поновљено под истим условима на мешавинама с битуменом врсте BIT 45. После загревања уз мешање, маса је остављена на истој температури да се изврши таложење крупнијих честица и извршено је испитивање тачке размекшања по РК. Испитивањем није утврђено никакво повишење (или је исто било незнатно) тачке размекшања, мешавине битумена и природног асфалта у односу на тачку размекшања мешавине битумена и екстрахираног природног асфалта.

То би значило да се врло тврди битумени из природног асфалта врло тешко мешају са стандардним битуменима за коловозе. На овом пољу би требало наставити испитивања ради стварања коначних закључака. Досадашњим испитивањима је констатовано да би била корисна примена асфалтних стена с горњих геолошких слојева, и то оних које садрже битумене с тачком размекшања од око 60 до 90°C и код којих је садржај битумена већи од око 5%.

Ревир Доње Жапско налази се код села Доње Жапско, северозападно од Буштрања, на удаљености од 8 km.

У табели 1. приказано је испитивање 39 узорака природних асфалта из ревира Доње Жапско. Као што се види из резултата испитивања, и асфалтни кречњаци и пешчари су натопљени тврдим битуменом прилично високе тачке размекшања. Садржај битумена у просеку се креће до 5 или 6%. Садржај асфалтена је висок а индекс пенетрације такође повољан.

Из природног асфалта (анализа 31), који садржи нешто мекши битумен тачке размекшања по РК 72°C, извршено је испитивање промене дуктилитета и пенетрације у функцији температуре у распону од 0°C до 25°C, односно 35°C. Дуктилитет се креће од 3,5 cm на 0°C до 20 cm на 35°C, а пенетрација од 2,5 на 0°C до 14 пенетрацијских

степен на 25°C, што указује на висок квалитет екстрахираног битумена.

Да би се испитала способност мешања тврђих врста екстрахираног битумена из природних асфалта, издвојена је већа количина екстрахираног битумена с тачком размекшања 130°C и извршено испитивање повишења тачке размекшања по РК битумена BIT 200, коме је додато 10%, 15% и 20% екстрахираног битумена. Мешавине су биле нехомогене. Издизање тачке размекшања, смањење пенетрације и растегљивости није равномерно. После разгревања таложе се честице екстрахираног битумена.

Извршено је и испитивање мешавине битумена и спрашеног природног асфалта, као и мешавине битумена и екстрахираног спрашеног природног асфалта, као код природних асфалта из Буштрања. Резултати испитивања су били исти као код природног асфалта из Буштрања, тј. није дошло до осетнијег мешања битумена за коловозе и екстрахираног битумена из природног асфалта.

Природни асфалт из Доњег Жапског је једнолично натопљен битуменом високе тачке размекшања. Потребно је наставити испитивања могућности њихове примене будући да се из дневних копова и поткопа већ и сада могу добити извесне количине.

Ревир Гоч се налази на месту званом Гоч, које се налази на путу Врање — Дреновац — Големо Село, на одстојању од око 15 km од Врања и на висини од 1.200 m.

Испитано је 40 узорака природног асфалта и као што се види из таблице 1, тачка размекшавања битумена креће се између 19°C и 36°C а проценат битумена је у просеку нешто изнад 2%.

Због малог процента битумена с ниском тачком размекшања тешко би могла да се нађе примена овом природном асфалту. Вршени су састави мешавина за асфалтни бетон при чему је мешавини додато 14,3% млевеног природног асфалта 0,3 mm. При томе је количина битумена била 6,35% а битумена из природног асфалта само 0,25%. Испитивања би, евентуално, могла да се наставе у том правцу да се млевени природни асфалт из ревира Гоч додаје млевеном природном асфалту из Доњег Жапског јер постоји вероватноћа да би се, због сличне генезе, мекани битумен из природног асфалта с Гоча лако мешао с тврдим битуменом из природног асфалта с Доњег Жапског.

У Вргорцу се налази наше највеће и најзначајније налазиште природног асфалта. Природни асфалт је хомогеног састава с високим садржајем квалитетног битумена, те је због тога већ нашао своју примену као додатак мастиксу за хидроизолације. У Вргорцу се природни асфалт вади с извесном количином јаловине и меље заједно с њом на величину зрно 0—3 mm. Ми нисмо вршили испитивање узорака из овог налазишта, већ су испитиване стене с места званог Козице, које се налази на путу Сплит—Вргорац, неколико километара од Вргорца.

На основу резултата испитивања (датих у табели 1), може се закључити да је природни ас-

фалт из околине Вргорца једноличног састава и да је натопљен квалитетним битуменом. Мада му је проценат битумена нешто нижи, он, ипак, представља драгоцен материјал због своје хомогености и млевен као камено брашно или фракција камене ситнежи 0—3 mm, вероватно би нашао примену као додатак различитим системима асфалтних застора. Могућност примене требало би испитати даљим истраживањима.

У СР Црној Гори на много се места јављају битуминозни кречњаци. Једино налазиште које је значајније налази се код Улциња, док су остале појаве асфалта од мањег значаја.

У табlici 1. дати су резултати испитивања природних асфалта из Улциња, из места Катран. Сем испитивања приказаних у табlici 1. вршена су испитивања растегљивости на 15°C, одређена је количина пепела и парафина и запреминска маса. Испитивања су показала да особине екстрахираних битумена из природних асфалта из околине Улциња одговарају особинама битумена тадашње ознаке ВIT 60/35, с том разликом што имају већу запреминску масу, мањи проценат парафина и већи проценат асфалтена. Природни асфалт је, према томе, натопљен квалитетним битуменом и, с обзиром на задовољавајући проценат битумена, представља материјал који би у млевеном стању као камено брашно или фракција камене ситнежи 0—3 mm могао наћи широку примену као додатак различитим системима асфалтних застора.

Извршено је испитивање могућности примене природног асфалта из Улциња за ливене асфалте. Већа количина природног асфалта је самлевена на фракцију 0 до 0,60 mm и фракцију 0 до 15,0 mm. Састављене су две мешавине, једна с 23,4% фракције 0 до 0,60 mm у асфалтној мешавини, и друга с 23,4% фракције 0 до 0,60 mm и 19,5% фракције 0 до 15 mm. У првој мешавини има 1,6% битумена из природног асфалта и 7,4% битумена ВIT 15 (17% природног битумена у укупном везиву). У другој мешавини има 2,9% битумена из природног асфалта и 6,1% битумена ВIT 15 (32,2% природног битумена у укупном везиву).

Показало се да су мешавине без додатка и с додатком природног асфалта приближно истих карактеристика, али мешавине с природним асфалтом имају мању дубину продирања и мање бубрење, што је знак бољег квалитета. Испитивања треба наставити ради налажења могућности примене код ваљаних асфалта.

На острву Брачу код Сплитске нађене су партије природног асфалта са око 6% битумена с точком размекшања око 73°C, што нас је навело да покушамо с применом ове сировине за израду коловозног застора на локалним путевима који повезује Супетар, Сутиван, Сплитску и друге градиће на острву. Идеја се састојала у томе да се самеље природни асфалт с Брача у фракцију 0—15 mm и да се помеша с дробљеним кречњаком 0 до 15 mm, који је добијен копањем тунелске цеви на острву, и који бисмо претходно обавили једном фракцијом отпадног петролејског уља. Мешавина дробљеног природног асфалта и обавијеног кречњачког агрегата одложила би се извесно време на депонијама а после тога разасирала на путу по сунцу и лепом времену и после извесног времена ваљала ваљком.

УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

Крајем 1980. године Y. Pinaud и M. Champion⁽⁷⁾, као и M. Taterode и Ch. Moaligou⁽¹⁵⁾ објављују искуства о примени асфалтних стена у грађењу путева у Француској и улица у Паризу. Примењује се природни асфалт са 6,5 до 1% битумена (таблица 1). Природни асфалт се додаје у спрашеном стању (на 1 mm пролаз 94%, на 0,08 mm пролаз 55%), у количини од 10 до 20%. На асфалтном постројењу минерална мешавина обавија се 8 секунди битуменом, додатак природног асфалта траје 3 секунде и мешање комплетне мешавине 30 секунди. Асфалтне мешавине типа асфалтног бетона имају боље реолошке карактеристике од оних без додатка, смањује се укупна количина битумена у мешавинама, смањују се опасност деформације коловоза и стварање колотрага.

У нашој земљи има на многим местима појава природног асфалта. Требало би наставити истраживања могућности примене природних асфалта из Врања, Вргорца, Улциња, Брача и многих других још неистражених места.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Abraham, Asphalte und verwandte Stoffe, Verlag von Wilh. Knapp Halle, 1939.
2. F. Hauer, Asphaltgestein vom Berge Mosor, Jahrbuch k.k.geol. R. A. Wien, 1850, стр. 794.
3. F. Kerner, Ursprung, Vorkommen und Beschaffenheit der dalmatinischen Asphaltlagerstätten, Berg-und Hüttenmännisches Jb. Wien, 1918.
4. F. Kerner, Über einige dalmatinische Asphaltlagerstätten, Vrrh. geol. k.k. R. A. Wien, 1916.
5. Marcusson, Die natürlichen und künstlichen Asphalte, Verlag Engelmann, Leipzig, 1931.
6. Martin, Neumann, Der Deutsche Naturasphalt, Strassen und Tiefbau Verlagsges. M. B. H. Berlin-Pankow, 1950.
7. Y. Pinaud, M. Champion, Expérimentation 1977 d'enrobés avec incorporation d'asphalte en Indre-et-Loire, Buletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées (1980) (109) 7.
8. R. Schubert, Геологија Далмације, Матица Хрватска, Загреб, 1909.
9. Slaus-Kantschieder, Chemische Zusammensetzung dalmatinischer bituminöser Kalksteine, Chem. Revue über die Fett. und Harzindustrie, Heft 3 (1902).
10. Д. Светел, Природни асфалти из Врањског базена, Пут и саобраћај 3 (1957) (4); 3 (1957) (5—6) 39.; 3 (1957) (7) 24.
11. Д. Светел, Природни асфалти у НР Србији, Саопштења Института ИМ СРС 7 (1959) (9) 27.
12. Д. Светел, Могућност примене природног асфалта из околине Врања, Саопштења Института ИМ СРС 10 (1962) (17) 23.
13. Д. Светел, Природни асфалт из околине Улциња, Саопштења Института ИМ СРС 10 (1962) (17) 28.
14. Д. Светел, Могућност примене природног асфалта из ревира Гоч—Врање, Саопштења Института ИМ СРС 10 (1962) (17) 35.
15. M. Taterode, Ch. Moaligou, Introduction de poudre d'asphalte naturel dans les enrobés. L'expérience de la Ville Paris, Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, (1980) (109) 17.
16. A. Trinker, Bitumen aus Istrien und Dalmatien, Jahrbuch k. k. geol. R. A. Wien (1868) 355.
17. М. Јовановић, Извештај о досадашњем стању познавања асфалтних појава у околини Врања, Фонд стручне документације, Геолошки институт, Београд, 1955.
18. М. Луковић, Битуминозне стене у Југославији, Фонд стручне документације, Геолошки институт, Београд, 1945.
19. С. Стојишић, В. Жегарац, Буштрањски асфалт, Фонд стручне документације, Геолошки институт, Београд, 1954.
20. H. Thomas, Die Asphaltvorkommen in Dalmatien, Фонд стручне документације бр. 445, Геолошки завод, Загреб, 1927.

Комплексни модули југословенских асфалтних мешавина, одређени индиректним поступцима

Мр ЗОРАН РАДОЈКОВИЋ, Ј. ЂУРАН, М. СТЕФАНОВИЋ

НЕОПХОДНОСТ ПОЗНАВАЊА МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА БИТУМЕНОМ ОБАВИЈЕНИХ КАМЕНИХ МАТЕРИЈАЛА ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Савремена наука и њен напредак, који се свакодневно остварује у свету и код нас у познавању функционисања коловозних конструкција, омогућили су да се међу великим бројем утицајних параметара нађу и издвоје они који на то функционисање имају пресудан утицај.

Као и код осталих инжењерских конструкција (а коловозне конструкције на данашњем степену развоја технологије грађења и обраде материјала све више постају сасвим одређен инжењерски објекат), употреба структуре састављене од мањег броја сукцесивних хомогених слојева, све веће могућности коришћења стандардних материјала, боље познавање њихових механичких својстава и развој теоретских поступака и математичких апарата, омогућили су да се проблеми димензионисања коловозних конструкција сведу на генерална решења отпорности материјала.

Потпуни поступак димензионисања потребно је, у том смислу, засновати на два комплементарна проучавања понашања система. С једне стране, то је ослањање на повратно (еластично) понашање материјала појединих слојева (напрезање, деформације, дефлексије) и с друге, то је анализа трајних деформација (слегање, течење итд.).

Изучавање повратног понашања темељи се на решењима теорије еластичности, линеарне или нелинеарне, што за један изабран систем доводи до предвиђања напрезања и деформација, утолико поузданијег, уколико су у прорачун уведене адекватне еластичне константе појединих материјала (такозване псеудоеластичне апроксимације).

Потребни параметри геометријских односа, оптерећења и квалитета слојева, за овакав прорачун, приказани су на слици 1.

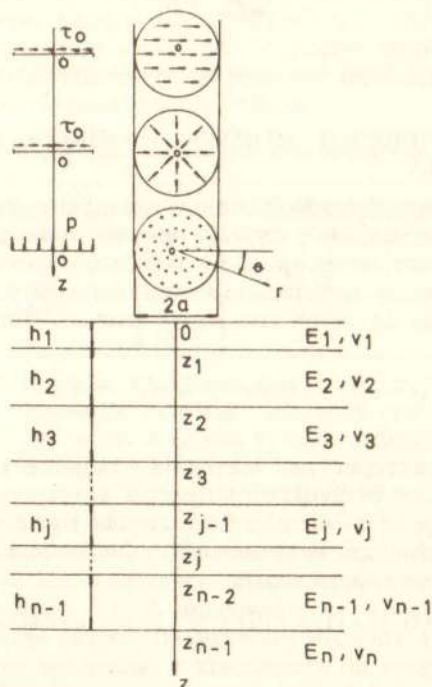
Насупрот овоме, као допуна горњој анализи, комплексност неповратног понашања материјала под поновљеним оптерећењем, усмерава у другој етапи, решење проблема на прорачун заснован на стању напрезања система одређеног их хипотезе

еластичности и механичког понашања материјала утврђеног у функцији стања напрезања и броја понављања оптерећења.

Потребни параметри структуре конструкције на којима се заснива оваква анализа приказани су на слици 2.

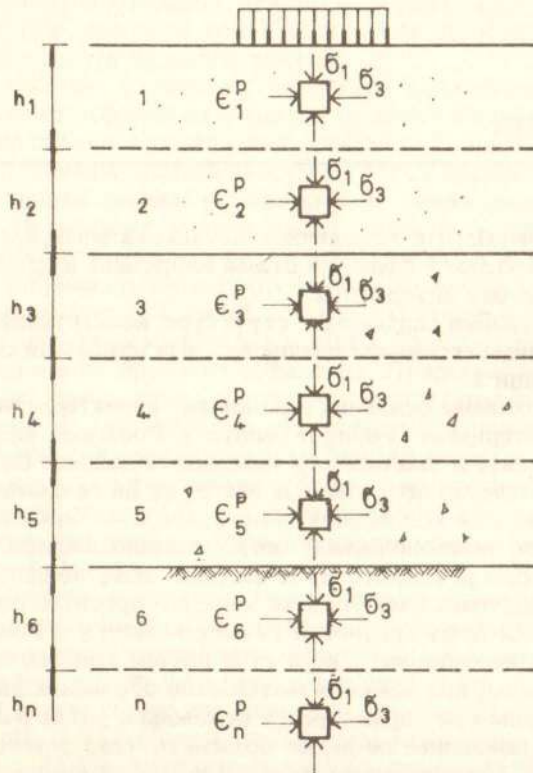
познавање основних механичких карактеристика материјала (Youngov модул и Poissonov коефицијент) и законитости њиховог понашања (замор, течење) неопходно је дакле, да би се овакво проучавање коловозних конструкција — односно њихово димензионисање, могло успешно обавити.

Добро је познато да је за описивање понашања еластичних материјала довољно прецизно познавање двеју вредности (Youngov модул и Poissonov коефицијент), који су и његове константе. Међутим, код камених материјала обрађених битуменом ови параметри су недовољни јер се њихово понашање не може објаснити тако једноставно. Учешће битумена у тој композицији чини



Сл. 1. Шема оптерећења еластичног система од (n) слојева

да понашање мешавине под оптерећењем постаје вискоеластично или термопластично и те карактеристике материјала, како еластичне тако и вискозне, зависе од температуре и брзине наношења оптерећења. Последица је да се, уместо две константне карактеристике еластичних материјала, у овом случају, морају за описивање његовог понашања користити две комплексне функције — комплексни модул и Poissonov коефицијент.



$$\delta_p = \sum_{i=1}^{i=k} \epsilon_{pi} h_i$$

Сл. 2. Шема прорачуна вертикалних деформација

КОМПЛЕКСНИ МОДУЛ — ОПШТА ДЕФИНИЦИЈА

Прихватајући Boltzmanov принцип о суперпозицији утицаја⁽²⁾, у случају претпоставке да карактеристике материјала не зависе од времена, за срачунавање деформација при задатом напрезању може се написати израз сличан Hookovom закону:

$$\epsilon(t) = \sigma(t) \times f(0) + \int_{-\infty}^t f \cdot (t - \tau) \tau d\tau$$

где је:

$f(t)$ карактеристика материјала која се условно може назвати функцијом течења.

Такође се по истој претпоставци може написати следећа веза напрезања и деформације за случај задате деформације:

$$\sigma(t) = \epsilon(t) \times r(0) + \int_{-\infty}^t r \cdot (t - \tau) \epsilon(t) d\tau$$

где је:

$r(t)$ унутрашња карактеристика материјала, која се може назвати функцијом релаксације.

Из овога следи да се деформација високоеластичног материјала у линеарној вези с временом (t) састоји од једне тренутне деформације пропорционалне напрезању у времену (t) и једне закасне деформације зависне од начина оптерећења.

Уколико је линеарни вискоеластични материјал подвргнут синусоидном оптерећењу (што може бити доста успешна апроксимација деловања саобраћајног оптерећења), његова деформација мора, значи, бити такође синусоидна и инверзна.

Уколико је: $\sigma = \sigma_0 \cos(\omega t + \varphi)$

онда је и $\epsilon = \epsilon_0 \cos(\omega t + \psi)$

односно у комплексним координатама,

$$\dot{\sigma}^* = \sigma_0 e^{i\varphi} \quad i \quad \epsilon^* = \epsilon_0 e^{i\psi}$$

онда се, према Манделу може написати:

$$\sigma^* = E^*(i\omega) \epsilon^*$$

где је $E^*(i\omega)$ комплексни модул материјала.

Овај се модул може поделити на две компоненте: E_1 и E_2

$$E_1 = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \cos(\psi - \varphi) \quad E_2 = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \sin(\psi - \varphi)$$

При томе је:

E_1 — реална компонента модула у фази с напрезањем која представља део енергије „скупљен“ у материјалу а може се искористити (еластичност),

E_2 — имагинарни део модула који представља изгубљену енергију због унутрашњег трења у материјалу.

Несумњиво је да је први чинилац комплексног модула значајнији за практичног становишта у путоградњи, док се тумачењем другог више улази у објашњење основних особина материјала.

ПОСРЕДНИ ПОСТУПЦИ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КОМПЛЕКСНОГ МОДУЛА

Лабораторијска испитивања комплексног модула битуменом обавијених камених мешавина представљају, дакле, темељ сваког рационалног прорачуна коловозних конструкција.

Колико је нама познато, у нашој земљи до данас нису вршена оваква лабораторијска испитивања (осим неких почетних), а наши стандардни тестови асфалтних мешавина не омогућавају да се установе ни непоуздане везе с овом механичком карактеристиком материјала (покушаји у Институту за путеве методом „ТАКЕСНИТА“ нису дали задовољавајуће резултате). Ово има за последицу да се о толико потребном комплексном модулу наших стандардних мешавина веома мало зна или се само наслућује из једноставних поређења параметара формулације.

Увиђајући овај недостатак, у Сектору за коловозне конструкције Института за путеве—Београд учињен је напор да се на основу бројних иностраних истраживања вредности комплексног модула E^* , било на поновљене утицаје притиска или затезања, (који су омогућили квантификовање значаја параметара формулације мешавине)⁽³⁻¹²⁾, нађу поступци и методе за процену наших мешавина.

Уколико за параметре формулације мешавине усвојимо следећа обележавања:

Va — запремински садржај каменог агрегата у збијеној мешавини

Vb — запремински садржај битумена у збијеној мешавини

v — запремински садржај шупљина у збијеној мешавини и

$$C_v = \frac{V_a}{V_a + V_b} \text{ — коефицијент концентрације,}$$

можемо дати кратак резиме најзначајнијих иностраних радова и истраживања које смо проучавали:

Године 1964. HEUKELOM и KLOMP⁽³⁾ показали су да је комплексни модул при савијању једне мешавине са 3% шупљина растућа функција коефицијента C_v и одговарајућег модула битумена.

Године 1968. SAUNIER⁽⁴⁾ је показао да је модул /E*/ опадајућа функција процента шупљина у мешавини и растућа функција одговарајућег модула битумена.

FRANCKEN је 1973. године^(5,6) на основу додашњих резултата и властитих испитивања 52 мешавине, показао да је модул /E*/ асфалтних мешавина растућа функција односа Va/Vb и одговарајућег модула битумена, а опадајућа експоненцијална функција процента шупљина.

UDE, GEST, GAVROIS⁽⁷⁾ из француског SHELLA показали су 1975. године на основу властитих испитивања да се максимална вредност комплексног модула /E*/ (ниске температуре, велике фреквенце), повећава када се параметри (100-Va)/ (Va + Vb) = v (100-v) + 1/(Va/Vb + 1) смањују.

SOLIMAN⁽⁸⁾ је показао да модул /E*/ при савијању има највећу вредност када је Vb + v минимално или када је Vb/(Vb + v) минимално.

Вредности модула зависе од параметара формулације мешавине које су добили ови аутори приказане су у облику дијаграма или низа математичких зависности, при чему треба рећи да и ако концепције тих дијаграма или формуле нису исте резултати које они дају изгледају сагласни^(9,10,11,12). Могу се разликовати само због неједнеких услова и уређаја за испитивање.

Добијени резултати комплексног модула за неке мешавине предвиђене нашим стандардима налазе се у границама тачности појединих поступака, а овде ће бити приказани неки од оних који су добијени из рачунског програма IP-3 сачињеног на основу препоруке француског SHELLA⁽⁷⁾.

РАЧУНСКЕ ВРЕДНОСТИ МОДУЛА НЕКИХ НАШИХ МЕШАВИНА

За анализу су усвојене просечне асфалтне мешавине, и то једна за хабајући слој и везни слој од асфалтбетона, као и једно за горењи носећи слој од битуменизованог агрегата. Ове мешавине, иначе, одговарају критеријумима ЈУС-а У.Е4.014 (технички услови за израду асфалтбетона), односно ЈУС-а У.Е9.021 (технички услови за израду горњих носивних слојева од битуменизованог материјала по врућем поступку).

У сва три случаја минерална мешавина је континуалног гранулометријског састава, а неке од основних карактеристика компоненталних материјала и мешавина дате су у табели 1.

Табела 1. Анализиране асфалтне мешавине

Ознака асфалтне мешавине	Врста минералног материјала	Врста битумена	Учешће % мас	Специфична маса Mg/cm ³	Својства битумена	Запреминска маса асфалтне мешавине Mg/cm ³
Асфалт бетон за хабајући слој МН-102	Камено брашно „Стражевница“ 0/2 mm „Брвеник“ 2/5 mm „Брвеник“ 5/8 mm „Брвеник“ 8/11 mm „Брвеник“ 11/16 mm „Брвеник“		11,9	2,88		
			34,9	2,69		
			16,1	2,71		
			9,8	2,71		
			10,2	2,71		
			17,1	2,71		
		Укупно: ВIT 60	100,0	5,8	1,02	PK = 55°C Pen = 50mm10 ⁻¹ I _p = -0,023
Асфалт бетон за везни слој MV-162/80	Камено брашно „Пешчар“ 0/0,9mm 0/2 mm „Љубовија“ 2/5 mm „Љубовија“ 5/8 mm „Љубовија“ 8/11 mm „Љубовија“ 11/16mm „Љубовија“ 16/28mm „Љубовија“		6,9	2,72		
			22,7	2,67		
			5,8	2,68		
			9,2	2,69		
			11,4	2,68		
			11,0	2,68		
			33,0	2,67		
		Укупно ВIT 60	100,0	4,5	1,02	PK = 55°C Pen = 50mm10 ⁻¹ I _p = -0,023
BNS-4	Камено брашно „Пешчар“ 0/0,9mm 0,09/2mm песак „Мораван“ 2/31mm шљунак „Мораван“ 8/16mm камена ситице „Јелен До“		5,0	2,72		
			25,0	2,64		
			40,0	2,65		
			30,0	2,71		
		Укупно ВIT 60	100,0	3,0	1,02	PK = 55°C Pen = 50mm10 ⁻¹ I _p = -0,023

На основу приказаних карактеристика компоненталних материјала и мешавина, одређене су карактеристике мешавина, односно запреминско учешће појединих фаза (ваздух, битумен, агрегат), што је приказано у табели 2.

Табела 2. Карактеристике анализираних асфалтних мешавина

Ознака асфалтне мешавине	Запреминско учешће појединих фаза		
	Ваздуха V %	Битумена Vb %	Агрегата Va %
МН — 102	4,73	12,77	82,50
MV — 162/80	5,15	10,02	84,83
BNS—4	6,42	6,81	86,77

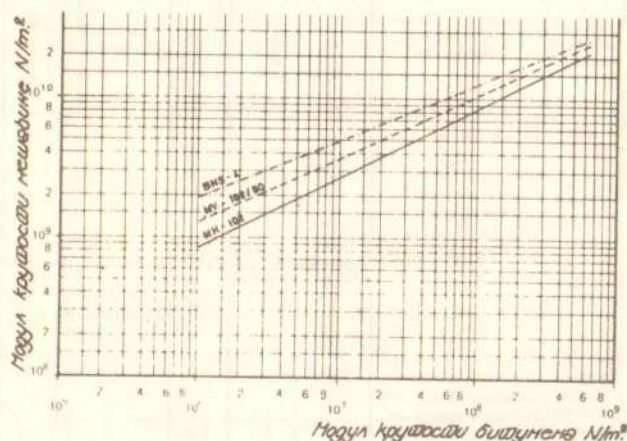
Примењујући изабрани поступак, с параметрима мешавина датим у табелама, добијени су модули крутости и фазни углови асфалтних мешавина за следеће услове:

— температура T = -10°C, 0°C, 20°C и 40°C
— време трајања оптерећења t = 0,02 што приближно одговара брзини кретања оптерећења V = 60 km/h на ванградским јавним путевима.

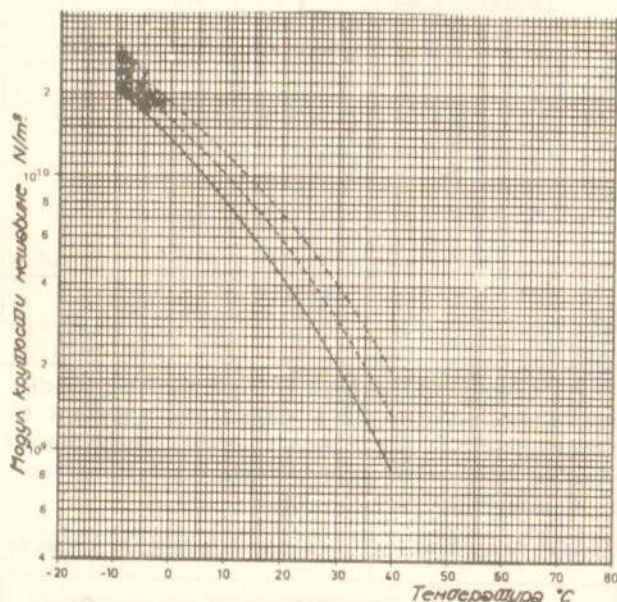
На слици бр. 3. приказане су конструисане криве које дефинишу промену модула крутости асфалтне мешавине у зависности од модула крутости битумена, а на сликама бр. 4. и 5. приказане су конструисане криве које дефинишу утицај

температуре на модул крутости и фазни угао асфалтних мешавина.

На исти начин могу се добити вредности механичких карактеристика (модул) асфалтних мешавина и за конкретне пројектне захтеве, чиме је омогућена и реална примена рационалног поступка димензионисања коловозних конструкција.



Сл. 3. Промене модула крућости асфалтне мешавине и зависности од модула крућости битумена



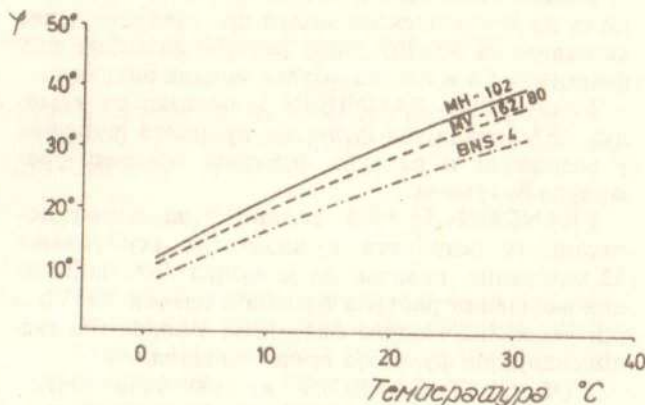
Сл. 4. Промена модула крућости мешавине у зависности од температуре

ПРИБЛИЖНО ОДРЕЂИВАЊЕ МОДУЛА КРУТОСТИ АСФАЛТНОГ СЛОЈА ИЗГРАЂЕНЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

И у оквиру поступка димензионисања појачања коловозних конструкција рационалним рачунским методама, неопходно је познавање механичких карактеристика појединих изграђених слојева. Ово познавање омогућава потребно дефинисање механичког модела постојеће коловозне конструкције и прецизно срачунавање потребног квалитета и дебљине слоја за појачање.

До данас је у свету установљено неколико поступака за одређивање очекиване дефлексије на

површини коловоза, за различите структуре коловозне конструкције и услове преношења оптерећења на површину коловоза. Измеђu ostalih, Palmer и Barber⁽²⁾ razradili su postupak, na osnovu teorije elastičnosti, kojim se određuje očekivana defleksija na površini koловозне конструкције izgrađene od (n) slojeva, pod uticajem kontaktnog jednako подељеног оптерећења распоређеног по кружној површини. Сваки од slojeva definisan je дебином (h) и динамичким модулом еластичности (E), изузев у постељици која је третирана као полупростор и одређена само динамичким модулом еластичности. Сви slojevi коловозне конструкције окарактерисани су једним заједничким Poissonovim коефицијентом.



Сл. 5. Промена фазної уїла мешавине у зависносіїи
од тїемператури

Одређивање динамичког модула еластичности асфалтног слоја (који може да представља више подслојева) може се извршити на индиректан начин, под условом да су познати: дефлексија, оптерећење, полупречник кружне површине преко које делује оптерећење, дебљина тог слоја, као и ако су тачно или приближно познати динамички модули еластичности и дебљине осталих слојева у структури, и Poissonov коефицијент.

За овакву анализу, у Сектору за коловозне конструкције ИНСТИТУТА ЗА ПУТЕВЕ направљен је преограм IP-4 за одговарајући електронски рачунар.

Одређивање модула сфалтног слоја једне ко-
ловозне конструкције, по овом поступку, биће
приказано на примеру:

- Измерена дефлексија $W = 54,58 \times 10^{-2}$ mm под еквивалентним контактним специфичним оптерећењем $q = 8,4 \times 10^5$ N/m² које делује преко кружне површине полупречника $R = 12,757$ cm
- Температура у асфалту на дубини од 3 cm $T_A = 27^\circ\text{C}$, а на дубини од 10 cm $T_A = 22^\circ\text{C}$.
- Структура коловозне конструкције је следећа:
 - 5 cm — хабајући слој асфалтбетона
 - 11 cm — горњи носећи слој од битуменизованог шљунка
 - 14 cm — песковит шљунак „Моравац“
 - постељица од песка „Дунавца“.
- На основу теренских испитивања утврђени су калифорнијски индекси носивости доњег носећег слоја $\text{CBR} = 20\%$ и постељице $\text{CBR} = 10\%$. Користећи емпиријске релације, динамички модули еластичности ова два слоја су:

$E_2 = 2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, односно $E_3 = 1 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

— Запажена структура коловозне конструкције упрошћена је и представљена с три слоја: први слој су сви асфалтни слојеви, други слој је носећи слој од песковитог шљунка, а трећи слој је постељица од песка, односно:

$E_1 = \text{непознато}$

$h_1 = 16 \text{ cm}$

$E_2 = 2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

$h_2 = 34 \text{ cm}$

$E_3 = 1 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

За целокупну структуру претпостављен је Poissonov коефицијент $\nu = 0,4$.

— Примењујући програм IP-4 K, израчунат је просечан динамички модул еластичности асфалтних слојева, односно првог слоја

$E_1 = 1,92 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.

Да би се донекле проверила тачност овог податка, нађене су основне карактеристике изведених асфалтних мешавина у појединим слојевима. На основу њих израчунати су модули крутости асфалтних мешавина за хабајући слој од асфалтбетона и за горњи носећи слој од битуменом обавијеног шљунка. За температуре измерене у асфалтним слојевима и време трајања оптерећења од $t = 0,216 \text{ sec}$ (приближно одговара брзини кретања оптерећења од 5 km/h), добијени су следећи модули крутости:

— асфалтбетон $E_{\text{мес}} = 4,86 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
($T = 27^\circ\text{C}$)

— битуменом обавијен шљунком $E_{\text{мес}} = 2,52 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
($T = 22^\circ\text{C}$)

Примењујући дебљине појединих асфалтних слојева, израчунат је оријентациони модул крутости асфалтног слоја од 16 cm , који износи $E_{\text{мес}} = 1,88 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, што се релативно добро слаже с модулом израчунатим из опита дефлексије.

ЗАКЉУЧАК

1. Могућност добијања вредности модула асфалтних мешавина на приказани начин ни у ком случају не искључује потребу властитих фундаменталних лабораторијских експеримената.

2. У ситуацији када таквих испитивања нема приказани начин израчунавања комплексних модула чини се јединим за карактеризацију материјала, што је неопходно за рационална проучавања коловозних конструкција.

3. Било која пројектована асфалтна мешавина морала би своје крајње исходиште имати у квантификацији механичких параметара као што су комплексни модул, закон замора, закон течења итд., а не само у параметрима добијеним Marshallovim тестом, који имају тек непоуздане везе с оним што механику коловоза поревасходно зајима.

4. Приказани резултати у овом раду део су укупних резултата добијених у Институту за путеве, те је на основу сличних поступака већ извршена класификација наших мешавина у погледу отпорности на замор и на појаву трајне деформације^(13,14).

5. Приказани поступак израчунавања модула слојева асфалта изграђене коловозне конструкције, омогућиће уз остало, тачно вредновање њеног механичког модела, што је неопходно за рационални поступак израчунавања појачања коловозних конструкција. У исто време ово је и коректније узимање у обзир вредности измерених дефлексија него што је то случај када се те вредности користе за непосредно одређивање дебљине појачања из емпиријских-страних дијаграма⁽¹⁵⁾.

ЛИТЕРАТУРА

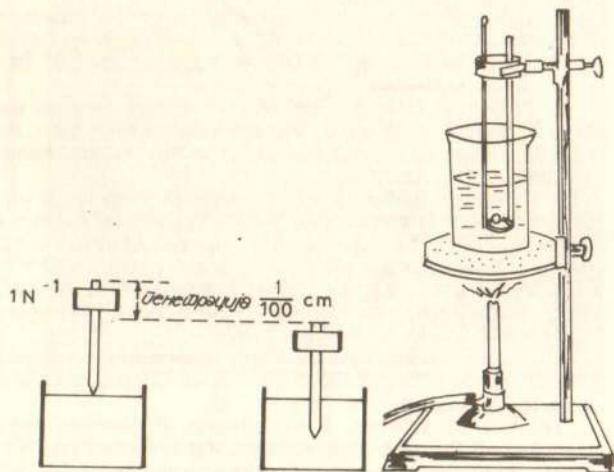
1. Organisation de Cooperation et Developpement Economique, Resistance a la deformation plastique des chaussées souples, Groupe de Recherche Routiere C7, Paris, mai 1975.
2. J. B. Esta, contributin a l' etude rationnelle des chaussees, These de doctorat, Grenoble 1972.
3. W. Heukelom, A. J. Klomp, Road design and dynamic loading, Proc. Association of Asphalt Paving Technologists, 33 (1964) str. 92.
4. J. Saunier, Contribution a L'etude des proprietes rheologiques des enrobes bitumineux, These presentee a la Faculte des Sciences de L' universite de Paris, 1968.
5. L. Francken, Module complexe des melanges bitumineux, Bulletin de Liaison des Laboratoires bez ponts et chaussees, Numero special V, 1977. str. 181.
6. L. Francken, Permanent deformation Law of bituminous road mixes in repeated triaxial compression, Proc. of 4th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, vol I, Ann Arbor, 1977., str. 483-496.
7. P. Uge, G. Gest, A. Gravois, F. Bonnaure, Nouvelle methode de calcul du module complexe des melanges bitumineux, Bulletin de Liaison des Laboratories des ponts et chaussees, numero Special V, 1977., стр. 199.
8. S. Soliman, Influence des parametres de formulation sur le comportement a la patioue d un enrobe bitumineux, Rapport de Recherche no 58, Ministere de L Equipement, Laboratoire des Ponts et Chaussees, Paris 1976.
9. P. J. van de Loo, A Practical Approach to the Prediction of Rutting in Asphalt Pavements, The Shell Method Transportation Research Board, Washington 1976.
10. J. Verstraeten, Resistance a la deformation permanente, Comite technique des routes souples, XVIe Congres mondial de la route, Vienne, septembre 1979, стр. 23.
11. A. I. M. Claessen, J. M. Edwards, P. Sommer, and P. Uge, Asphalt Pavement Design, Proc. of 4th International Conference Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor, Michigan 1977, vol I, стр. 39-74.
12. Shell pavement design manual, Asphalt pavements and overlays for road traffic, Shell international Petroleum Company, London, 1978.
13. J. Verstraeten, Loi de fatigue en flexion repete de melanges bitumineux, Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussees, No 70, mars-avril 1974. str. 141-155.
14. J. Verstraeten, J. E. Romain, V. Veverka, Methode de dimensionnement des chaussees a revetement hydrocarbore, Centre de recherches routieres, Bruxelles, mars 1978.
15. Зоран Радојковић, Методолошки аспект решавања проблема појачања коловозних конструкција, Зборник радова X Конгреса Савеза друштава за путеве Југославије, Аранђеловац, октобар 1978. вол. 2, стр. 511.

Особине битуменом везаних материјала

Др АЛЕКСАНДАР ЦВЕТАНОВИЋ, дипл. инж.

Механичке особине битуменом везаних материјала веома много зависе од везива које се под оптерећењем понаша вискоеластично. То значи да деформација зависи од температуре и времена трајања оптерећења. (Температура је важна због утицаја на вискозитет везива). Иако постоји више директних метода за мерење вискозитета, он се у пракси одређује на индиректан начин. На основу стандардних испитивања пенетрације Р и тачке размекшавања по прстену и куглици РК (сл. 1) може се одредити индекс пенетрације.

$$I_p = \frac{1951,4 - 500 \log P-20 \text{ PK}}{50 \log P-PK-120,14}$$



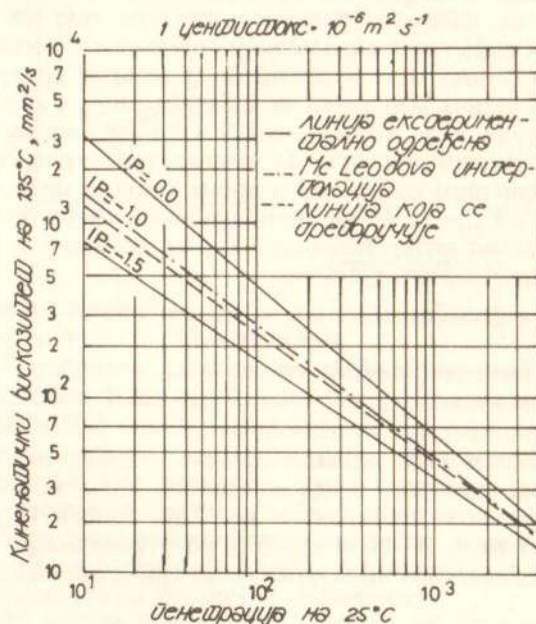
Сл. 1. Описи пенетрације и тачке размекшавања по прстену и куглици

За већину битумена I_p се креће од -1 до $+1$. Температурна осетљивост битумена расте с опадањем I_p и обрнуто. На основу експеримената McLeoda однос између I_p , кинематичког вискозитета и пенетрације дат је на сл. 2.

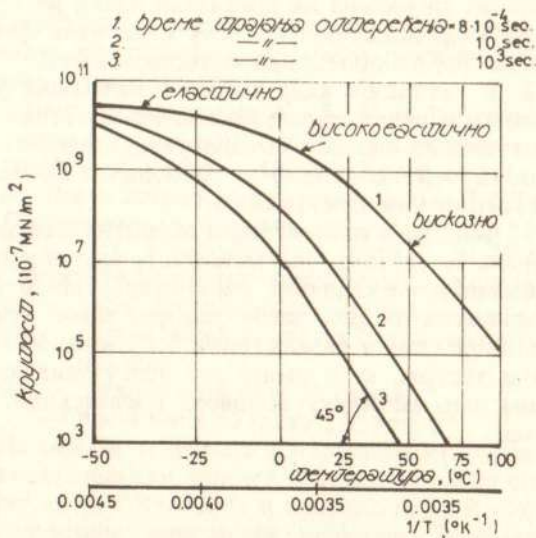
КРУТОСТ БИТУМЕНА

Однос напона и деформације у зависности од температуре T и трајања оптерећења t код битумена и битуменом везаних материјала, Van der Poel⁽⁴⁾ је дефинисао као „крутост“ K :

$$K_{T,t} = \frac{\sigma}{\epsilon} =$$



Сл. 2. McLeodov поступак за оцену I_p (модификован од Хајека и Хаса)



Сл. 3. Однос између крутости битумена и температуре

На сл. 3. приказана је крутост битумена под различитим условима деловања оптерећења и температуре.

На ниским температурама деформације су претежно еластичне, а еластична граница модула крутости K једнака је, скоро увек, константној вредности Југовог модула еластичности

$$E_{bit} \approx 2.5 - 3.10^3 \text{ MN/m}^2$$

На вишим температурама битумен се понаша чисто вискозно, при чему вискозитет изражен преко напона на затезање и дилатације гласи:

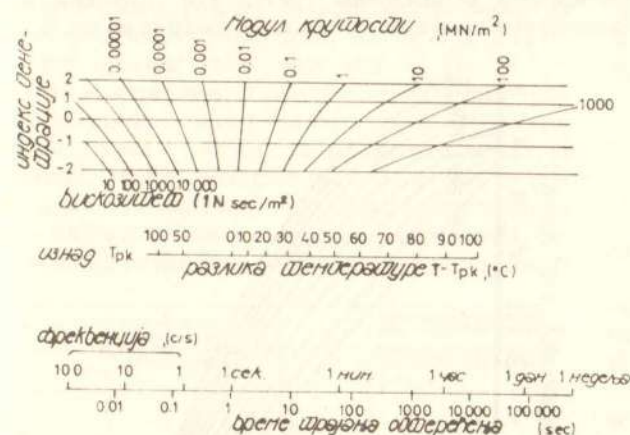
$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \cdot t = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \cdot \frac{\sigma}{\epsilon} \cdot t$$

где је: m = Poissonova константа.

За битумен $m = 2$, одакле следи да је:

$$\eta = \frac{\sigma \cdot t}{3 \cdot \epsilon} = \frac{t \cdot K}{3}$$

Чврстоћа на лом при затезању битумена није константна вредност. На ниским температурама и у кратком времену трајања оптерећења, највећа вредност чврстоће на лом за различите типове битумена износи око $3 \times 10 \text{ MN/m}^2$; ова вредност опада при дужем времену трајања оптерећења. При највећој вредности крутости од $3 \times 10^3 \text{ MN/m}^2$, не постоји ризик од лома при дилатацијама мањим од $\epsilon = 10^{-3}$, тј. 0,1%. При већим дилатацијама не мора обавезно да дође до појава лома, што зависи од крутости, односно, такође, од трајања оптерећења и температуре. На основу истраживања Van der Poela, Neukeloma, Klotra и McLeod — конструисани су дијаграми за одређивање крутости битумена у зависности од времена трајања оптерећења t , температуре T и индекса пенетрације IP , сл. 4.



Сл. 4. Хеукеломов и Кломпов дијаграм за одређивање модула крутости битумена

КРУТОСТ АСФАЛТНИХ МЕШАВИНА

Особине асфалтних мешавина у највећој мери зависе од понашања битумена и камене ситнежи. Као и код битумена, при малим деформацијама и кратком времену трајања оптерећења, однос између деформација и напона је линеаран. Понашање асфалтних мешавина може се такође, пред-

ставити преко односа δ/δ , тј. преко „модула крутости“.

На основу радова Хеукелома и Кломпа⁽⁶⁾, модул крутости асфалтних мешавина, на основу крутости битумена, добијене из претходног дијаграма, гласи:

$$K_{mix} = K_{bit} \times \left(1 + \frac{2.5}{n} \frac{C_v}{1 - C_v}\right)^n$$

Ту је: K_{mix} = модул асфалт-бетонских мешавина (MN/m^2),

K_{bit} = модул крутости битумена на одређеној температури и времену трајања оптерећења, одређен из дијаграма, (MN/m^2),

C_v = запреминска концентрација камене ситнежи у мешавини

$$n = 0.83 \log_{10} \frac{400\,000}{K_{bit}}$$

Запреминска концентрација камене ситнежи у мешавини дефинише се као:

$$C_v = \frac{\text{запремина камене ситнежи} + \text{запремина битумена}}{\text{запремина сабијене камене ситнежи}}$$

Овај израз би се могао заменити еквивалентном вредношћу на узорцима из коловоза или направљеним у лабораторији.

$$C_v = \frac{1}{1 + C}$$

$$\text{где је: } C = \frac{Q_s}{Q_g} \times \frac{G_g}{G_s}$$

Q_s = маса битумена

Q_g = маса камене ситнежи

G_s = густоћа битумена

G_g = привидна густоћа камене ситнежи

Образац за K_{min} важи за добро сабијене мешавине с око 3% шупљина испуњених ваздухом. За мешавине с већим процентом шупљина треба користити:

$$C'_v = \frac{C_v}{1 + (0.01 V_v - 0.03)}$$

где је: C_v = коригована запреминска концентрација камене ситнежи

V_v = стварне шупљине, %

Однос K_{min}/K_{bit} важи само ако је

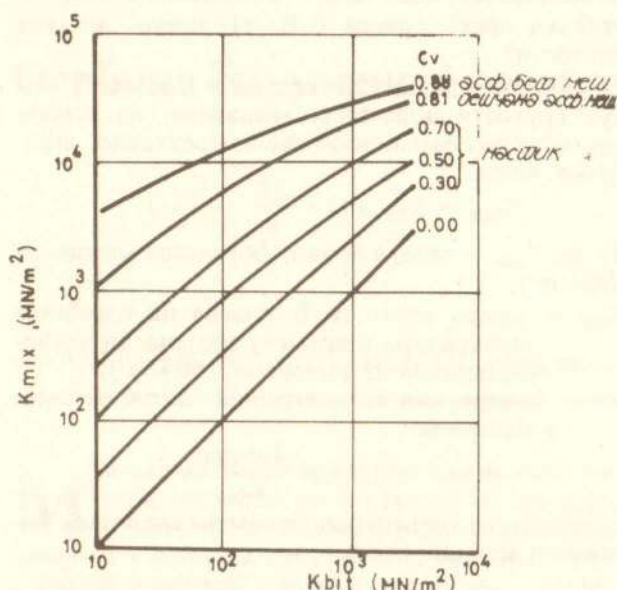
$$K_{bit} \geq 10 \text{ MN/m}^2 \text{ и } 0.7 < C_v < 0.9$$

На основу експеримената, однос између модула крутости мешавина с различитом запреминском концентрацијом камене ситнежи и битумена представљен је на сл. 5.

На вишим температурама или при дужем времену трајања оптерећења, када је $S_{bit} < 10 \text{ MN/m}^2$, постоји много више фактора који делују на крутост мешавине. Утицај везива постаје мањи, а следећи фактори постају важнији:

1. тип, облик, ректура и гранулометрија камене ситнежи,
2. методе сабијања и резултујући садржај шупљина,
3. гранични услови.

На сл. 6. десна половина дијаграма представља еластично понашање, при чему модул круто-

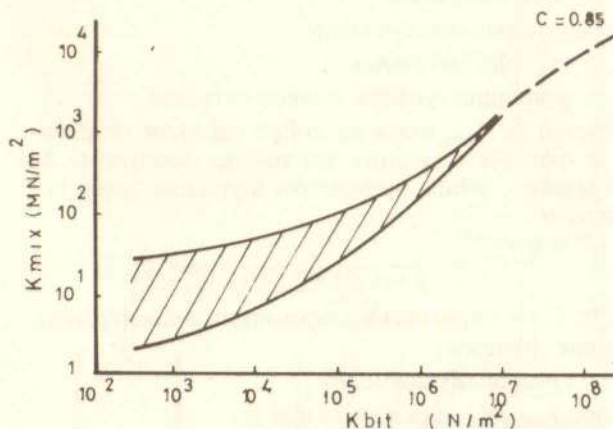


Сл. 5. Однос између модула крућости мешавина и битумена

сти одговара модулу еластичности, односно може се применити теорија еластичности. Време трајања оптерећења t у односу на брзину возила V може се приближно одредити из обрасца:

$$t = \frac{1}{V} \text{ s}$$

где је: V = брзина возила, km/h.



Сл. 6. Однос између крућости мешавине и везива

Модул крућости асфалтних мешавина одређује се на основу динамичких испитивања на терену или у лабораторији (сл. 7). Ради лакшег проучавања, претпоставља се да вертикално осцилирајућа сила од пнеуматика F изазива у коловозу синусоидалне напоне:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \sin wt$$

где је: σ_0 = амплитуда напона, MN/m²

w = угаона фреквенција, (rad/s)

t = време, (s)

и фазно померање дилатације:

$$\epsilon(t) = \epsilon_0 \sin(wt - \varphi)$$

ϵ_0 = амплитуда повратне дилатације, (cm/cm)

φ = фазно заостајање дилатације ϵ_0 s напонам σ_0 , (степени)

Под оваквим условима стање напона и деформација се приказује комплексним бројем E^* :

$$E^* = E' + i E''$$

E' = реални део, а E'' имагинарни део комплексног модула.

$$E' = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \cos \varphi \quad E'' = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \sin \varphi$$

односно:

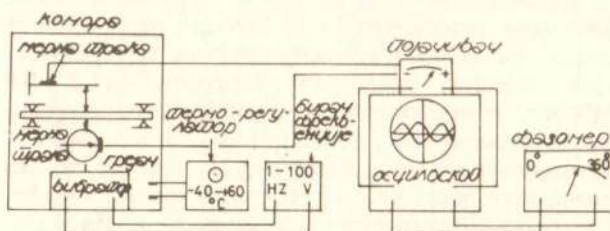
E' = компонента модула која представља сачувану повратну енергију, а

E'' = енергија изгубљена на унутрашње трење у материјалу.

Апсолутна је вредност комплексног модула:

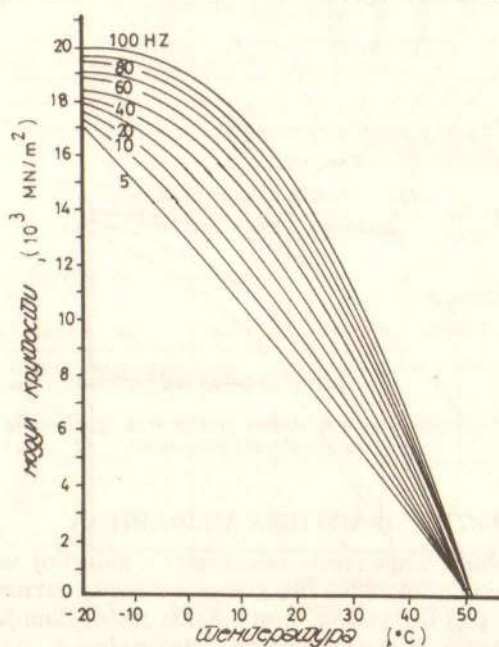
$$E^* = |\sigma^*| = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} = K_{mix}$$

За еластичне материјале $\varphi = 0$ (занемарено је вискозно понашање). Однос амплитуда напона и дилатације назива се „модулом крућости“ и као термин је веома распрострањен у стручној литератури.



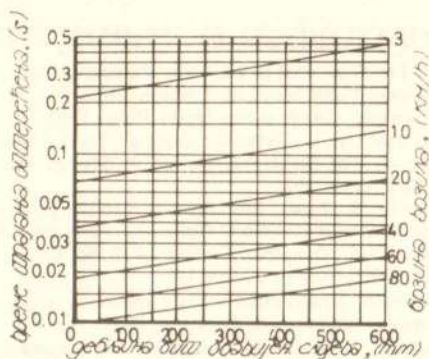
Сл. 7. Аппарат за динамичка испитивања битуменом обавијених мешавина

Зависност модула крућости врућих асфалтних мешавина од температуре, при различитим фреквенцијама осциловања (резултати добијени на апаратури приказаној на сл. 7), дата је на сл. 8.

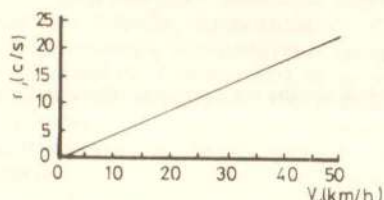


Сл. 8. Модул крућости у зависности од температуре и фреквенције

Експерименталне вредности фреквенције осциловања асфалтних коловоза и трајања оптерећења, у зависности од брзине возила, дате су на сл. 9. и 10.



Сл. 9. Време трајања оптерећења у зависности од дебљине слоја и брзине возила

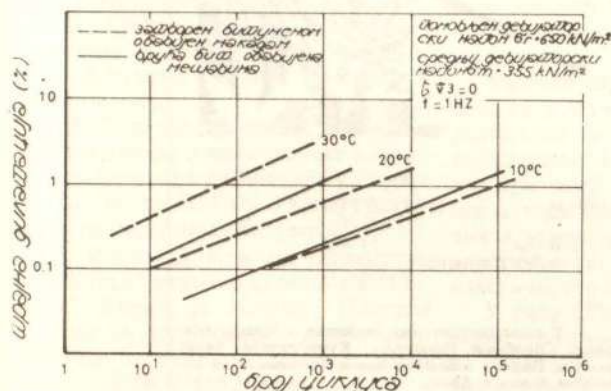


Сл. 10. Однос фреквенције осциловања коловоза и брзине возила

ТРАЈНЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ

Лом коловоза најчешће је резултат формирања превеликих трајних деформација. За време лета када се површина застора загреје до 50°C — 60°C (око 30°C изнад температуре ваздуха), настају велике деформације на површини коловоза, које најчешће превазилазе могућности еластичног понашања асфалтних мешавина.

Испитивање трајних деформација може се обавити статичким методама, као што је „статички опит пузања“ или динамичким. На сл. 11. приказан је директан утицај температуре на трајне деформације за два типа мешавина. На нижим температурама (10°C), за различите асфалтне мешавине, трајне деформације готово да су једнаке, док се на вишим, због боље грануларности и тврђег битумена (иако имају више битумена), боље понашају вруће битуменом везане мешавине.



Сл. 11. Убрзавање трајних деформација за две различите мешавине

ЗАМОР

Замор представља број поновљених оптерећења до лома коловоза, односно до прекорачења чврстоће на затезање битумених материјала (за вруће асфалтне мешавине $\sigma = 2,1$ до $3,5$ MN/m²).

Да ли ће се замор испитивати при контролисаној дилатацији или напону, зависи од дебљине слојева. Тако нпр., за слојеве тање од 50 mm, замор треба испитивати при контролисаној дилатацији, а за веће од 150 mm при контролисаном напону. Међудебљине траже комбинована испитивања.

При контролисаној дилатацији (важи за температуре слојева испод 25°C) замор се може сачунати помоћу једначине:

$$N_f = k \left(\frac{1}{\epsilon_m} \right)^n$$

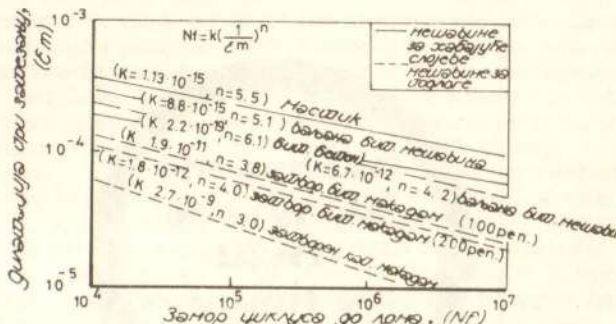
где је:

N_f = број примењених оптерећења до појаве лома од замора,

ϵ_m = максимална вредност дилатације при затезању,

k, n = константе које зависе од карактеристика мешавине.

Отпорност на лом због замора највећа је код врућих асфалтних мешавина које имају и највећи модул крутости, сл. 12.



Сл. 12. Типичне линије замора за различите мешавине

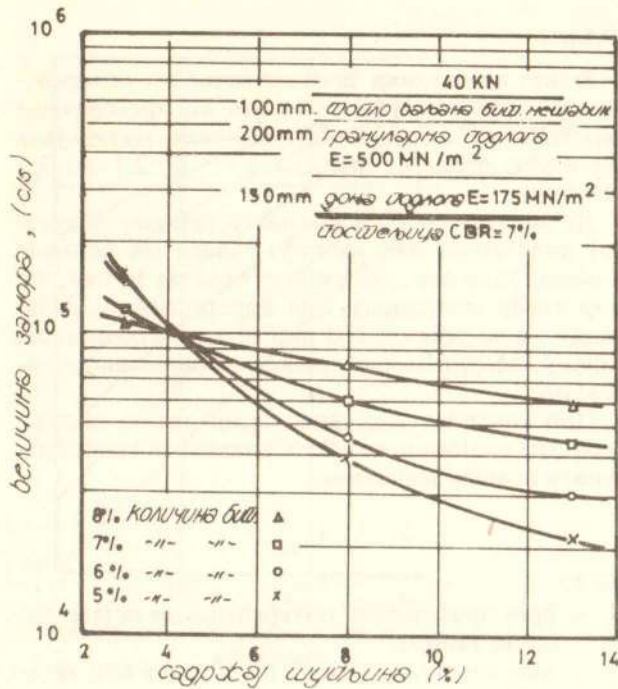
Највећи утицај на замор има количина везива, далеко већи од садржаја шупљина, сл. 13.

Отпорност на замор стоји у директној супротности с отпорношћу на деформације, која захтева мали садржај везива, тврђи битумен и добру збијеност. Због тога у пракси треба тежити компромисним решењима поштујући законе механике и економичности.

На основу досадашњих истраживања може се закључити:

1. Динамички модул и модул смицања врућих асфалтних мешавина опада с повећањем температуре (K_{mix} се креће од 200 MN/m² на температури од 50°C до 2000 MN/m² на температури до 50°C).

2. Поиссонов коефицијент се повећава директно с повећањем количине битумена и креће се од 0,35 до 0,40. Теоријски максимум износи 0,5 за температуре изнад 38°C.



3. Утицај шупљина на крутост постаје значајан тек за температуре изнад 27°C .

ЛИТЕРАТУРА

1. P. S. Pell, Developments in Highway Pavement Engineering-I, Applied Science Publishers Ltd, London, 1978. стр. 50.
2. R. D. Barksdale, Compressive Stress Pulse Times in Flexible Pavements for Use in Dynamic Testing, Third International Conference on The Structural Design of Sphalt Pavements, London, 1972. стр. 161.
3. L. W. Nijboer, R. Jones, investigation into the Dynamic Testing of Roads, Roads and Road Const. 32 (1954) стр. 202.
4. C. Van der Poel, Dynamic Testing of Road Constructions, Shell Bitumen Reprints No. 3 (1951).
5. А. Цветановић, Динамички модул крутости асфалт бетона, докторска дисертација, Београд, 1976.
6. W. Heukelom, A. J. G. Klomp. Road Design and Dynamic Loading, Proc. Assoc. Asphalt Paving Technologists 33 (1964) стр. 92.

Сл. 13. Зависности замора од карактеристика материјала

**Предузеће
за путеве
„НИШ“
у Нишу**

Телефони:

Директор	47-160
Техн. директор	44-245
Директор ПРС-а	47-091
Дирек. општег сект.	46-686

Централа 46-699

47-286

Механизација 54-164

Телекс: 16262 ПЗПНИШ

Врши радове:

Текућег и зимског одржавања, реконструкције и изградње магистралних и регионалних путева на свом пословном подручју, као и радове на путевима и објектима за потребе друштва.

У свом саставу има јединице у Нишу, Алексинцу, Сокобањи, Прокупљу, Куршумлији, Белој Паланци, Пироту и Бабушници и каменолом са асфалтном базом у Долину.

II југословенски симпозијум о битумену и асфалту

Конгреси, Симпозијуми

Знанствени савјет за нафту Југословенске академије знаности и умјетности и Грађевински Институт — Факултет грађевинских знаности Свеучилишта у Загребу, организовали су II југословенски симпозијум о битумену и асфалту. Симпозијум је одржан од 22. до 24. априла 1981. године у Поречу.

На симпозијуму је разматрано пет подручја.

I У подручју „Производња, хемијски састав и физичке особине битумена“, у коме је уводно предавање дао Д. Светел, разматрано је 14 реферата и то:

— В. Турина, Развој технологије за оксидацију битумена у ИНА-Рафинерији Ријека

— М. Маџут, Н. Дупор, Н. Кукић, производња путних битумена поступком намешавања

— М. Имшировић, Утицај појединих фракција на квалитет битумена у поступку намешавања

— Б. Барковић, Д. Остерман, З. Шегон, Повећање капацитета и избора путних битумена у односу на пројекат у ИНА-Рафинерији нафте Ријека

— Д. Остерман, С. Шилхард—Михаљевић, Лабораторијско добијање индустријског битумена 100/40 применом катализатора $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

— М. Кончар—Градник, Д. Пишчанец, Вискозност путних битумена

— Д. Светел, И. Пап, Могућност одређивања стандардних вискозности битумена помоћу ротационог вискозиметра

— М. Празник, Допринос испитивању динамичке и кинематичке вискозности битумена рафинерије у Ријеци

— Д. Светел, И. Пап, Утицај растварања на вискозност битумена

— С. Косић, Д. Клинар, Параметри квалитета битумена 85/40 и 100/40

— С. Косић, Д. Клинар, Интерне методе за одређивање постојаности дуваних битумена на старење, израђене у СРТК ТИМ Лашко

— С. Васиљевић, Утицај допа на физичка својства битумена

— Угљоводоници диароматског типа у битумену Ирак ВIT 60

— Ј. Жмавиц, Промене својстава битумена

Од 14 пријављених радова, 5 радова обрађују проблематику производње битумена. Разматра се поступак добијања битумена дувањем у погону и лабораторијска испитивања могућности примене катализатора код поступка дувања, као и поступак блендирања путних битумена из 3 компоненте. При томе се као закључак може рећи да се код нас, у свим рафинеријама, скоро све врсте битумена за коловозе добијају поступком дувања или такозваног благог дувања. Истакнуто је да је за ону сировинску базу којом располаже Југославија овај технолошки поступак добијања битумена једино применљив, ако се жели да они одговарају југословенским стандардима за путне битумене.

Хемијском саставу битумена посвећен је само један, врло запажен, рад. Аутор је извршио сепарацију битумена текућинском хроматографијом на различитим адсорбентима, а за карактеризацију појединих фракција применио је инфрацрвену спектрометрију, ултраљубичасту спектрометрију НМР спектрометрију, спектрометрију маса и елементарну анализу. У дискусији је истакнуто да је све већи број питања на које одговор треба тражити у потпуном познавању структуре и хемизма битумена.

Физичка својства битумена обрађена су у четири рада. Један рад је разматрао питања додавања допа за побољшање прионљивости битумену, при чему је оригинални допринос аутора био у томе што је доказан и утицај допа на модул вискоеластичности и комплексни модул еластичности битумена.

У раду „Промене својства битумена“ предложено је да се решење за квалитет битумена тражи у мешавини битумена добијеног поступком дестилације (не поступком дувања) и тврђих врста битумена ко-

ји су саставни део природних асфалта. Питање је од великог интереса, поготову што је по овом поступку изведен застор на обновљеним површинама ауто-пута Врхника—постојна, тако да имамо значајну „пробну деоницу“ која ће показати предност овог поступка.

Четири рада посвећена су питању одређивања вискозности битумена и могућности да се вискозност битумена примени за оцену квалитета битумена, као и за класификацију битумена. Радови су дали оригинални допринос овом питању и у дискусији је истакнуто да овом питању треба посветити посебну пажњу, а да на основу резултата приказаних у овим радовима као и у три рада која су приказана у другим подручјима, треба припремити реферат за међународни RILEM симпозијум (одржане се у Београду 1983. године).

II У подручју „Природни асфалти и битуминозни шкриљци“, у коме је уводно предавање дао Д. Виторовић, разматрана су два рада и то:

Д. Светел, Могућност примене природних асфалта с подручја Југославије у асфалтним мешавинама

Б. Шебешић, Битуминозне појаве морске зоне

У уводном предавању приказана су новија испитивања неких природних битумена (кероген и битумен изворних стена, природни асфалти). У рефератима и у дискусији по рефератима истакнуто је да треба обновити истраживања у циљу утврђивања могућности примене природног асфалта у свим врстама асфалтних мешавина (асфалтних бетона, ливених асфалта и специфичних асфалтних мешавина).

III У подручју „Пројектовање и особине асфалтних мешавина“, у коме је З. Рамљак дао уводно предавање, разматрано је 13 реферата и то:

— В. Пејновић, З. Рамљак, В. Ципек, М. Барлек, Утицај концентрације компонената асфалта на напонско-деформацијско понашање асфалтног узорка у систему са спреченом латералном деформацијом

— А. Цветановић, Особине битуменом везаних материјала

— З. Рамљак, В. Пејновић, Модели и просторне карактеристике асфалтног узорка

— З. Радојковић, Ј. Ђуран, М. Стефановић, Комплексни модули југословенских асфалтних мешавина одређени индиректним поступцима

— Ж. Војнић, Предвиђање појаве колотрага у асфалтним слојевима коловозне конструкције на основу опита пузања

— В. Пејновић, Б. Фучић, З. Рамљак, Утицај просторних карактеристика пунила и температуре на концентрацију битумена у систему битуменог морта

— З. Рамљак, В. Пејновић, Б. Фучић, Утицај врсте пунила и битумена на физичка својства битумених мортана

— М. Обрадовић, Р. Љубичић, Веза и прионљивост асфалтних слојева флексибилних коловозних конструкција

— В. Пејновић, З. Рамљак, Д. Беседеш, Н. Микулић, Утицај вискозности везива и просторних карактеристика асфалтног узорака на стабилност одређену Marshall методом

— П. Ј. Брауновић, Проблематика пластичних деформација асфалтног застора у топлим климатским подручјима

— Д. Златарић, В. Пејновић, В. Вукелић, З. Рамљак, Температурни кубни коефицијент ширења асфалта

— З. Јоксич, Узроци оштећења асфалтних слојева коловозне конструкције на деоници ауто-пута кроз Београд

— Ј. Жмавц, Утицај минералних мешавина у хабајућим слојевима на безбедност вожње.

У овом подручју је посебан нагласак дат на просторне карактеристике асфалта, на утицај компонента асфалта на напонско-деформацијско понашање асфалта, утицај вискозности битумена и просторних карактеристика асфалта на неке реолошке карактеристике асфалтних мешавина, као и на особине битуменог малтера, све у функцији пројектовања асфалтних мешавина. Овом питању посвећено је 6 радова уз уводни реферат. Резултати истраживања представљају оригиналан допринос групе стручњака из грађевинског института у Загребу. Разрађен је поступак пројектовања асфалтних мешавина које служе за припрему асфалтних узорака унапред дефинисаног састава. На бази просторног модела дефинисан је састав жељеног асфалтног узорака помоћу концентрације каменог скелета, појединих фракција каменог скелета, битуменог малтера, слободног битумена, Ригден морта и шупљина.

У овом подручју, оригиналан допринос представља и студија комплексних модула југословенских асфалтних мешавина, одређених индиректним поступцима. Од интереса је и рад који приказује могућност предвиђања појаве колотрага у асфалтним слојевима коловозне конструкције на основу опита пузања. О особинама битуменом везаних материјала дат је и приказ из литературе.

Један рад дефинише поступак за одређивање везе и прионљивости асфалтних слојева флексибилних коловозних конструкција, узимајући у обзир стање површине асфалтног коловоза, начин третирања површине асфалтног слоја и промену температуре.

У раду који третира проблематику пластичних деформација асфалтног застора у топлим климатским подручјима, приказана је студија појаве колотрага на Обалском путу од Триполија до Бу Граина у Либији, а приказан је и рад који третира узроке оштећења асфалтних слојева коловозне конструкције на деоници ауто-пута кроз Београд.

У овом подручју је дат и рад који разматра утицај минералних мешавина у хабајућим слојевима на безбедност вожње. Аутор истиче да је вредновање карактеристичних својстава возних површина могуће на основу појединих вредности коефицијента клизног трења.

IV У подручју „Производња, уградња и одржавање асфалта“, о коме је М. Ламер дао уводно предавање, разматрано је 12 реферата и то:

— Н. Микулић, З. Фијан, С. Гаљанић, Б. Крстуловић, Приступ истраживању утицајних чинилаца на процес производње асфалтне мешавине

— М. Ламер, Анализа квалитетне производње асфалтних мешавина на асфалтним базама

— Н. Микулић, З. Фијан, А. Шолц, М. Цвјетићанин, Модел асфалтне базе

— М. Марковић, Примена асфалтобетонских мешавина код израде једнослојних водонепропустних облога у хидроградњи

— Ж. Војнић, Ж. Швабе, З. Башић, пројектовање и израда асфалтног појачања постојеће коловозне конструкције ауто-пута Ивања Река — Липовљани

— С. Гаљанић, Б. Сегеди, Б. Палковић, Приказ уједначености производње и уградња асфалта на ауто-путу Ивања Река — Липовљани

— К. Јање, В. Холаји, Асфалтни радови и цена изградње путева

— М. Вилхар, Ј. Жмавц, Савремени поступци оправке асфалтних коловоза — рецикловање

— М. Сршен, Б. Бабић, М. Келер, Ј. Филија, Хватљивост асфалтног

застора коловозне конструкције као параметар за процену сигурности вожње

— Б. И. Ујдур, Приказ резултата мерења отпора клизању на асфалтним коловозним засторима на путевима и у лабораторији

— М. Сршен, Процена квалитета вожње на асфалтном застору Бумп-интегратором

— К. Ухлир, Хидроизолација челичних мостова

Од приказаних радова, четири рада разматрају проблематику производње асфалтних мешавина.

У радовима је приказано данашње стање у производњи, уградња и одржавању асфалта, приказано је деловање утицајних чинилаца на процес и организацију производње асфалтне мешавине, дата је статистичка анализа уједначености производње, израђен је симболички процедурални модел асфалтне базе и дат је приказ уједначености производње и уградња асфалтне мешавине на једној деоници ауто-пута.

Један рад је посвећен питању примене асфалтобетонских мешавина при изради једнослојних водонепропустних облога у хидроградњи, и дати су примери из праксе. Други рад разматра питање хидроизолације челичних мостова и приказује успела решења у нас.

Дат је пример производње, уградња, пројектовања и израде асфалтног појачања на деоници ауто-пута. У другом раду разматран је пораст цена асфалтних радова у СРХ у последњих 10 година, као и пораст цене асфалтних радова у периоду изградње тог ауто-пута.

Питању стања површине коловозног застора посвећена су три рада. Дата је процена квалитета вожње на асфалтном застору Бумп-интегратором, дат је приказ резултата мерења отпора клизању на асфалтним коловозима, а хватљивост асфалтног застора је дата као параметар за процену сигурности вожње.

Питању савремених поступака оправке асфалтних коловоза ресиклажом посвећен је један рад.

V У подручју „Стандардизација битумена и асфалта“, у коме је С. Гаљанић дао уводно предавање, разматрано је 5 реферата и то:

— Д. Светел, И. Пап, Корелација између стандардних карактеристика и вискозности битумена

— Н. Кукић, Д. Јанчић, М. Маџут, коришћење еквивискозне температуре као мерила квалитета путних битумена произведених системом мешања

— М. Ламер, Упоредна испитивања асфалтних мешавина Маршаловом методом

— Ј. Пиролић, Прилог дискусији о односу броја текућих и контролних

испитивања код асфалтних радова — Б. Палковић, С. Гаљанић, Б. Сегеди, О улози текућих контролних испитивања при контроли квалитета асфалта.

Два рада разматрају могућност увођења одређивања вискозности као карактеристике за оцену квалитета битумена, као и за класификацију битумена према вредности вискозности.

Три рада се односе на контролу квалитета асфалтних мешавина и на улогу текућих и контролних испитивања при оцени квалитета.

Сви приказани радови штампани су у зборнику радова*, који је подељен свим учесницима симпозијума.

У раду симпозијума учествовало је 295 стручних и научних радника из института, рафинерија, факултета и грађевинске оперативе из Југославије.

У часопису „Цесте и мостови“ штампано је 10 радова истраживача Грађевинског института из Загреба.

На предлог иницијативне групе из Института за путеве у Београду, председништво Друштва за путеве Србије донело је одлуку да се у часопису „Пут и саобраћај“ штампају радови стручњака из Института за путеве Београд, Грађевинског факултета у Београду и Завода за изградњу града Београда. При томе нису штампана уводна предавања,

рад П. Ј. Брауновића, пошто је истој материји у часопису већ штампан један рад, као и рад Д. Светели и И. Папа јер ће исти бити приказани на међународном RILEM конгресу у Београду.

*Зборник радова II југословенског симпозијума о битумену и асфалту може се наручити на адресу: ЈАЗУ, Знанствени савјет за нафту, Секција за прераду и примјену нафте, Загреб, Зрински трг 11.

Др Душан Светел, дипл. инж.

Информација о XI конгресу савеза Друштва за путеве

Једанаести конгрес Савеза друштва за путеве Југославије одржаће се у Загребу од 27. до 19. октобра 1982. године, у концертној дворани „Ватрослав Лисински“.

Организација овог конгреса поверена је Савезу друштва за цесте Хрватске, Загреб, Вончинина 3.

На конгресу ће се разматрати проблематика развоја путева Југославије у периоду од 1985. до 2000. године, актуелна проблематика планирања, пројектовања, грађења и одржавања путева и аеродрома, те друштвено-економски односи у подручју одржавања и реконструкције путева Југославије.

У оквиру конгресних манифестација приређују се и две изложбе и то:

1. Изложба из подручја планирања, пројектовања, грађења и одржавања путева и аеродрома у раздобљу 1976. до 1985. године.

Изложба треба да прикаже развој путне инфраструктуре и аеродрома у СФР Југославији са приказом важнијих радова извођених у раздобљу од 1976. до 1980. године и оних који су планирани, пројектовани или ће се реализовати у раздобљу 1981. до 1985. године.

Позивамо све научне институције, пројектне заводе и организације, те радне организације за изградњу и одржавање путева и аеродрома, да се пријаве за суделовање на овој изложби.

Изложба ће се поставити у фойеју Концертне дворане „Ватрослав Лисински“ у Загребу, тако да ће својом локацијом и тематским избором омогућити учесницима XI конгреса

преглед достигнућа наше путоградње по републикама и у целини, а одговарајућом поставом презентираће се радови наших научних, стручних и радних организација, тако да ће бити и пропагандног карактера.

Изложбени материјал у виду планских схема и дијаграма, прегледних ситуација, карактеристичних делова из студијске и пројектне документације са фотографијама извођених радова, опремања путева и аеродрома, те одржавања ових објеката, поставиће се на паное, док ће се макете или модели пројектованих или изведених објеката (чворишта, мостова и сл.) поставити уз паное на којима ће ови објекти бити представљени у пројектној форми или фотографијама.

Пошто су панои димензија 100 x 120 cm, материјал за изложбу мора се прилагодити наведеним димензијама, тако да нацрти и схеме могу бити максималних димензија 85 x 60 cm, а фотографије (по могућности у боји) од 18 x 21 до 50 x 70 cm, са описом садржаја и године извршења на полећини.

Цена уређења 1 m² паноя износи 2.500 динара. Према приближној процени површине коју ће обухватити ваш изложбени материјал молимо да сви заинтересовани најкасније до 15. IX 1982. године пошаљу аконтацију на жиро рачун Савеза друштва за цесте Хрватске — Via Vita, бр. 30102-678-271 код СДК Загреб.

Кончан обрачун извршиће се најкасније 30 дана по завршетку XI конгреса, а према тачној површини уређених паноя (што ће се моћи проверити на самој изложби).

Накнада за излагање макета и модела неће се наплаћивати, с тим да превозне трошкове сноси заинтересована организација.

Због ограниченог броја паноя и изложбеног простора (око 10 до 12 паноя по републици или покрајини), молимо вас да своју одлуку о врсти и обиму учешћа доставите најкасније до 29. II 1982. године на адресу Савеза друштва за цесте Хрватске.

Детаљнија обавештења могу се добити на телефон број 041/275-235 — Миљенко Маркулин, дипл. инж., Инжењерско пројектни завод, Загреб, Петрињска 7.

041/414-418 — Дарко Млинарић, дипл. инж., СИЗ за цесте Хрватске, Загреб, Вончинина 3/1.

2. Изложба домаћих и иностраних произвођача машина, постројења, возила и опреме за путеве и аеродроме у изградњи и одржавању

Ради што целовитијег презентирања асортимана и могућности рада машина, постројења, возила и опреме за путоградњу, позивамо све произвођаче да се пријаве за суделовање на овој изложби.

Изложба ће се поставити делом на отвореном простору пред Концертно-конгресним центром „Ватрослав Лисински“ (према могућности), а делимично на простору Загребачког велесајма.

У стабилизацијском поступку што већег коришћења домаћих машина и опреме, разумљиво је велико занимање делегата за могућности домаћих произвођача и опреме у путоградњи, па ће изложба имати и пропагандни карактер.

Могуће је, такође, суделовање и на изложби из подручја планирања, пројектовања, грађења и одржавања путева и аеродрома, наведеног под 1. На тој изложби је потребно да се могућности, машина и постројења, возила и опреме презентирају тематски, у вези са извођењем радова у склопу Изложбе 1. и под условима коштања уређења 1 m² паноа у износу од 2.500 динара.

У склопу ове изложбе могу се приказивати филмови и дијапозитиви у вези рада машина, постројења и возила, као и опреме за путеве и аеродроме на 16, 35 или 70 mm врпци, што се неће посебно наплаћивати.

На основу пријаве вашег учешћа у изложби, те врсте и опсега предвиђеног изложбеног материјала (машина, возила, опреме) утврдиће се трошкови уређења изложбе, те

ћемо вам до 31. III 1982. године послати предрачун и утврдити износ и рокове за плаћање аконтације за уређење изложбе.

Кончан обрачун извршиће се најкасније 30 дана по завршетку XI конгреса, а према тачној површини заузимања изложбеног простора.

Ради благовременог обезбеђења оптималних услова за одржавање ове изложбе и велике заинтересованости произвођача машина, возила и опреме, позивамо производне радне организације, да своју одлуку о врсти и обиму суделовања на изложби јаве најкасније до 28. II 1982. године на адресу:

Савез друштва за цесте Хрватске
(Одбор за организацију и рад XI конгреса СДПЈ)

Комисија за изложбу
Вончиница 3/III, 41000 Загреб

Детаљнија обавештења о изложби 2) могу се добити на телефоне: 041/272-733 Иван Вавра, дипл. инж., Пословна заједница Радних организација за цесте СР Хрватске, Качићева 20/I, Загреб

041/414-418 Дарко Млинарић, дипл. инж., СИЗ за цесте Хрватске, Вончиница 3/I, Загреб

Изложбени материјал треба доставити током месеца септембра, а најкасније до 25. септембра 1982. године на адресу:

Палача „Ватрослав Лисински“
Концертно конгресни центар
За изложбу XI конгреса СДПЈ
41000 ЗАГРЕБ
Трњанска бб.
тел. бр. 041/530-011
telex: 21785 YU KDVLZG

XXVI редовна годишња скупштина Друштва за путеве Србије

Одржаће се 16. до 18. априла 1982. године у Аранђеловцу

Председништво Друштва за путеве Србије и домаћини:

- „Косовопроект“, Београд
- „Хидропроект“, Београд,
- „Центропроект“, Београд,
- „Југопроект“, Београд и
- Завод за саобраћајнице Грађевинског факултета, Београд

Организују XXVI редовну годишњу Скупштину друштва у Аранђеловцу, у просторијама хотела „Извор“.

Централна тема стручног дела Скупштине је СРЕДЊЕРОЧНИ РАЗВОЈ ПУТНЕ, ПРИВРЕДЕ СРБИЈЕ У ПЕРИОДУ 1981. ДО 1985. ГОДИНЕ.

Позивају се све секције Друштва да се припреме за дискусију о раду својих секција и о централној теми.

Рок за смештај делегата и слање пријаве о учешћу на Скупштини је крај месеца марта 1982. год. (хотел „Извор“, Аранђеловац).

ПУТ И САОБРАЋАЈ

Часопис Друштва за путеве СР Србије, Македоније, Црне Горе
и покрајинских друштава за путеве Војводине и Косова

ГОДИНА XXVIII ЈАНУАР—ФЕБРУАР ГОДИНА 1982.

Преглед објављених радова у часопису „Пут и саобраћај“ у току 1981. године

Број 1—2

Др Јанез Жмавиц

Мр Војо Анђус, Мијат Шашовић

Др Момчило Ивановић, Бранко Мазих

Бранислав Крсмановић,

И. Митић, С. Георгијев

Науум Манчевски

Ђорђе Узелац

Др Власто Земљић

Др Александар Цветановић

Слободан Ивковић

Број 3—4

Др Здравко Јоксић

Проф. Живорад Ђукић

Драгослав Ђорђевић

Предраг Брауновић

Љубиша Станојевић

Бранко Крсмановић

Петар Митровић

Мр Војо Анђус

Др Бранимир Ујдур

Проф. Живорад Ђукић

Владета Миловановић

Др Здравко Јоксић

Др Здравко Јоксић

Милутин Максимовић

Мр Војо Анђус

Број 5—6

Војислав Вајда

Александар Форчан

Здравко Огњевих

Мр Вера Мијушковић

Драгослав Ђорђевић

Миодраг Недељковић

Изет Љајић

Мр Михаило Малетин

Владимир Буђевац

- Вредновање карактеристичних својстава савремених коловозних застора
- Савремене методе обележавања трасе пута
- Испитивање саобраћаја за студију аутопутева у Сарајеву
- Реконструкција полетно-слетне стазе, рулне стазе и пристанишне платформе аеродрома „Скопље“
- Међународна путна федерација ИРФ одржала је годишње седнице својих органа у Загребу од 21. до 24. априла 1980. год.
- Од 31. децембра 1981. обавезна примена закона о мерним јединицама и мерилима
- Заслужни члан Друштва за путеве Проф. др Бранко Жиндаршић одлази у пензију
- Извештај о раду председништва Друштва за путеве Србије и Савеза друштава за путеве Југославије
- Библиографија (Извештаји „Transport and road reserch laboratory“ из Велике Британије)

- Новине у производњи савремених асфалтних постројења великог капацитета
- II међународни симпозијум о Пиринском аутопуту
- Улога одређивања процента пора испуњених ваздухом при провери и праћењу збијености ситнозрних прашинастих и глиновитих материјала
- Теорија индиректног опита на затезање стабилованих материјала
- Предлог мера за повећање безбедности саобраћаја на леониди пута Шабац—Лозница
- Принудно и привремено решење санације полетно-слетне стазе
- Примена бушених шипова при санацији клизишта
- Геометријска анализа прекретне „S“ кривине
- Железничка станица „Београд“ у Прокопу и њено повезивање са градским саобраћајницама — проблем београдског железничког чвора
- О кваровима коловоза на београдским улицама
- Осврт на Закон о безбедности саобраћаја на путевима
- Нови доктори техничких наука из области путоградње у Хрватској (Александар Клеменчић и Дражен Тополник)
- Мр Петар Митровић успешно одбранио магистарски рад
- Симпозијум о истраживањима и санацији клизишта
- Грађевински факултет (нове књиге)
- Шта очекивати у наредних пет година
- Збијање асфалта помоћу вибрација
- Комисија за пројектовање путева

- Одржана XXV редовна годишња скупштина Друштва за путеве Србије
- Делатности одржавања ауто-пута
- Изградња ауто-пута „Братско—јединство“ Караванке—Ђевђелија кроз Србију
- Поступак одређивања прелазница према новом правилнику
- Контрола збијености ситнозрних прашинастих и глиновитих земљаних материјала на основу одређивања процента заосталих пора испуњених ваздухом
- Проблем развоја путева у СР Србији у средњерочном планском периоду 1981—1985. г.
- Приказ путне мреже међуопштинске регионалне заједнице — Краљево
- Методолошки и технолошки поступци савременог пројектовања путева
- Грађевинска радна организација „Ратко Митровић“ домаћин XXV скупштине Друштва за путеве Србије

Радоје Аћимовић
Вићентије Капларевић,
А. Цветановић и др.
Мр Слободан Цмиљанић

Бранислав Крسمановић
Војислав Вајда

Др Здравко Јоксић

Број 7—8

Војислав Вајда
Др Здравко Јоксић,
Проф. Јован Шутић
Проф. Мирослав Марковић
Проф. Драгољуб Мацура
Др Љубиша Кузовић

Мр Војо Аћус
Јован Катанић
Проф. Живорад Ђукић

Милан Миливојевић
Миодраг Шилак
Владета Миловановић

Др Здравко Јоксић

Др Миодраг Обрадовић
Предраг Брауновић
Стеван Гагић

Милорад Терзић
Милорад Терзић
Др Здравко Јоксић

Број 9—10

Др Исак Папо
Михаило Даниловић и
Бранислав Крسمановић
Љубиша Станојевић

Миленко Петровић
Светислав Стојановић
Др Душан Светел,
Миодраг Гранжан
Др Здравко Јоксић
Предраг Брауновић
Владета Миловановић
Мр Владимир Раичковић
Др Здравко Јоксић
Др Душан Светел

Број 11—12

Др Драгорад Дамњановић
Владимир Буђевац
Др Бранимир Ујдур
Жељко Швабе
Славко Месарић
Александар Форцан
Др Бранимир Ујдур
Илија Томашевић
Др Здравко Јоксић

Кале Борис
Предраг Брауновић

Проф. Мирослав Марковић
Проф. Живорад Ђукић
Миодраг Перајић
Бранислав Војиновић

Др Миодраг Обрадовић
Вићентије Капларевић
Војислав Вајда

— Искуства из праксе дробљења и просејавања каменог материјала
— Одржано саветовање о одржавању путева у зимском периоду

— Закључци симпозијума о примени каменних материјала у коловозним констукцијама
— Активност секције за аеродроме
— Оснивачка скупштина Друштва за путеве Косова
— Извештај за VII седнице председништва Друштва за путеве Србије
— XI Конгрес Савеза друштава за путеве Југославије одржаће се 1982. у Загребу

— Двадесет седам година часописа „Пут и саобраћај“
— Поводом специјалног броја

— Развојне етапе у области пројектовања путева у нас, тешкоће и стечена искуства
— Трасирање и пројектовање првог дела Ибарског пута
— Саобраћајни токови и економски показатељи као критеријуми у оптимизирању пројеката и одлука о грађењу путева
— Увођење електронске обраде података у процесу пројектовања путева
— Градски ауто-пут у Београду
— Развој радних организација Србије за грађење путева у периоду од 1955. до 1980. год.
— Тридесетпет година развоја технологије грађења путева
— Грађевински радови на саобраћајницама у Србији после II светског рата
— Путна привреда СР Србије без аутономних покрајина у периоду од 1955. до 1980. год.
— Контрола квалитета, организација испитивања и научноистраживачки рад у периоду од 1955. до 1980. год.
— Опитне леонице у Србији
— Развој лабораторијског рада на путевима у Војводини
— Значај путева и аеродрома у општеном одбрамбеном рату и допринос ЈНА у њиховој изградњи
— Изградња аеродрома у Југославији
— Критички осврт на грађевинску регулативу из области путоградње и саобраћаја
— Преглед објављених радова у часопису „Пут и саобраћај“ у периоду 1975. до 1981. године

— Продирање мрза у тло
— Тврдоливени асфалт—савремени материјал за израду коловоза високог квалитета

— Превози вангабаритних терета и њихов утицај на проточност и безбедност саобраћаја
— Бетон цементнобетонских коловоза
— Непопуларна путарина враћа саобраћај са новог пута на стари
— Коловозни застори и хидроизолације на путним мостовима у Србији

— Савремени поступци обнове и санације оштећења асфалтних застора
— Згура из високих пећи у комплексној стабилизацији кречњачког агрегата
— Ибарски пут—одраз политике путне привреде СР Србије
— Нумерички модел земљишних облика и могућност његове примене
— Исак Папо успешно одбранио докторску дисертацију
— Одржан међународни симпозијум о одржавању објеката на путевима у Паризу

— Утицај елемената пута на брзину у слободном току
— Настављена изградња ауто—пута Братство—јединство кроз СР Србију
— Веза између процеса настајања колотрага и пузања код асфалтних мешавина
— Неткани текстил на ауто-путу Ивања река—Липовљани
— Инверзна фотограметрија
— Изворишта локалних грађевинских материјала
— Актуелни проблеми у пројектовању саобраћајница у новим насељима
— Грађење и одржавање путева у периоду од 1920. до 1960. године
— Завршен пројект „Истраживање оптималних димензија и структура коловозних конструкција ауто-пута зависно од величине саобраћаја и спољних услова“
— Градња путева у прошлости
— Концепт петогодишњег програма истраживања шведског националног Института за путеве и саобраћај
— Речник стручних израза из области путева и аеродрома
— Енглеско-српскохрватски грађевински речник
— Саобраћајна психологија
— Међународно удружење лабораторија за истраживање и испитивање материјала RILEM
— Драгорад Дамњановић успешно одбранио докторску дисертацију
— In memoriam (Миодраг Јовановић, дипл. инж.)
— Извештај са IX и X седнице Председништва Друштва за путеве Србије

