

ПРИМЕНА КЛАСИФИКАЦИЈЕ БИТУМЕНА ПРЕМА МЕТОДОЛОГИЈИ SUPERPAVE У СРБИЈИ

мр Горан Младеновић¹,
Ивана Кнежевић¹,
Драган Ђукић²,
Александар Ђурековић¹

Научни рад

Резиме: У раду је представљен поступак за класификацију битумена према методологији SUPERPAVE, у зависности од највиших и најнижих пројектних температура коловоза. Развијене су мапе за територију Србије за различите нивое поузданости, које указују на карактеристике везива које треба да се примени у појединим климатским подручјима и на саобраћајницама које припадају различитим функционалним категоријама. У раду су такође приказани и резултати првих испитивања реолошких карактеристика немодификованих и модификованих битумена који се примењују у Србији и закључено је да БИТ 60 задовољава у погледу услова примене на високим температурама за највећи део територије Србије и да је примена модификованих битумена оправдана само на изузетно оптерећеним саобраћајницама, или саобраћајницама са успореним саобраћајем.

Кључне речи: испитивање битумена, реолошке карактеристике, SUPERPAVE, PG класификација, највиша пројектна температура коловоза, најнижа пројектна температура коловоза.

APPLICATION OF THE BITUMEN CLASSIFICATION ACCORDING TO SUPERPAVE METHODOLOGY IN SERBIA

Goran Mladenović, M.Sc. CE
Ivana Knežević
Aleksandar Đureković
Civil Engineering Faculty, Belgrade
Dragan Đukić
Weather Bureau of the Republic of Serbia

Scientific paper

Abstract: The paper presents new methodology for testing of rheological properties of bitumen and

SUPERPAVE PG classification of bitumen based on maximum and minimum pavement design temperatures. The maps of Serbia with PG classification for different reliability levels were developed that present characteristics of bitumen that are needed for different climatic regions and different road functional classes. Paper also presents the first results of rheological tests on unmodified and modified binder used in Serbia. It was concluded that BIT 60 satisfies for high pavement design temperatures for most of Serbia and that use of modified bitumen is justified only on heavily trafficked roads or roads with slow traffic.

Key words: bitumen testing, performance based characteristics, SUPERPAVE, PG classification, maximum pavement design temperature, minimum pavement design temperature.

УВОД

Потреба за бољим разумевањем понашања асфалтних мешавина у фази експлатације резултирала је развојем метода за испитивање реолошких карактеристика битумена које су уобличене у систем SUPERPAVE која се примењује у Америци последњих десетак година, а ове методе чине и основу за другу генерацију хармонизованих Европских норми за испитивање битумена чије се усвајање очекује у наредном периоду.

Главни циљ система SUPERPAVE био је да се дефинишу карактеристике везива и агрегата и њихов оптималан однос, на основу којих се може предвидети понашање битуменом везаних материјала у слојевима коловозне конструкције у фази експлоатације, као и да се развију поуздани поступци за мерење тих карактеристика и модели за предвиђање развоја оштећења. Његова предност у односу на до сада примењиване поступке је у испитивању и повезивању реолошких карактеристика битумена и асфалтних мешавина са понашањем коловозне конструкције у фази експлоатације. У оквиру SUPERPAVE-а развијени су потпуно нови технички услови за материјале који се користе за израду битуменом везаних слојева коловозне конструкције, одговарајућа опрема и методе испитивања, модел за прорачун стања и деформација, као и модел за предвиђање понашања коловозне конструкције у фази експлоатације. Сви ови елементи интегрисани су у одговарајући програмски пакет.

Кратак приказ методологије SUPERPAVE за испитивање битумена

Карактеристике битумена које су заступљене у

¹ Грађевински факултет, Београд

² Републички хидрометеоролошки завод Србије

овим техничким условима су дефинисане тако да се односе на сваки вид оштећења коловозних конструкција посебно, узимајући у обзир сам механизам настајања оштећења и улогу везива у том процесу. Нови захтеви за везиво се заснивају на климатским условима на подручју где ће асфалтна мешавина бити уграђена. Стога су критеријуми које везиво мора да задовољи непроменљиви; променљива је само температура на којој оно треба да задовољи дате критеријуме и она зависи од климе и од вида оштећења које се разматра.

Новим техничким условима захтева се испитивање оригиналног, краткотрајно и дуготрајно остарелог везива. Краткотрајним старењем се симулира старење битумена за време производње и уградње асфалтне мешавине и оно се обавља помоћу "rolling thin film oven test"-а (RTFOT, AASHTO T240; ASTM D2872). Дуготрајним старењем битумена се симулира старење у првих 5 до 10 година

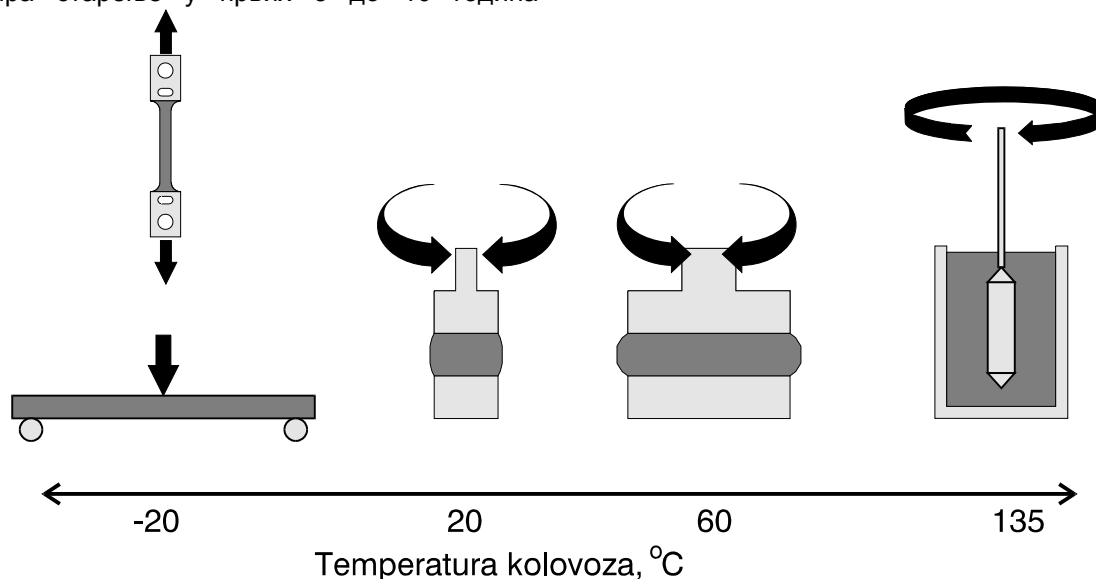
експлоатације, и оно се постиже додатним старењем везива у посуди за старење под притиском (Pressure Aging Vessel-PAV, AASHTO R28, ASTM D6521).

Сет опита дефинисан у оквиру методе SUPERPAVE укључује:

1. Одређивање модула смицања и фазног угла
2. Одређивање крутости на ниским температурама
3. Одређивање динамичког вискозитета.

При томе је врло значајно на којој се температури испитивање врши и на ком везиву, новом, краткотрајно или дуготрајно остарелом.

На слици 1 су приказани основни опити и температуре при којима се они изводе, док табела 1 приказује основне услове извођења опита према методологији SUPERPAVE.



Слика 1: Основна испитивања битумена у систему SUPERPAVE (1)

Табела 1. Услови за извођење опита према техничким условима SUPERPAVE

Оригинално/ остарело везиво	Тип оштећења	Параметар	Температура	Уређај
Оригинално	Уградљивост	Вискозитет η	135 °C	RV
	Колотрази	$G^* / \sin \delta$	Просечна 7-дневна највиша температура коловоза - max T	DSR
Краткотрајно остарело RTFOT	Колотрази	$G^* / \sin \delta$		DSR
Дуготрајно остарело PAV	Пукотине услед замора	$G^* \sin \delta$	$(\max T + \min T)/2 + 4$	DSR
	Термичке пукотине	S (t), m(t)	Минимална температура коловоза - min T	BBR, DT

Поред претходних опита, новим техничким условима је прописан и критеријум за тачку паљења битумена због обезбеђења безбедности током производње асфалтне мешавине и за губитак масе након краткотрајног старења битумена.

Performance Grade (PG) класификација битумена

Технички услови за битумен се првенствено базирају на крутости, како остарелог, тако и оригиналног везива, измереној при специфичној комбинацији трајања оптерећења и температуре и односе се и на модификоване и на немодификоване битумене. Изабране су температуре сагласно околини у којој ће везиво бити уграђено. Према томе, врста везива се бира на основу највише и најниже пројектне температуре коловозне конструкције. Највиша пројектна температура коловоза је просечна вредност највише дневне температуре коловоза током најтоплијих седам узастопних дана у години. Најнижа пројектна температура коловоза је једнака апсолутно најнижој температури коловоза током године.

Према овој класификацији битумени се означавају са:

PG x-y

где је:

PG ознака класе битумена (Performance Grade)

x пројектна највиша температура коловоза

y пројектна најнижа температура коловоза.

Подела битумена на класе, зависно од највиших и најнижих пројектних температура коловоза је дата у табели 2.

У оквиру температурних режима приказаних у табели 2 обухваћени су сви режими који могу бити у експлоатацији на путевима у САД и Канади, као и два екстремно топла режима (76 и 82 °C) који репрезентују класе везива које се могу користити за испитивања са статичким или слабо покретним оптерећењем. Ови температурни режими обухватају у потпуности и климатске карактеристике Србије.

Температуре коловоза на различитим географским подручјима и на различитим дубинама могу се срачунати помоћу алгорита који је развијен у оквиру програма SUPERPAVE, или се могу добити и из неког другог извора, и о томе ће бити речи у наредном делу овог рада. Табела 3 приказује извод из спецификација за путне битумене према методологији SUPERPAVE.

Табела 2. Класе битумена према највишим и најнижим температурама коловоза

Највиша температура		Најнижа температура	
Температура (°C)	Ознака класе битумена	Температура (°C)	Ознака класе битумена
<82	82	>-10	-10
<76	76	>-16	-16
<70	70	>-22	-22
<64	64	>-28	-28
<58	58	>-34	-34
<52	52	>-40	-40
<46	46	>-46	-46
		>-52	-52

Табела 3. Извод из спецификација за битумен по методи SUPERPAVE

Карактеристика	Врста битумена																														
	PG 52				PG 58				PG 64																						
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-58	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52							
Просечна 7-дневна највиша температура коловозне конструкције (°C)	<52																														
Најнижа пројектна температура коловозне конструкције (°C)	>-10																														
ОРИГИНАЛНИ БИТУМЕН																															
Тачка паљења, AASHTO T48, (°C, најмање)	230																														
Вискозитет, AASHTO T316, Max 3 Pa.s, температура испитивања (°C)	135																														
Динамичко смицање AASHTO T315: G*/sin δ, најмање 1.00 kPa, температура испитивања @ 10 rad/s, (°C)	52																														
КРАТКОТРАЈНО ОСТАРЕЛО ВЕЗИВО - БИТУМЕН након RTFOT (AASHTO T240)																															
Губитак масе, AASHTO T240 (% највише)	1.0																														
Динамичко смицање AASHTO T315: G*/sin δ, најмање 2.20 kPa, температура испитивања @ 10 rad/s, (°C)	52																														
ДУГОТРАЈНО ОСТАРЕЛО ВЕЗИВО - БИТУМЕН након PAV (AASHTO R28)																															
Температура старења у PAV (°C)	90																														
Динамичко смицање AASHTO T315: G*/sin δ, највише 5000 kPa, температура испитивања @ 10 rad/s, (°C)	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	10	7			
Физичко очвршћавање:																															
Крутоост при течењу, AASHTO T313: S, највише, 300 MPa, m-вредност, највише, 0.30, температура испитивања @ 60 s, (°C)	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36
Директно затезање, AASHTO T314: Дилатација при лому, minimum 1.0 %, температура испитивања @ 1.0 mm/min, (°C)	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36

ПРОРАЧУН МЕРОДАВНИХ ТЕМПЕРАТУРА КОЛОВОЗА НА ОСНОВУ ТЕМПЕРАТУРА ВАЗДУХА

Прорачун температура према SHRP методологији

У оквиру Стратешког програма истраживања у области путева (Strategic Highway Research Program – SHRP), развијен је поступак за одређивање пројектних температура коловоза на основу података о температурама ваздуха. За прорачун највише температуре коловоза користи се просечна седмодневна највиша температура

$$1331 \cdot \alpha \cdot \tau_a \frac{1}{\cos Z} \cdot \cos Z + \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 - h_c \cdot (T_s - T_a) - 164 \cdot k - \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_s^4 = 0$$

где је:

α – коефицијент апсорпције површине коловоза

τ_a – коефицијент простирања топлоте за ваздух

Z – географска ширина – приближно 20°

ε_a – коефицијент емисије топлоте површине коловоза

σ – Stefan-Boltzman-ова константа, $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

h_c – површински коефицијент простирања топлоте, $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$

k – коефицијент термичке проводљивости, $\text{W/m} \cdot \text{C}$

T_a – температура ваздуха, $^\circ\text{K}$

T_s – температура површине коловоза, $^\circ\text{K}$.

$$T_s = T_a - 0,00618 \cdot \phi^2 + 0,2289 \cdot \phi + 24,4$$

где је:

T_s – температура површине коловоза, $^\circ\text{C}$

T_a – температура ваздуха, $^\circ\text{C}$

ϕ – географска ширина, степени.

Као пројектна дубина за прорачун највише температуре коловоза у систему SUPERPAVE усвојена је дубина од 20 mm испод површине слоја. То се односи и на застор и на горњу

$$T_{d(\max)} = [T_{s(\max)} + 17,8] \cdot [1 - 2,48 \cdot 10^{-3} \cdot d + 1,085 \cdot 10^{-5} \cdot d^2 - 2,441 \cdot 10^{-8} \cdot d^3] - 17,8$$

где је:

d – дубина мерена од површине застора, mm

$T_{d(\max)}$ – температура коловоза на дубини d , $^\circ\text{C}$

$T_{s(\max)}$ – температура површине коловоза, $^\circ\text{C}$.

Највиша температура коловоза при одређеном нивоу поузданости већем од 50 % зависи од варијације највише температуре ваздуха и дата је изразом:

$$T_{d(\max)} = T_{d(\max)} + z \cdot \sigma_a$$

$$T_d(\min) = T_s(\min) + 5,1 \cdot (10^{-2}) \cdot d - 6,3 \cdot (10^{-5}) \cdot d^2$$

ваздуха током године, док се за прорачун најниже температуре коловоза користи најнижа температура ваздуха током године. При том се претпоставља се да је температура површине коловоза једнака најнижој температури ваздуха.

Највиша пројектна температура према SHRP-у

Прорачун температуре површине коловоза на основу највише температуре ваздуха врши се помоћу једначине која се заснива на теоријском билансу енергије на површини застора коловозне конструкције (1):

Прорачуни највише температуре коловоза изведени су за сунчане дане, и подразумевају температурну разлику од 8°C између температуре на површини коловоза и температуре на дубини од 50 mm и уз следеће вредности параметара:

$$\tau_a = 0,80 \quad \alpha = 0,90 \quad k = 1,38 \text{ W/m}^\circ\text{C} \quad \varepsilon_a = 0,90 \quad h_c = 19,88 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$$

У циљу поједностављења прорачуна, може се користити и следећи израз (2):

подлогу, тако да се при прорачуну пројектне температуре за горњу подлогу мора водити рачуна и о дебљини застора.

Највиша температура коловоза на датом дубини за ниво поузданости од 50 % срачунава се из израза:

где је:

z – параметар стандардне нормалне расподеле

σ_a – стандардна девијација.

Најнижа пројектна температура према SHRP-у

У овој методологији се подразумева да је најнижа пројектна температура површине коловоза једнака најнижој температури ваздуха током године. Најнижа пројектна температура коловоза на дубини d се срачунава из израза:

где је:

d – дубина мерена од површине застора, mm

$T_{d(\min)}$ – температура коловоза на дубини d , °C

$T_{s(\min)}$ – температура површине коловоза, °C.

ИЗБОР ВЕЗИВА ПРЕМА LTPP МЕТОДОЛОГИЈИ

Long Term Pavement Performance (LTPP) је експеримент који је обухватао дуготрајно праћење понашања више од 1000 деоница на путевима, примарно у САД, али и у Канади и у европским државама. На основу обраде података развијени су различити модели који су коришћени између осталог и за калибрацију новог AASHTO Упутства за димензионисање коловозних конструкција. Тако је развијен и модел за прецизније одређивање PG-а, у односу на модел који је дефинисан по SHRP-у.

У оквиру SHRP методологије најнижа температура ваздуха сматра се и најнижом температуром површине коловоза што представља грубу процену. На основу резултата анализе података о деоницама у оквиру експеримента LTPP добијено је да су најниже

$$T_d(\max) = 54,32 + 0,78 \cdot T_a - 0,0025 \cdot \phi^2 - 15,14 \cdot \log_{10}(d + 25) + z \cdot (9 + 0,61 \cdot \sigma_a^2)^{1/2}$$

где је:

T_d – највиша температура коловоза испод површине коловоза, °C

T_a – највиша температура ваздуха, °C

ϕ – географска ширина, степени

d – дубина мерена од површине коловоза, mm

σ_a – стандардна девијација просечне седмодневне највише температуре ваздуха, °C

z – параметар стандардне нормалне расподеле.

Последњи члан у овој једначини представља грешку која је повезана са несигурношћу у

$$T_d(\min) = -1,56 + 0,72 \cdot T_a - 0,004 \cdot \phi^2 + 6,26 \cdot \log_{10}(d + 25) - z \cdot (4,4 + 0,52 \cdot \sigma_a^2)^{1/2}$$

где је:

T_d – најнижа температура коловоза испод површине, °C

T_a – најнижа температура ваздуха, °C

ϕ – географска ширина, степени

d – дубина мерена од површине коловоза, mm

σ_a – стандардна девијација средње најниже температуре ваздуха, °C

z – параметар стандардне нормалне расподеле.

Последњи члан у једначини представља грешку, као и у једначини за израчунавање највише температуре коловоза. Разлика је у томе што се овде овај члан одузима тако да са повећањем нивоа поузданости опада најнижа пројектна температура коловоза.

температуре коловоза и до 13 °C више од најниже температуре ваздуха, при чему су разлике веће при нижим температурама ваздуха. Највиша температура коловоза према LTPP-у се генерално слаже са највишом температуром коловоза према SHRP-у, све до температуре ваздуха од око 35 °C. При вишим температурама ваздуха добијају се ниже температуре коловоза по LTPP-у. Најнижа температура PG-а, према LTPP-у, је за једну или две класе виша од температуре изабране по SHRP-у. Разлике су значајније за PG -34 и ниже класе. Највиша температура PG-а, према LTPP-у је иста као и по SHRP-у до класе PG 52, а за више температуре је за једну класу нижа од температуре изабране по SHRP-у. Ови закључци се односе на поузданост од 50 %, а за веће нивое поузданости однос ових температура примарно зависи од варијација екстремних температура ваздуха на датом подручју.

Највиша пројектна температура према LTPP-у

Највиша пројектна температура коловоза добијена на основу анализе података LTPP-а дата је следећим изразом (3):

предвиђању тачне температуре коловоза. Нетачност произилази из средње температуре ваздуха и самог модела. Овај члан се додаје изразу, што повећава највишу пројектну температуру коловоза са повећањем нивоа поузданости.

Најнижа пројектна температура према LTPP-у

Најнижа пројектна температура коловоза добијена на основу анализе података LTPP-а дата је следећим изразом (3):

МАПЕ СРБИЈЕ СА КЛАСИФИКАЦИЈОМ БИТУМЕНА ПРЕМА SUPERPAVE-У

За територију Србије су на основу 30-годишњег низа података о максималним и минималним температурама ваздуха развијене на основу претходних израза мапе за обе методологије, SHRP и LTPP, и за нивое поузданости од 50, 90, 95 и 98 %.

Подаци о температурама ваздуха били су расположиви за 29 метеоролошких станица на територији Србије. Резултати прорачуна највиших и најнижих пројектних температура коловоза за ових 29 локација приказани су у табелама 4 и 5. Већина метеоролошких станица

се налази у урбаним подручјима, што може имати утицаја на благо повећање добијених меродавних максималних и минималних температура коловоза у односу на околна рурална подручја. Међутим, с обзиром да је распон максималних температура између

појединих класа везива према SUPERPAVE методологији 6 °С, велика је вероватноћа да су добијене реалне меродавне температуре коловоза, без обзира на микро локацију метеоролошких станица.

Табела 4. Пројектне најниже температуре коловоза за метеоролошке станице у Србији

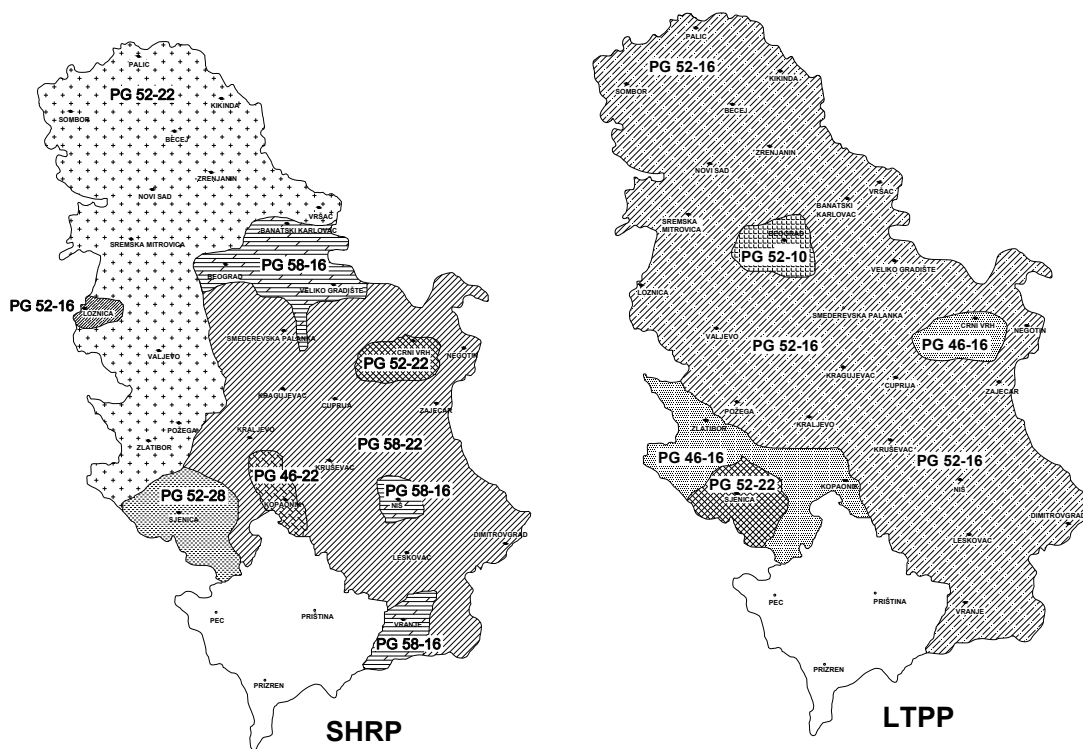
ЛОКАЦИЈА	SHRP				LTPP			
	Ниво поузданости (%)				Ниво поузданости (%)			
	50	90	95	98	50	90	95	98
Банатски Карловац	-15.8	-21.5	-23.1	-25.0	-12.3	-17.2	-18.6	-20.2
Београд	-11.8	-15.2	-16.2	-17.3	-9.3	-13.0	-14.0	-15.2
Бечеј	-17.3	-23.0	-24.7	-26.5	-13.6	-18.6	-20.0	-21.6
Ваљево	-16.1	-21.8	-23.4	-25.2	-12.3	-17.2	-18.5	-20.1
Велико Градиште	-15.4	-20.4	-21.8	-23.4	-11.9	-16.4	-17.7	-19.1
Врање	-15.7	-20.5	-21.9	-23.4	-11.3	-15.7	-17.0	-18.4
Вршац	-17.2	-22.6	-24.2	-25.9	-13.4	-18.1	-19.5	-21.0
Димитровград	-17.2	-22.2	-23.7	-25.3	-12.6	-17.1	-18.4	-19.8
Зајечар	-18.3	-23.8	-25.4	-27.1	-13.7	-18.5	-19.8	-21.4
Златибор	-16.8	-19.5	-20.3	-21.1	-12.6	-15.9	-16.8	-17.9
Зрењанин	-16.8	-22.4	-24.0	-25.7	-13.1	-18.0	-19.4	-20.9
Кикинда	-16.1	-21.7	-23.3	-25.0	-12.8	-17.6	-19.0	-20.6
Копаоник	-19.6	-22.7	-23.6	-24.6	-14.4	-17.9	-18.9	-20.0
Крагујевац	-16.5	-21.5	-22.8	-24.4	-12.5	-16.9	-18.2	-19.6
Краљево	-16.1	-20.6	-21.9	-23.3	-12.0	-16.2	-17.4	-18.8
Крушевац	-17.4	-22.7	-24.2	-25.8	-12.9	-17.6	-18.9	-20.4
Лесковац	-18.1	-24.2	-25.9	-27.8	-13.2	-18.4	-19.8	-21.5
Лозница	-14.1	-18.0	-19.2	-20.4	-10.9	-14.8	-15.9	-17.2
Неготин	-17.4	-23.4	-25.1	-27.0	-13.1	-18.2	-19.7	-21.3
Ниш	-14.2	-18.9	-20.2	-21.7	-10.5	-14.9	-16.1	-17.5
Нови Сад	-17.3	-23.2	-24.8	-26.7	-13.5	-18.5	-19.9	-21.5
Палић	-15.5	-20.7	-22.2	-23.8	-12.5	-17.1	-18.4	-19.9
Пожега	-19.1	-24.3	-25.8	-27.5	-14.2	-18.9	-20.2	-21.7
Сјеница	-25.4	-31.6	-33.3	-35.3	-18.6	-23.8	-25.3	-26.9
Смедеревска Паланка	-17.0	-22.6	-24.2	-26.0	-13.0	-17.8	-19.2	-20.7
Сомбор	-17.7	-23.6	-25.3	-27.1	-13.9	-19.0	-20.4	-22.0
Сремска Митровица	-16.5	-22.4	-24.0	-25.9	-12.8	-17.8	-19.3	-20.9
Ђуприја	-17.2	-22.6	-24.2	-25.9	-12.9	-17.7	-19.0	-20.5
Црни Врх	-17.6	-20.9	-21.8	-22.9	-13.3	-16.9	-17.9	-19.0

Табела 5. Пројектне највише температуре коловоза за метеоролошке станице у Србији

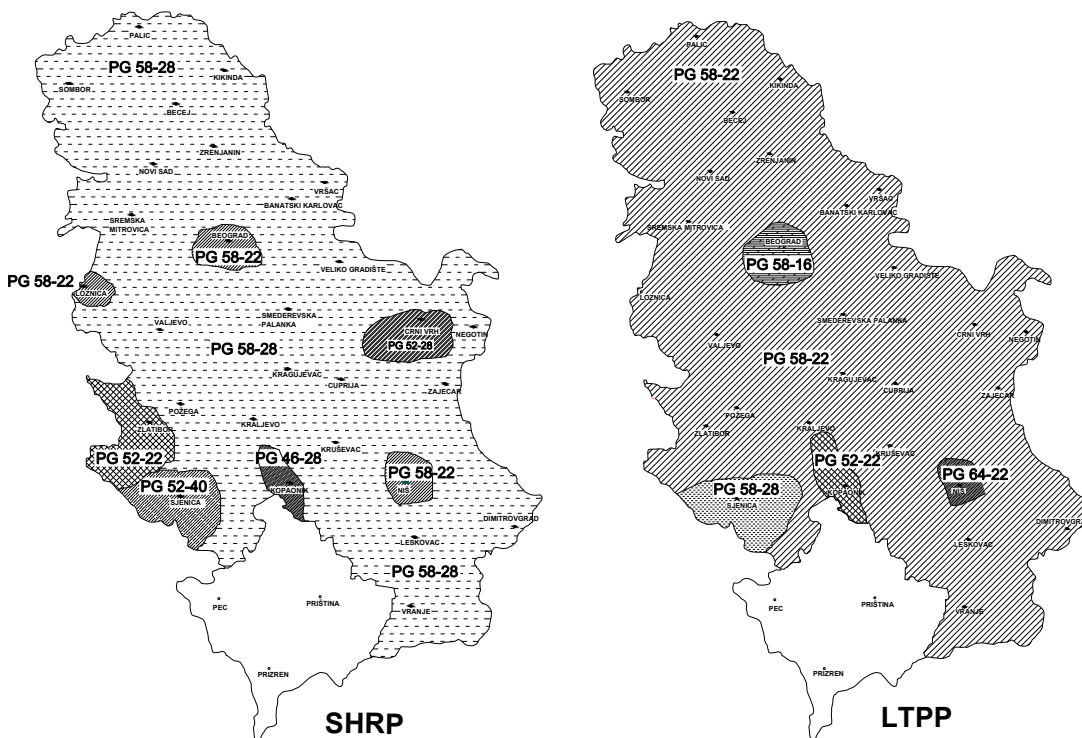
ЛОКАЦИЈА	SHRP				LTPP			
	Ниво поузданости (%)				Ниво поузданости (%)			
	50	90	95	98	50	90	95	98
Банатски Карловац	52.5	54.6	55.1	55.8	50.5	54.7	55.8	57.2
Београд	52.1	54.2	54.8	55.5	50.1	54.3	55.5	56.8
Бечеј	51.6	53.6	54.2	54.9	49.8	53.9	55.1	56.4
Ваљево	51.7	53.8	54.4	55.1	49.8	54.0	55.2	56.5
Велико Градиште	52.2	54.8	55.5	56.3	50.2	54.6	55.8	57.2
Врање	53.0	55.4	56.0	56.8	50.9	55.1	56.3	57.7
Вршац	51.5	53.7	54.4	55.1	49.7	53.9	55.1	56.4
Димитровград	52.1	54.5	55.1	55.9	50.1	54.4	55.6	56.9
Зајечар	53.2	55.8	56.5	57.4	51.0	55.4	56.6	58.0
Златибор	47.0	49.3	50.0	50.7	45.9	50.2	51.4	52.8
Зрењанин	51.6	53.6	54.2	54.9	49.7	53.9	55.1	56.4
Кикинда	51.4	53.4	53.9	54.6	49.6	53.7	54.9	56.2
Копаоник	41.9	44.0	44.6	45.2	41.8	45.9	47.1	48.5
Крагујевац	52.6	54.8	55.5	56.2	50.5	54.8	56.0	57.3
Краљево	52.3	54.7	55.3	56.1	50.3	54.6	55.8	57.1
Крушевац	52.8	55.2	55.9	56.6	50.7	55.0	56.2	57.5
Лесковац	53.3	55.7	56.4	57.2	51.1	55.4	56.6	58.0
Лозница	52.0	54.0	54.5	55.2	50.0	54.2	55.4	56.7
Неготин	52.7	55.2	55.9	56.7	50.7	55.0	56.2	57.5
Ниш	53.9	56.4	57.2	58.0	51.6	55.9	57.1	58.5
Нови Сад	51.4	53.6	54.2	54.9	49.6	53.8	55.0	56.3
Палић	51.1	53.2	53.8	54.4	49.4	53.5	54.7	56.1
Пожега	51.5	53.7	54.3	55.0	49.6	53.8	55.0	56.4
Сјеница	47.9	50.1	50.8	51.5	46.7	50.9	52.1	53.4
Смедеревска Паланка	52.5	54.7	55.3	56.0	50.4	54.7	55.8	57.2
Сомбор	51.6	53.9	54.5	55.2	49.7	54.0	55.2	56.5
Сремска Митровица	51.6	53.6	54.1	54.8	49.7	53.9	55.0	56.4
Ђуприја	53.2	55.7	56.5	57.3	51.0	55.3	56.6	58.0
Црни Врх	46.5	49.1	49.8	50.6	45.5	49.9	51.1	52.5

Вредности приказане у табелама 4 и 5 су код израде одговарајућих мапа заокружене на ниже односно више вредности у складу са класама битумена у погледу највиших и најнижих температура, приказаним у табели 2.

На слици 2 су приказане мапе урађене по SHRP и LTPP методологији за ниво поузданости од 50%, а на слици 3 су приказане исте мапе, али за ниво поузданости од 98%.



Слика 2. Мапе Србије са PG класификацијом везива за ниво поузданости од 50 %



Слика 3. Мапе Србије са PG класификацијом везива за ниво поузданости од 98 %

До сада су у Лабораторији за коловозне конструкције Грађевинског факултета извршена испитивања немодификованих и модификованих битумена који се примењују у Србији само за највише очекиване експлатационе температуре коловоза, с обзиром да Лабораторија још увек не

располаже са уређајем за дуготрајно старење битумена чиме би се омогућило и испитивање карактеристика дуготрајно остарелог везива на ниским температурама. Резултати испитивања битумена који се најчешће примењују у Србији дати су у табели 6.

Табела 6. Резултати класификације битумена у Србији према највишим температурама

Карактеристика	Јединица	Стандард	Врста битумена		
			ПмБ А (50/90с)	ПмБ Б (50/90с)	БИТ60
Оригинално везиво					
Температура при којој је: $G^*/\sin\delta=1.00\text{kPa}$	°C	AASHTO T315	81	74	65
Краткотрајно остарело везиво – RTFOT					
Температура при којој је: $G^*/\sin\delta = 2.20\text{kPa}$	°C	AASHTO T315	78	-	66
Класа битумена према SUPERPAVE-у			PG 76	PG 70	PG 64

УТИЦАЈ САОБРАЋАЈНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА И БРЗИНЕ ВОЗИЛА НА PG КЛАСИФИКАЦИЈУ ВЕЗИВА

За путеве са изузетно великим саобраћајним оптерећењем, или са успореним кретањем теретних возила врши се корекција и повећање највише температуре према PG класификацији како би асфалтна мешавина била у стању да поднесе ове екстремне захтеве у погледу саобраћајног оптерећења.

Када је саобраћајно оптерећење веће од 30×10^6 стандардних осовина од 80 kN, по SUPERPAVE-у се захтева повећање највише температуре примењеног битумена по PG класификацији за једну класу. Ова температура се такође повећава за једну класу ако се ради о успореном саобраћају (брзина од 20-70 km/h). Уколико је очекивана брзина кретања возила мања од 20 km/h, онда се највиша температура према PG класификацији повећава за две класе. Треба напоменути да се класа највише температуре може повећати или за брзину или за саобраћајно оптерећење, а не за оба параметра истовремено.

Што се тиче модула крутости везива, када се највиша температура по PG класификацији повећа за једну класу, модул крутости везива се повећава приближно дупло. То значи да ће везиво PG 70 имати два пута већи модул крутости од везива PG 64 на температури од 64 °C. Брзина, односно фреквенција оптерећења такође утиче на модул крутости везива. При брзини возила од 50 km/h везиво ће имати мањи модул крутости него за брзину од 100 km/h. Другим речима, асфалтна мешавина која садржи везиво класе PG 70 и има саобраћајно оптерећење које се креће брзином од 50 km/h имаће приближно исти модул крутости као и асфалтна мешавина која садржи везиво класе PG 64 и има истоветно саобраћајно оптерећење које се креће брзином од 100 km/h.

ЗАКЉУЧАК

Методологија SUPERPAVE представља сет савремених поступака за испитивање битумена, при чему се уводе у обзир реолошке карактеристике битумена од значаја за понашање асфалтне мешавине у фази експлатације и климатске карактеристике у подручју где ће она бити уграђена.

У раду је приказан развој мапа за територију Србије са минималним и максималним очекиваним температурама асфалтних слојева. Мапе су развијене на основу климатских података за 29 метеоролошких станица у Србији и дају индикацију о потребним карактеристикама битумена који се примењује на путевима у Србији. Међутим, с обзиром да се може очекивати даље побољшавање модела, ове мапе не треба схватити као коначне.

Прва испитивања најчешће примењиваних битумена БИТ 60 и ПмБ 50/90 указују да БИТ 60 задовољава у погледу највиших температура, што значи да коректно пројектоване асфалтне мешавине са овим везивом имају све предуслове да буду отпорне на трајне деформације на високим експлатационим температурама. На саобраћајницама са изузетно великим обимом саобраћаја, или са успореним саобраћајем, потребно је применити битумен са једном до две класе вишом максималном пројектном температуром према PG класификацији. Стога у тим условима има оправдања применити полимер-модификован битумен који мора задовољити услове за PG класу PG 70 или PG 76 и при томе се мора водити рачуна о избору оног типа полимер-модификованог битумена који задовољава одговарајућу класу према PG класификацији.

ЗАХВАЛНОСТ

Аутори рада желе да се захвале Републичком хидрометеоролошком заводу који је ставио на располагање климатске податке неопходне да би се урадила анализа приказана у овом раду.

ЛИТЕРАТУРА

1. **SHRP - A - 410: Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program**, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1994.
2. G.A. Huber. **Weather Data-base for the SUPERPAVE Mix Design System**, Report No. SHRP-A-648A, Strategic Highway Research Program, Washington D.C. 1994.
3. A.Mohseni, M.Symons. **Improved AC Pavement Temperature Models from LTPP Seasonal Data**, Transportation Research Board 77 th Annual Meeting , Washington, 1998.
4. A.Mohseni, M.Symons. **Effect of Improved LTPP AC Pavement Temperature Models on Superpave Performance Grades**, Transportation Research Board 77th Annual Meeting, Washington D.C ., 1998.
5. A. Mohseni, S.Carpenter, J. D'Angelo. **Performance Based Algorithm for the Selection of Superpave High-Temperature Performance grade (PG) for Asphalt Binders**, Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, 2005.