



Универзитет у Београду – Грађевински факултет
www.grf.bg.ac.rs

Студијски програм: **ГРАЂЕВИНАРСТВО**
Modul: **ЗА ПУТЕВЕ, ЖЕЛЕЗНИЦЕ И АЕРОДРОМЕ**
Година/Семестар: **IV година / VII семестар**

Назив предмета (шифра): **КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ (Б2С4КК)**

Наставник : **Горан Младеновић**

Наслов предавања: **Битумен и везива на бази битумена**

Датум : 08.10.2020.

Београд, 2020.

Сва ауторска права аутора презентације и/или видео снимака су заштићена. Снимак или презентација се могу користити само за наставу на даљину студента Грађевинског факултета Универзитета у Београду у школској 2020/2021 и не могу се користити за друге сврхе без писмене сагласности аутора материјала.

Везива за материјале у слојевима коловозних конструкција

- Врсте везива
 - Хидраулична (цемент)
 - **Угљоводонична (битумен)**
- Захтеви за угљоводонична везива у коловозној конструкцији:
 - Да се могу наносити у танким слојевима на радним температурама (прскање)
 - Да добро везују зрна минералног агрегата и да су стабилна у погледу температуре
 - Да заштите коловозну конструкцију од атмосфералија
 - Да споро старе
 - Да трошкови буду што нижи

Врсте угљоводоничних везива

- Битумен
 - Природни
 - Тринидад – језерски битумен
 - Бермудез, Венецуела
 - Албанија (Selenitza)
 - Добијен фракционом дестилацијом сирове нафте
 - Модификовани битумен
- Разређени битумен
- Битуменске емулзије
 - Катјонске
 - Анјонске
- Катран

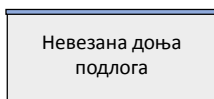


Примена угљоводоничних везива у коловозним конструкцијама

- Типови флексибилних коловозних конструкција у зависности од величине саобраћаја

Мали (лак) саобраћај

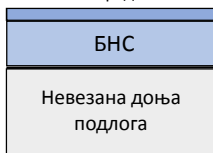
Површинска обрада



Постељица

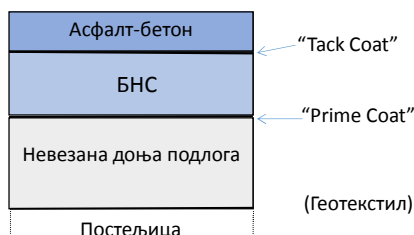
Средњи саобраћај

Танки АБ или површинска обрада



Постељица

Велики (тежак) саобраћај



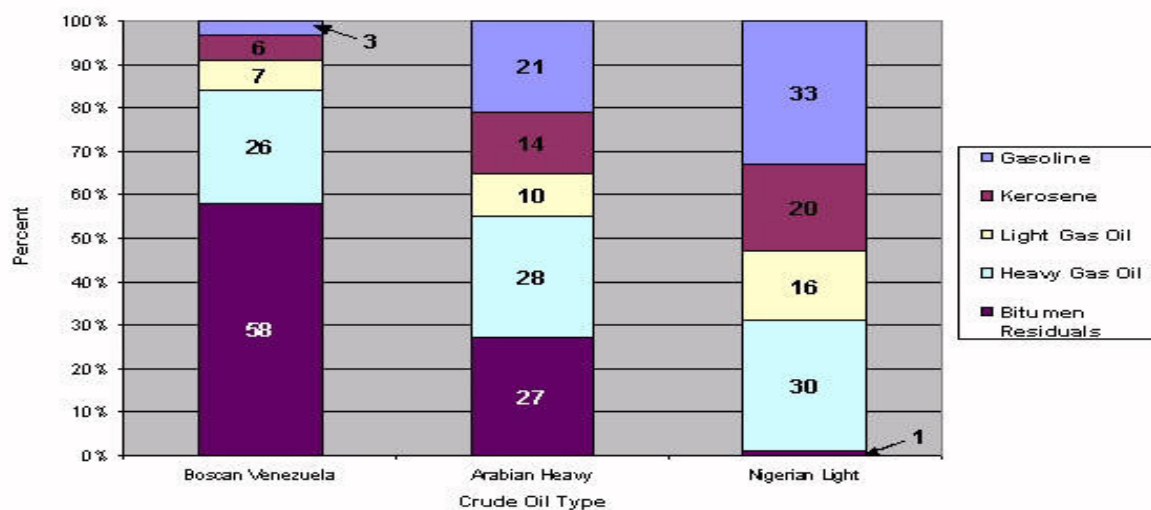
(Геотекстил)

Примена угљоводоничних везива у коловозним конструкцијама

- **Битумен** – везиво у асфалтним слојевима коловозне конструкције – Асфалт-бетон и битуменизирани носећи слој (БНС), Stone Mastix asphalt (SMA), ливени асфалт...
- **Битуменска емулзија или разређени битумен**
 - Површинска обрада
 - Prime Coat – заштита доње подлоге од неvezаног агрегата за време извођења радова (400 – 800 g/m² емулзије - ~ 200 – 500 g битумена)
 - Task Coat – веза између асфалтних слојева кк (200 – 400 g/m² емулзије - ~ 100 – 250 g битумена)
 - Асфалтне мешавине по хладном поступку

Састав сирове нафте

- Добија се фракционом дестилацијом сирове нафте



Хемијска структура битумена

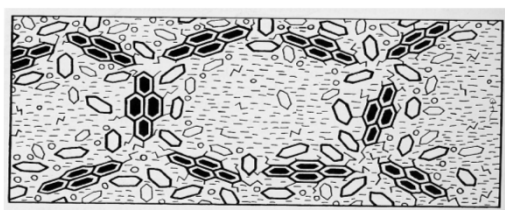
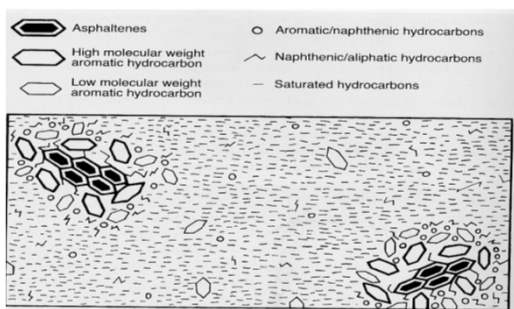
- Битумен спада у групу УГЉОВОДНИКА – једињења угљеника (С) и водоника (Н)
- Хемијски састав битумена:
 - Угљеник 80 – 88 %
 - Водоник 8 – 11 %
 - Сумпор 0 – 6 %
 - Кисеоник 0 – 1.5 %
 - Азот 0 – 1 %
 - Метали (ванадијум, никл, гвожђе,...)
- Физичке карактеристике битумена зависе од његовог хемијског састава и структуре

Хемијска структура битумена

- Тродимензионалне везе поларних молекула (асфалтени) дисперговане у флуиду слабо-поларних молекула (малтени – смоле и уља)
- **Асфалтени (5 – 25 % садржаја)**
 - Електростатичке, јаке и стабилне везе
 - Велике молекуларне масе
 - Дефинишу реолошке карактеристике битумена
- **Малтени – Смоле (55-75 %) и уља (5-25 %)**
 - Слабе везе
 - Мале молекуларне масе
 - Дефинишу осетљивост на промену температуре

Хемијска структура битумена

- Вискозитет пропорционалан молекуларној маси
- Вискозитет малтена дефинише вискозитет битумена, а повећава се са присуством асфалтена
- “Дувањем” битумена повећава се садржај асфалтена, па самим тим и крутост битумена



Оксидација битумена

- Оксидација има значајног утицаја на хемијску структуру битумена – мења ковалентне везе и повећава поларитет молекула
- Доводи до веће повезаности молекула што резултује повећаном крутошћу и кртошћу битумена
- Ниво повезаности молекула утиче на:
 - Осетљивост битумена у односу на температуру
 - Остељивост битумена у односу на напоне смицања

Зависност карактеристика битумена од температуре и оптерећења

- Вискозитет битумена зависи од температуре
- На **високим температурама** битумен је течан – мала вискозност. Последица је мала крутост битумена и асфалтних мешавина.
- На **ниским температурама** битумен се понаша као чврсто тело – велика вискозност. Последица је велика крутост битумена и асфалтних мешавина.
- Крутост битумена се смањује са трајањем оптерећења.

Битумен - физичке карактеристике

- Деформабилност битумена значајно утиче на карактеристике асфалтних мешавина:
 - Мек битумен - који се лако деформише и тече, утиче на стварање **колотрага** и испливавање битумена на површини коловоза
 - Сувише крут битумен утиче на стварање **пукотина услед замора и термичких пукотина** на површини коловоза

Утицај битумена на деформабилност асфалтних мешавина

- Колотрази



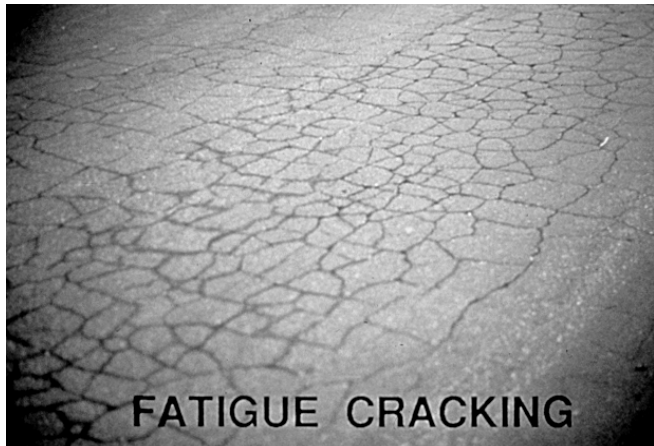
Утицај битумена на деформабилност асфалтних мешавина

- Испливавање битумена



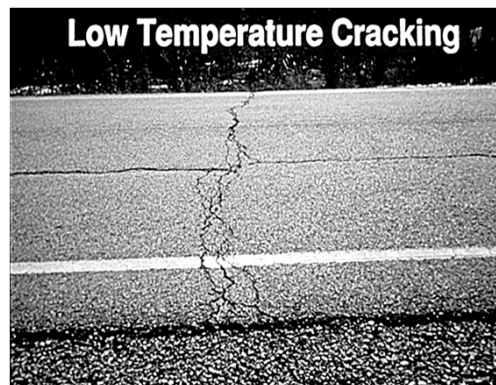
Утицај битумена на деформабилност асфалтних мешавина

- Пукотине услед замора



Утицај битумена на деформабилност асфалтних мешавина

- Термичке и блок пукотине

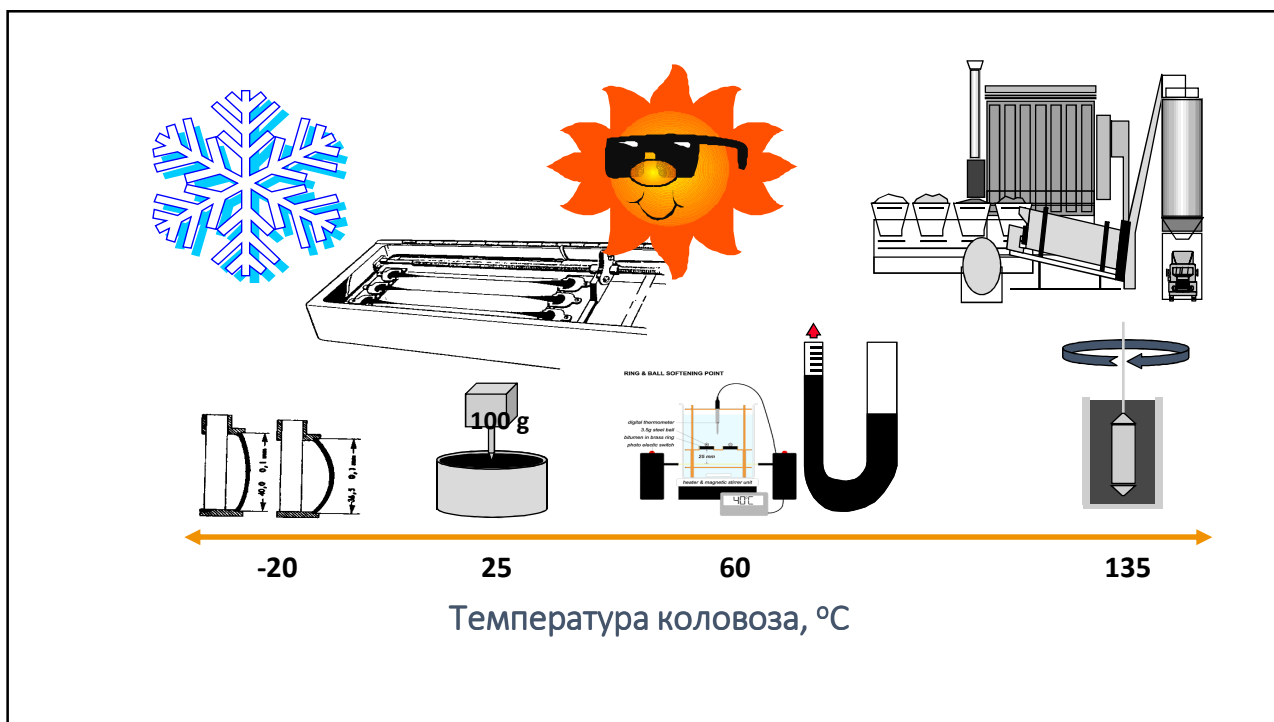


Основне карактеристике битумена

- Конзистенција
 - Емпиријска испитивања
 - Одређивање реолошких карактеристика
- Температурна осетљивост
- Стабилност
- Прионљивост
- Чистоћа

Конзистенција битумена Емпиријска испитивања

- Одређивање реолошких својстава - одређивање температуре на којој битумен има одређену вискозност
 - Тачка размекшавања по ПК – горња граница температурног интервала примене битумена
 - Пенетрација (25 °C)
 - Тачка лома по Fraass-у – доња граница температурног интервала примене битумена
 - Дуктилитет (25 °C)



Битумен – Стандардна испитивања

• Температурна осетљивост битумена

- Промена особина са променом температуре
- Индекс пенетрације (ИП)
 - Тачка размекшавања по ПК
 - Пенетрација
- Већи индекс пенетрације \Rightarrow мања промена вискозности битумена са температуром

Битумен – Стандардна испитивања

• *Стабилност битумена*

- При производњи асфалтне мешавине $t \approx 160\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Испаравање лаких састојака – губитак масе
 - Оксидација битумена
 - Промена карактеристика
 - Повећање тачке размекшавања
 - Смањење пенетрације
 - Повећање тачке лома по Frass-у
 - Смањење растегљивости
- Испитивање – загревање на $163\text{ }^{\circ}\text{C}$ током одређеног периода
 - Смањење пенетрације
 - Повећање тачке размекшавања
 - Повећање тачке лома по Frass-у
 - Полимер-модификовани битумен – разлика у тачки размекшавања или пенетрацији дела узорака

Битумен – Стандардна испитивања

• *Прионљивост битумена*

- Прионљивост за камени агрегат
- Ако није задовољавајућа – ДОП, креч
 - Проблем се најчешће јавља са агрегатом силикатног порекла - хабајући слојеви за тешко саобраћајно оптерећење
 - Са кречњачким агрегатом је најчешће веза добра

• *Чистоћа битумена*

- Растворљивост битумена у органским растварачима
 - Угљен-тетрахлорид CCl_4 (SRPS B.H8.617)
 - Толуен или ксилен (SRPS EN 12592)
- Садржај пепела



Испитивање компоненталних материјала - Битумен

- **Технички услови (хармонизовани европски стандарди)**
 - SRPS EN 12591:2013 – обичан, немодификован битумен
 - SRPS EN 14023:2013 – полимер-модификован битумен
 - SRPS EN 13808:2013 – катјонске битуменске емулзије
 - SRPS EN 13924-1:2017 – тврди битумени за путеве
 - SRPS EN 13924-2:2014 – вишеградни битумени за путеве
 - SRPS EN 15322:2013 – разређени битумен
- **Методe за испитивање састава асфалтне мешавине**
 - Емпиријске карактеристике – Битумен или полимер-модификовани битумен
 - Пенетрација или $T_{пк}$ (SRPS EN 1426 или SRPS EN 1427)
 - Вискозитет (SRPS EN 12595 или SRPS EN 12596) – за меке асфалте
- Примењују се у земљама ЕУ од **01.01.2002.** год.
- СЕ означавање од 1.1.2010. године, а обавезно од 1.1.2011. године

Битумен – Спецификације

- SRPS U.M3.010/1975 (Србија – старе спецификације, повучен стандард, тренутно се ретко примењује)

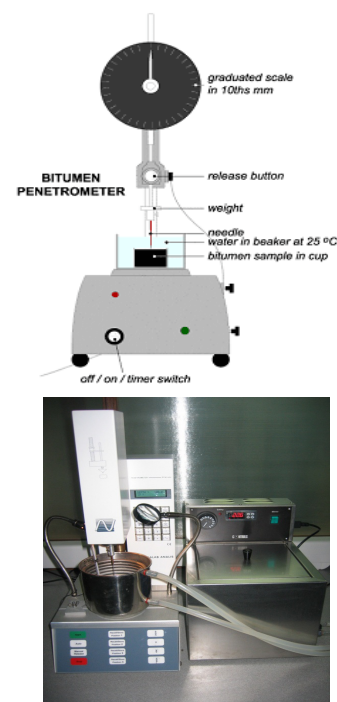
Метода испитивања	Обичан битумен		Полимер-модификован битумен
	SRPS U.M3.010:1975	SRPS EN 12591:2013	SRPS EN 14023:2013
Пенетрација	SRPS B.H8.612	SRPS EN 1426	SRPS EN 1426
Тачка размекшавања	SRPS B.H8.613	SRPS EN 1427	SRPS EN 1427
Индекс пенетрације	SRPS B.H8.614	SRPS EN 12591/ Annex A	SRPS EN 12591/ Annex A
Дуктилитет	SRPS B.H8.615		
Повратна еластична деформација			SRPS EN 13398
Тачка лома по Fraass-у	SRPS B.H8.616	SRPS EN 12593	SRPS EN 12593
Парафински број	SRPS B.H8.605	SRPS EN 12606-1 SRPS EN 12606-2	SRPS EN 12606-1 SRPS EN 12606-2
Садржај нерастворљивих састојака у CCl ₄ / Растворљивост	SRPS B.H8.617	SRPS EN 12592	SRPS EN 12592
Релативна густина	SRPS B.H8.618	SRPS EN 15326	SRPS EN 15326
Отпорност на старење		SRPS EN 12607-1	SRPS EN 12607-1 или SRPS EN 12607-3
Губитак масе после загревања	SRPS B.H8.619		
Смањење пенетрације после заг.	SRPS B.H8.612	SRPS EN 1426/2012	SRPS EN 1426/2012
Промена тачке размекшавања		SRPS EN 1427	SRPS EN 1427
Тачка лома по Fraass-у после заг.	SRPS B.H8.616	SRPS EN 12593	SRPS EN 12593
Повратна еластична деформац.			SRPS EN 13398

Метода испитивања	Обичан битумен		Полимер-модификован битумен
	SRPS U.M3.010/1975	EN 12591/2009	EN 14023/2010
Динамички вискозитет	SRPS B.H8.620	SRPS EN 12596	
Кинематички вискозитет	SRPS B.H8.621	SRPS EN 12595	
Садржај пепела	SRPS B.H8.622		
Тачка паљења		SRPS EN ISO 2592	SRPS EN ISO 2592
Кохезија (један од опита)			
Сила развлачења			SRPS EN 13589
Опит затезања на 5 °C			SRPS EN 13587
Виалит клатно (ударни тест)			SRPS EN 13558
Повратна еластична деформација на 10 °C и 25 °C			SRPS EN 13398
Распон пластичности			SRPS EN 13398
Хомогеност током лагровања			SRPS EN 13399
Разлика у тачки размекшавања			SRPS EN 1427
Разлика у пенетрацији			SRPS EN 1426

Пенетрација на 25 °C

• Опит пенетрације

- Један од најстаријих опита за испитивање битумена – 1888 Bowen Penetration Machine
- Пенетрација – дубина изражена у 0.1 mm до које стандардизована игла продре у узорак битумена под одређеним оптерећењем (100 g) за одређено време (5 s) и при одређеној температури (25 °C)
- Изражава се у степенима пенетрације (0.1 mm)
- Стандарди:
 - SRPS EN 1426:2017
 - SRPS B.H8.612:1980 (повучен 2012.)



Пенетрација на 25 °C

- Основна претпоставка – игла ће дубље продрети у битумен мање вискозности
- Дубина пенетрације је емпиријски (грубо) корелирана са понашањем битумена и асфалтних мешавина у експлатацији
 - Меки битумени (са већом пенетрацијом) примењују се у подручјима са хладном климом
 - Тврди битумени (са мањом пенетрацијом) примењују се у подручјима са топлим климом

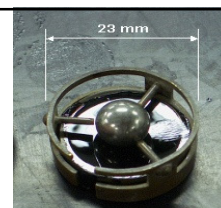
Врсте (обичних) немодификованих путних битумена

- Према SRPS-у и EN нормама – подела на врсте према дубини пенетрације – **основна класификација битумена**

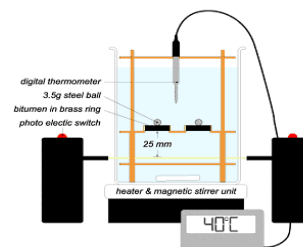
SRPS EN 12591	SRPS U.M3.010
БИТ 160/220	БИТ 200
БИТ 100/150	БИТ 130
БИТ 70/100	БИТ 90
БИТ 50/70	БИТ 60
БИТ 40/60	БИТ 45
БИТ 35/50	
БИТ 30/45	
БИТ 20/30	БИТ 25
БИТ 10/20 (EN 13924-1 – Тврди битумени за путеве)	БИТ 15

Тачка размекшавања по ПК

- Тачка размекшавања по методи прстена и куглице (ПК)
 - $T_{ПК}$ – температура ($^{\circ}C$) на којој слој битумена тачно одређених димензија под тачно одређеним условима (брзина загревања од $5^{\circ}C$ у минути) и под оптерећењем челичне куглице тачно одређене масе и пречника претрпи одређену деформацију.
 - Стандарди:
 - SRPS EN 1427:2017
 - SRPS В.Н8.613:1980 (повучен 2012. године)



RING & BALL SOFTENING POINT



Тачка размекшавања по ПК

- Тачка размекшавања по методи прстена и куглице (ПК)
- Изражава се у °C
 - Меки битумени - ниска $T_{ПК}$: БИТ 160/220 – $T_{ПК}=35 - 43$ °C
 - Тврди битумени - висока $T_{ПК}$: БИТ 20/30 – $T_{ПК}=55 - 63$ °C
- Тврди битумени се морају загрејати на вишу температуру у односу на меке битумене да би се добила вискозност неопходна за обавијање зрна агрегата оптималним филмом везива
- Емпиријска корелација између пенетрације и $T_{ПК}$ (важи за **немодификоване** битумене):

$$T_{ПК} (°C) = 99.13 - 26.36 \cdot \log pen_{25}$$

Врсте полимер-модификованих битумена

- Само према EN нормама – подела на врсте према **дубини пенетрације и тачки размекшавања**

SRPS EN 14023
PmB 10/40-65
PmB 25/55-65
PmB 45/80-65
PmB 45/80-75
PmB 45
PmB 65
...

Индекс пенетрације

- Индекс пенетрације (ИП)

- Мера температурне осетљивости битумена
- Даје увид у промену пенетрације у функцији промене температуре
- Зависност пенетрације од температуре:

$$\log P = A \cdot T + K$$

A – коефицијент пропорционалности - мера температурне осетљивости битумена,

K - константа

- Индекс пенетрације - Срачунава се на основу вредности пенетрације и T_{PK}

$$IP = \frac{20 - 500 \cdot A}{1 + 50 \cdot A}$$

Индекс пенетрације

- Пенетрација битумена на T_{PK} износи 800 пенетрацијских степени за све типове битумена

$$A = \frac{\log pen_{T_1} - \log pen_{T_2}}{T_1 - T_2} = \frac{\log 800 - \log pen_{25}}{T_{PK} - 25}$$

$$IP = \frac{1951.55 - 500 \cdot \log pen_{25} - 20 \cdot T_{PK}}{50 \cdot \log pen_{25} - T_{PK} - 120.15}$$

- Што је IP већи, то је битумен мање осетљив на промену температуре.

Индекс пенетрације

- Стандарди:
 - SRPS EN 12591:2013, Annex A
 - SRPS B.H8.614:1980

	Обичан битумен БИТ 50/70		Полимер модификован битумен (PmB 45-80/65)
Стандард	SRPS EN 12591	SRPS U.M3.010	
Распон	-1.5 до +0.7	-1 до 1	> 4

Дуктилитет

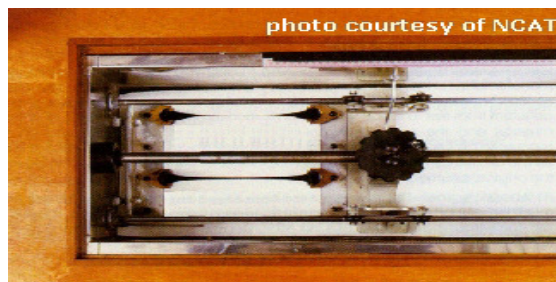
- Дужина изражена у (cm) до које се узорак битумена одређеног облика при тачно одређеној брзини развлачења (5 cm/мин) може растегнути док се настала нит не прекине
- Стандардна температура испитивања – 25 °C
- Стандард:
 - SRPS B.H8.615:1980
 - Опит није предвиђен Европским нормама – уместо њега ради се на истом уређају опит повратне еластичне деформације
 - У US га користе у неким државама у оквиру Supergrave PG+ класификације

Дуктилитет

Узорци:

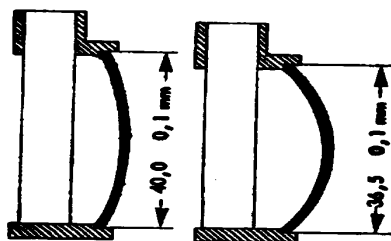


Испитивање:



Тачка лома по Fraass-у

- Тачка лома по Fraass-у – температура на којој слој везива одређене дебљине (<math><1\text{ mm}</math>) пукне ако се хлади и савија под тачно одређеним условима
- Хлађење $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$
- Савијање – 1 окретај конуса у секунди
- Стандарди:
 - SRPS EN 12593:2017
 - SRPS B.H8.616:1982 (повучен 2012. год.)



Остала испитивања

- Садржај парафина – парафински број
 - Количина парафинских угљоводоника у % масе који се добијају кристализацијом остатка после дестилације битумена у смеси диетилетар-етанол на температури од $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и који имају тачку топљења изнад $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Стандарди:
 - SRPS EN 12606-1:2017 (Метода дестилације)
 - SRPS EN 12606-2:2012 (Метода екстракције)
 - SRPS В.Н8.605:1983 (повучен 2012. године)

Остала испитивања

- Релативна густина на $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($d_{25/25}$)
 - Однос запреминске масе битумена на $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ према запреминској маси дестиловане воде на $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Бездимензионални број
- Запреминска маса битумена
 - Изражава се у kg/m^3 (g/cm^3)
 - $1000 - 1040\text{ kg}/\text{m}^3$
 - У нашим условима:
 - Обичан битумен: $1000 - 1030\text{ kg}/\text{m}^3$
 - Полимер-модификовани битумен: $1020 - 1030\text{ kg}/\text{m}^3$

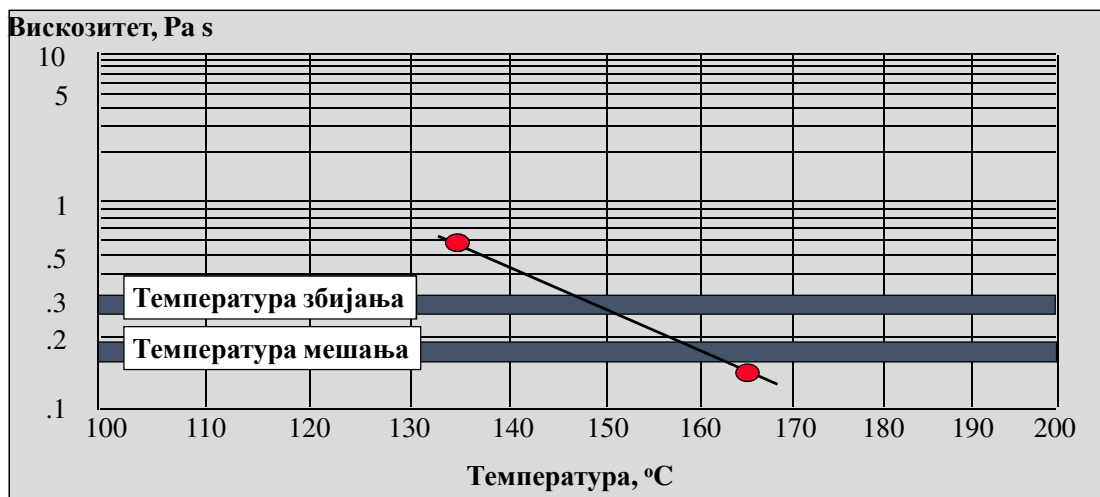
Остала испитивања

- Осетљивост на старење
- Загревање на одређеној температури (најчешће 163 °C) током одређеног периода (85 min или 5 сати)
 - RTFOT – Rolling Thin Film Oven Test (SRPS EN 12607-1)
 - TFOT – Thin Film Oven Test (SRPS EN 12607-2)
- На истом узорку:
 - Губитак масе
 - Пенетрација и процентуално смањење пенетрације услед загревања
 - Тачка лома по Fraass-у
 - Повећање тачке размекшавања
 - Повратна еластична деформација после загревања

Остала испитивања

- Динамички (апсолутни) вискозитет на 60 °C
 - Мера отпорности битумена према течењу
 - Однос напона смицања и градијента брзине смицања
 - Јединица: Pa.s
 - Не постоје критеријуми у SRPS U.M3.010
- Кинематички вискозитет на 135 °C
 - Однос динамичког вискозитета и густине
 - Мера отпорности битумена на течење под дејством сопствене масе
 - Јединица: m²/s
 - Не постоје критеријуми у SRPS U.M3.010

Температуре мешања и збијања



Температуре мешања и збијања

- Критеријуми према ASTM D2493
- Немодификован битумен
 - **Вискозитет за умешавање:**
 $0.17 \pm 0.02 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ → температура мешања
 - **Вискозитет за збијање:**
 $0.23 \pm 0.03 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ → температура збијања

Остала испитивања

- Тачка паљења
 - Ради безбедности производње асфалтних мешавина
 - Типично изнад 300 °C
 - Јединица: °C
 - Не постоје критеријуми у SRPS U.M3.010
 - Испитује се према SRPS EN ISO 2592:2017
 - Захтеване вредности према Техничким спецификацијама ЈП „Путеви Србије“ > 220 - 240 °C

Захтеви према SRPS EN 12591

Property	Test method	Unit	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetration at 25 °C	EN 1426	0,1 mm	20 – 30	30 – 45	35 – 50	40 – 60	50 – 70	70 – 100	100 – 150	160 – 220
Softening point	EN 1427	°C	55 – 63	52 – 60	50 – 58	48 – 56	46 – 54	43 – 51	39 – 47	35 – 43
Resistance to hardening at 163 °C	EN 12607-1									
Retained penetration		%	≥ 55	≥ 53	≥ 53	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
Increase in softening point, - Severity 1 or		°C	≤ 8 or	≤ 8 or	≤ 8 or	≤ 9 or	≤ 9 or	≤ 9 or	≤ 10 or	≤ 11 or
Increase in softening point, - Severity 2 ^a		°C	≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
Change of mass ^b (absolute value)		%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Flash point	EN ISO 2592	°C	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Solubility	EN 12592	%	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0

^a When Severity 2 is selected it shall be associated with the requirement for Fraass breaking point or penetration index or both measured on the unaged binder (see Table 1B)

^b Change in mass can be either positive or negative.

Захтеви према SRPS EN 12591

Property	Test method	Unit	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetration index ^a	Annex A ^b	–	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c
Dynamic viscosity at 60 °C	EN 12596	Pa · s	≥ 440 or NR ^c	≥ 260 or NR ^c	≥ 225 or NR ^c	≥ 175 or NR ^c	≥ 145 or NR ^c	≥ 90 or NR ^c	≥ 55 or NR ^c	≥ 30 or NR ^c
Fraass breaking point ^a	EN 12593	°C		≤ - 5 or NR ^c	≤ - 5 or NR ^c	≤ - 7 or NR ^c	≤ - 8 or NR ^c	≤ - 10 or NR ^c	≤ - 12 or NR ^c	≤ - 15 or NR ^c
Kinematic viscosity at 135 °C	EN 12595	mm ² /s	≥ 530 or NR ^c	≥ 400 or NR ^c	≥ 370 or NR ^c	≥ 325 or NR ^c	≥ 295 or NR ^c	≥ 230 or NR ^c	≥ 175 or NR ^c	≥ 135 or NR ^c

^a When Severity 2 is selected it shall be associated with the requirement for Fraass breaking point or penetration index or both measured on the unaged binder.
^b Reference to normative Annex A in this document dealing with the calculation of penetration index.
^c NR. No Requirement may be used when there are no regulations or other regional requirements for the property in the territory of intended use.

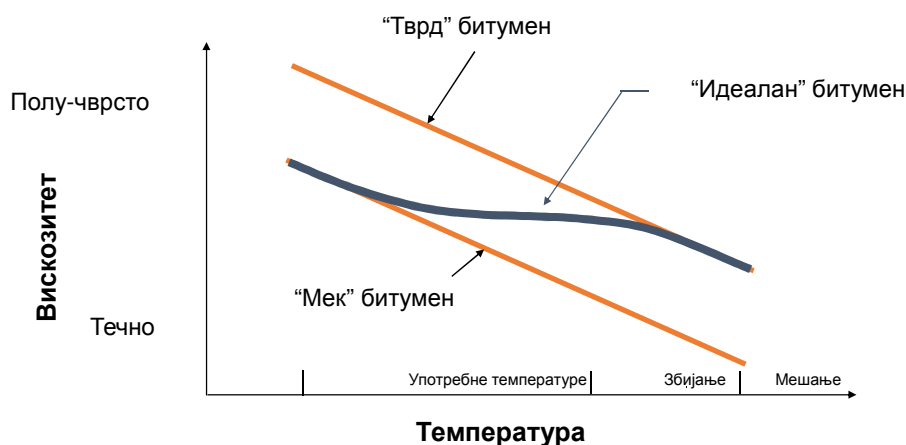
Модификовани битумен

- Циљеви модификације битумена:
 - Побољшање реолошких карактеристика битумена и асфалтних мешавина
 - Повећање отпорности на колотраге
 - Повећање отпорности на пуцање на ниским температурама
 - Повећање отпорности на пуцање услед замора
 - Повећање отпорности на оштећења услед дејства влаге
 - Смањење утицаја старења
 - Побољшање уградљивости на ниским температурама

Модификовани битумен

- Битумен – термопластични материјал:
 - Ниске температуре - чврсто стање
 - Високе температуре - течно стање
- Модификатори
 - Не мењају хемијску структуру битумена (изузев хемијских модификатора)
 - Утичу на физичке карактеристике битумена – тачку размекшавања и крутост
 - Морају бити отпорни на високе температуре
 - Морају бити компатибилни са битуменом
 - Морају повећати отпорност на деформацију битумена на високим температурама, а да битумен не буде сувише вискозан на температурама уграђивања

Концепт модификације битумена



Модификатори

- Термопластични еластомери
 - Стирен Бутадиен Стирен (SBS)
- Термопластични пластомери
 - Етилен Винил Ацетат (EVA)
- Хемијски модификатори
- Влакна
- Материје за побољшање приањања (ДОП, креч)
- Антиоксиданти
- Природни асфалти
 - Trinidad Lake Asphalt (TLA)
- Филери
- ...

Модификатори

Модификатор	Трајна деформација	Термичке пукотине	Пукотине услед замора	Оштећења услед дејства влаге	Старење
Еластомери	да	да	да		да
Пластомери	да	да	да		
Хемијски мод.	да				
Гума		да	да		
Антиокси-данти					да
ДОП-ови				да	да
Филери				да	да

SRPS EN 14023 – Испитивање модификованог битумена

- Основни захтеви:
 - Конзистенција на средњим употребним температурама
 - Пенетрација на 25 °C
 - Конзистенција на повишеним употребним температурама
 - Тачка размекшавања по ПК
 - Кохезија
 - Сила развлачења или
 - Опит затезања на 5 °C
 - Виалит (за површинске обраде)
 - Трајност (отпорност на отврдњавање)
 - Промена масе
 - Задржана пенетрација
 - Повећање тачке размекшавања
 - Друге карактеристике
 - Тачка паљења

SRPS EN 14023 – Испитивање модификованог битумена

- Регионални захтеви:
 - Тачка лома по Фрасу
 - Повратна еластична деформација на 25 и 10 °C
- Додатни захтеви:
 - Распон пластичности
 - Хомогеност током лагеровања
 - Разлика у тачки размекшавања
 - Разлика у пенетрацији
 - Пад тачке размекшавања након краткотрајног старења
 - Повратна еластична деформација на 25 и 10 °C након краткотрајног старења

Захтеви према SRPS EN 14023

PROPERTY	TEST METHOD	UNIT	Classes for all polymer modified bitumens										
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Penetration at 25 °C	EN 1426	0,1 mm	10-40	25-55	45-80	40-100	65-105	75-130	90-150	120-200	200-300		
Softening Point	EN 1427	°C	≥ 80	≥ 75	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 50	≥ 45	≥ 40		
Cohesion ^a	Force ductility ^a (50 mm/min traction) or	EN 13589 followed by EN 13703	J/cm ² at 5 °C	≥ 3 at 5 °C	≥ 2 at 5 °C	≥ 1 at 5 °C	≥ 2 at 0 °C	≥ 2 at 10 °C	≥ 3 at 10 °C	≥ 0,5 at 15 °C	≥ 2 at 15 °C	≥ 0,5 at 20 °C	≥ 0,5 at 25 °C
	Tensile test ^a (100 mm/min traction) or	EN 13587 followed by EN 13703	J/cm ² at 5 °C	≥ 3 at 5 °C	≥ 2 at 5 °C	≥ 1 at 5 °C	≥ 3 at 0 °C	≥ 3 at 10 °C					
	Vialit pendulum ^a (Impact test)	EN 13588	J/cm ²	≥ 0,7									
Resistance to hardening ^b	Retained Penetration	EN 12607-1	%	≥ 35	≥ 40	≥ 45	≥ 50	≥ 55	≥ 60				
	Increase in Softening point		°C	≤ 8	≤ 10	≤ 12							
	Change of mass ^c		%	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0						
Flash Point	EN ISO 2592	°C	≥ 250	≥ 235	≥ 220								

^a One cohesion method shall be chosen based on end application. Vialit cohesion (EN 13588) shall only be used for surface dressing binders.

^b The main test is the RTFOT at 163 °C. For some highly viscous polymer modified bitumens where the viscosity is too high to provide a moving film it is not possible to carry out the RTFOT at the reference temperature of 163 °C. In such cases the procedure shall be carried out at 180 °C in accordance with EN 12607-1.

^c Change of mass can be positive or negative.

Захтеви према SRPS EN 14023

• Регионални (национални захтеви)

PROPERTY	TEST METHOD	UNIT	Classes for regional requirements											
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Fraass Breaking Point	EN 12593	°C	NR ^a	TBR ^b	≤ 0	≤ - 5	≤ - 7	≤ - 10	≤ - 12	≤ - 15	≤ - 18	≤ - 20	≤ - 22	
Elastic recovery	25 °C or ^c	EN 13398	%	NR ^a	TBR ^b	≥ 80	≥ 70	≥ 60	≥ 50					
	10 °C	EN 13398	%	NR ^a	TBR ^b	≥ 75	≥ 50							

^a NR. No Requirement may be used when there are no regulations or other regional requirements for the property in the territory of intended use.

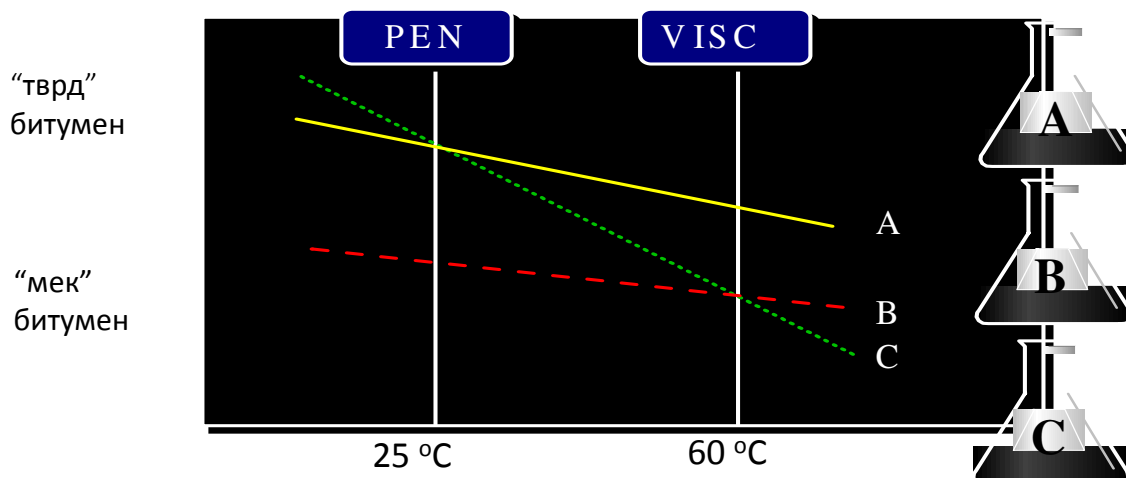
^b TBR. To Be Reported may be used when there are no regulations or other regional requirements for the property in the territory of intended use, but the property has been found useful to describe polymer modified bitumens.

^c Where required, polymer modified bitumens shall conform to the requirements for elastic recovery at 25 °C or 10 °C.

Класификација битумена

- I. **Пенетрација** (тренутно важеће српске и EN норме)
- II. **Динамички вискозитет**
- III. **Performance Grade (PG) / Superpave** - на бази реолошких карактеристика и очекиваног понашања у фази експлатације –

Проблеми са класификацијом на основу само једног податка



Superpave

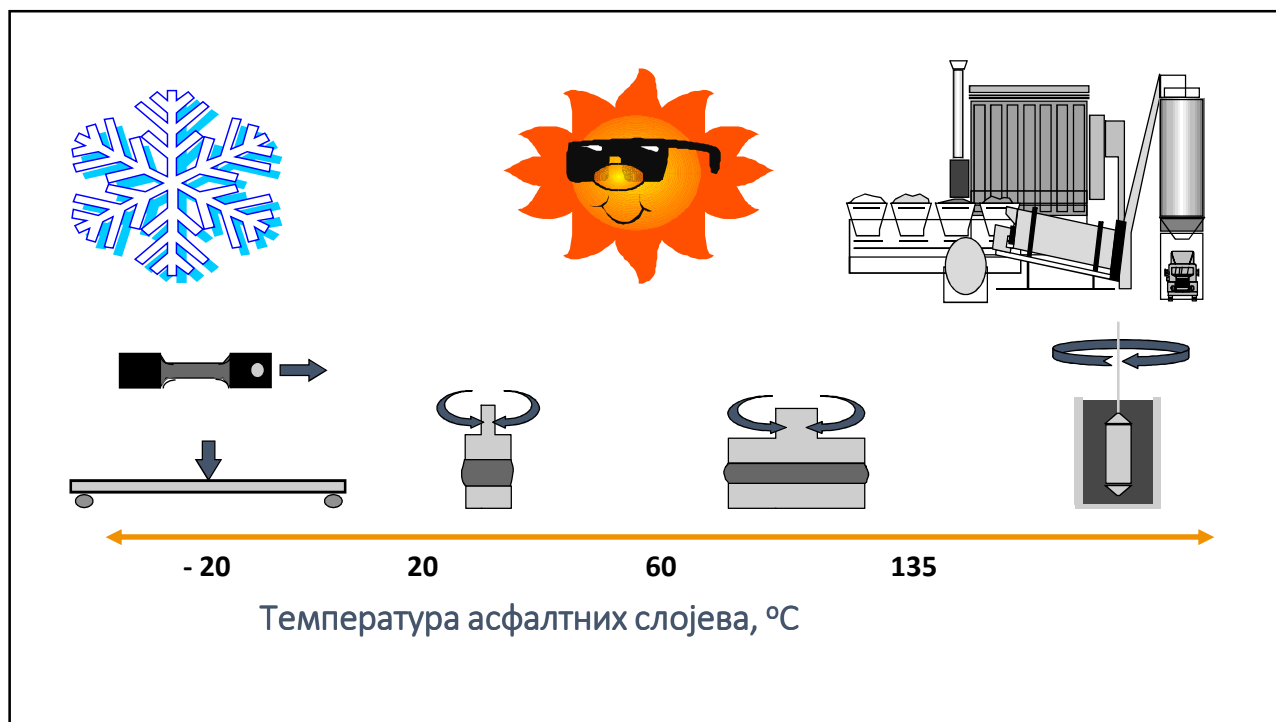
- Superior PERforming PAVements
- Категоризација битумена према условима примене (климатским условима)
- Акцент на реолошким карактеристикама битумена
- Циљ: контрола
 - Трајних деформација
 - Замора
 - Пуцања на ниским температурама

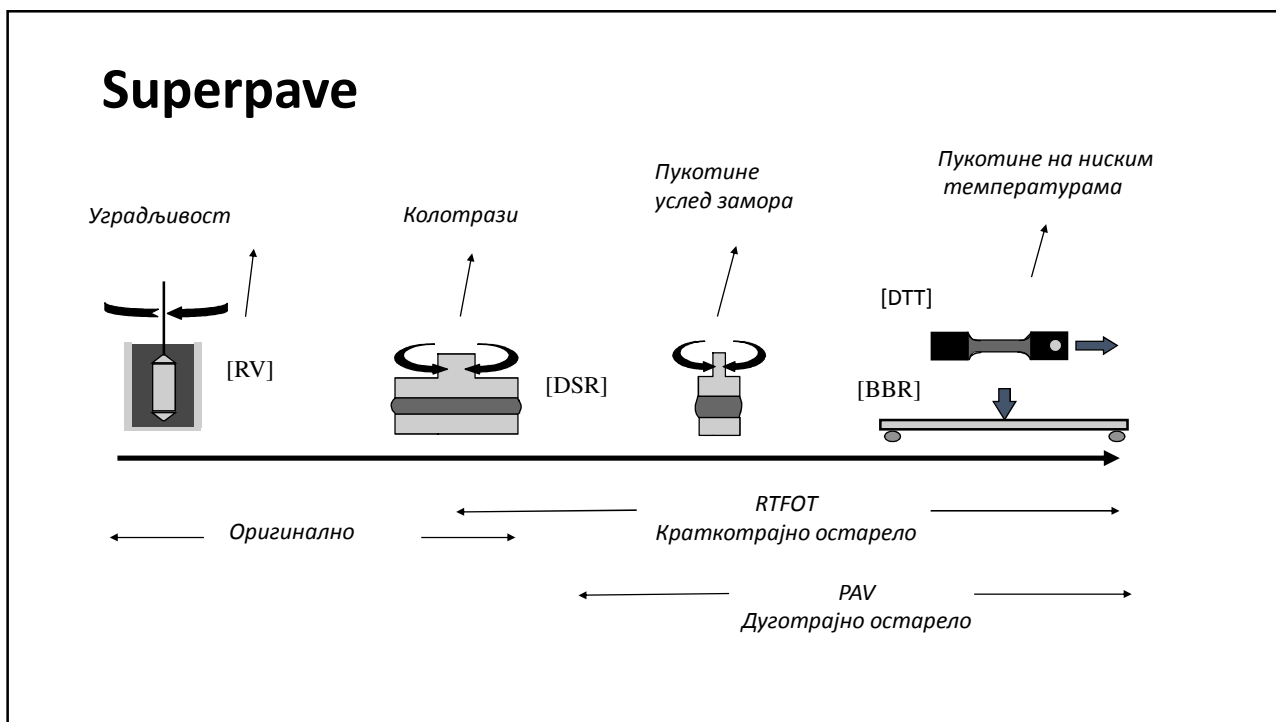
Superpave

- Испитивање:
 - Оригиналнoг битумена
 - Краткотрајно остарелог везива (RTFOT – Rolling Thin Film Oven Test)
 - Симулација старења током производње
 - Дуготрајно остарелог везива (PAV - Pressure Ageing Vessel)
 - Симулација старења током експлатације
 - Под притиском 2070 МРа, на температури 90, 100, 110 °C

Superpave

- Основна испитивања
 - Тачка паљења по Cleveland-и – безбедност
 - Динамички вискозитет (Rotational Viskosimeter – RV) - уградљивост
 - Динамичко смицање (Dynamic Shear Rheometer – DSR) – отпорност на трајну деформацију и замор
 - Савијање (Bending Beam Rheometer – BBR) – замор и отпорност на ниске температуре
 - Директно затезање (Direct Tension) – отпорност на ниске температуре





Superpave – Performance Grade (PG)

		PG - Највиша пројектна температура (°C)						
		46	52	58	64	70	76	82
PG најнижа пројектна температура (°C)	-10							
	-16		Немодификовани битумен					
	-22							
	-28							
	-34				Модификовани битумен			
	-40							
	-46							

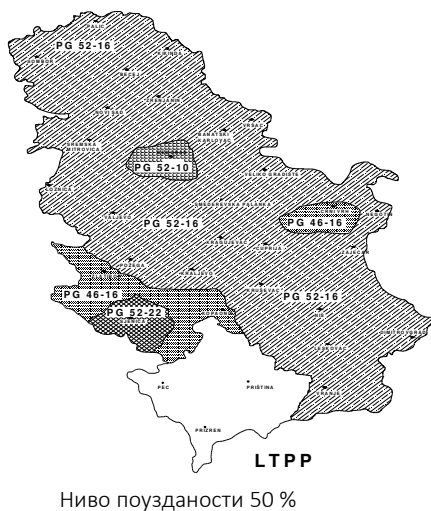
Superpave – Преглед основних карактеристика

Оригинално/ остерело 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 остерело RTFOT	Колотрази	$G^* / \sin \delta$		DSR
Дуготрајно остерело 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

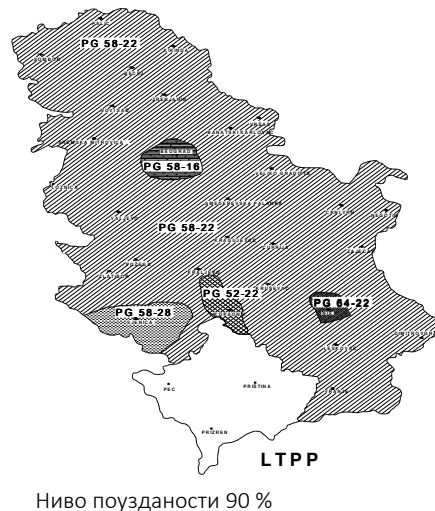
Superpave – Performance Grade (PG)

	Врста битумена																					
	PG 52						PG 58				PG 64											
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40				
Просечна 7-дневна максимална пројектна температура коловозне конструкције (°C)	<52						<58				<64											
Минимална пројектна температура коловозне конструкције (°C)	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40				
ORIGINALNI BITUMEN																						
Tačka paljenja (°C, minimum)	230																					
Viskozitet, ASTM D4402, Max 3 Pa.s, temperatura ispitivanja (°C)	135																					
Dinamičko smicanje TP5: $G^* \sin \delta$, minimum 1.00 kPa, temperatura ispitivanja @ 10 rad/s, (°C)	52						58				64											
BITUMEN nakon RTFOT																						
Gubitak mase (%), maximum)	1.0																					
Dinamičko smicanje TP5: $G^* \sin \delta$, minimum 2.20 kPa, temperatura ispitivanja @ 10 rad/s, (°C)	52						58				64											
BITUMEN nakon PAV																						
Temperatura starenja u PAV (°C)	90						100				110											
Dinamičko smicanje TP3: $G^* \sin \delta$, maximum 5000 kPa, temperatura ispitivanja @ 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
OTPORNOST																						
Fizičko očvršćavanje:																						
Krutost pri tečenju, TP1: S, maximum, 300 MPa, m-vrednost, maximum, 0.30, temperatura ispitivanja @ 60 s, (°C)	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30				
Direktno zatezanje, TP3: Dilatacija pri lomu, minimum 1.0 %, temperatura ispitivanja @ 1.0 mm/min, (°C)	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30				

Климатске мапе Србије



Ниво поузданости 50 %



Ниво поузданости 90 %

Прорачун модула крутости битумена (Shell/Van der Poel)

$$S_B = 1.157 \times 10^{-7} \times t_w^{-0.368} \times e^{-IP} \times (T_{800} - T)^5$$

S_B - модул крутости битумена (MPa)

t_w - време трајања оптерећења, $t_w = 0.02$ s ($f=2-8$ Hz, $v = 50-60$ km/h), (распон: $t_w = 0.01-0.1$ sec)

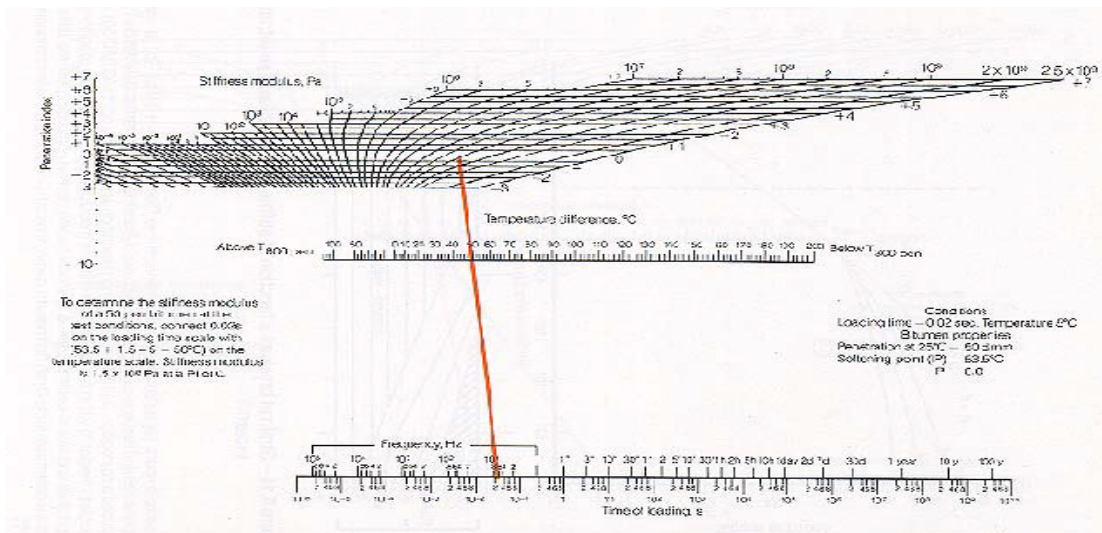
T_{800} - температура на којој је пенетрација 800 pen^o (1 pen^o = 0.1 mm); одговара приближно T_{PK}

T - меродавна температура за димензионисање коловозне конструкције

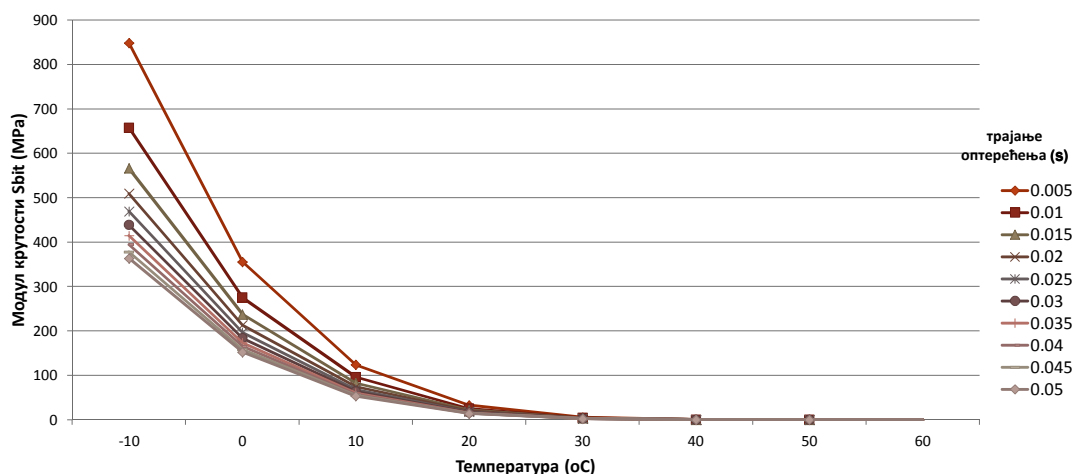
$$IP = \frac{1951 \cdot 55 - 500 \cdot \log(\text{pen}_{25^\circ\text{C}}) - 20 \cdot T_{PK}}{50 \cdot \log(\text{pen}_{25^\circ\text{C}}) - T_{PK} - 120 \cdot 15}$$

pen_{25°C} - пенетрација остарелог везива (једнака приближно 65 % пенетрације оригиналног везива)

Van der Poel-ов номограм



Промена модула крутости битумена са температуром и фреквенцијом



Разређени битумен

- Битумен за коловозе код кога је вискозитет тренутно снижен додатком подесних средстава за разређивање која након уграђивања испаре
- Средства за разређивање – **деривати нафте**
- Техничке спецификације за разређени битумен:
 - SRPS U.M3.030:1996 (стари стандард, повучен 2012. године)
 - SRPS EN 15322:2013

Испитивања разређеног битумена

- Стандардна испитивања
 - **Вискозност**
 - Постојаност битуменског филма под водом
 - Дестилација - утврђивање садржаја битумена у РБ
 - **Пенетрација на остатку дестилације**
 - **Тачка размекшавања, динамички или кинематички вискозитет**
 - **Кохезија (сила развлачења, опит затезања или виалит клатно) – за полимер модификоване материјале**
 - Садржај пепела (% масе)
 - Тачка паљења
 - Растворљивост

Испитивање вискозитета

- Испитивање вискозности угљоводоничних везива –
 - SRPS U.M3.100:1961 (повучен 2012. године)
 - SRPS EN 12846-1:2012 (Битуменске емулзије)
 - SRPS EN 12846-2:2012 (Разређени битумен)
- Врсте везива
 - Катран
 - Разређени битумен
 - Битуменске емулзије
- **Вискозитет** – време истицања у секундама течног узорка од 50 ml или 200 ml кроз дизну одређеног отвора при одређеним условима

Вискозиметар за катран

- Катран (отвор дизне 10 mm)
- Разређени битумен (2, 4 и 10 mm)
- Битуменске емулзије (2 и 4 mm)

- Количина – 50 ml везива
- Температура – 20, 25, **40** или 50 °C



Енглеров вискозиметар

- За испитивање битуменских емулзија (отвор дизне 2,8 mm)
- Количина – 200 ml везива
- Температура – 20 °C



Означавање разређеног битумена

- Према старим српским стандардима:

РБ	Вискозност	Најкраће време истицања из вискозиметра (s)	Најдуже време истицања из вискозиметра (s)	Температура прскања (°C)
РБ 0/1	Врло течан	0	1	20-30
РБ 10/15	Течан	10	15	60-70
РБ 50/100	Полувискозан	50	100	80-90
РБ 150/250	Вискозан	150	250	130-150
РБ 400/600	Врло вискозан	400	600	140-160
РБ 800/1400	Врло вискозан	800	1400	150-170

Означавање разређеног битумена

- Према Европским нормама:

Позиција у називу	Слова	Објашњење	Одг. Европски стандарди
1 и 2	Fm Fv	Минерално уље или деривати нафте Биљно уље	EN 12597
3	Класе 2 до 4 (низак до средњи вискозитет) Класе 5 до 7 (висок вискозитет)	Класа вискозитета	EN 12846-2 (време истицања) EN 13302 (дин. вискозитет)
4, или 4 и 5	Индикација типа везива B P	Обичан путни битумен Додатак полимера	EN 12591 EN 14023
5 или 6	Класе 2 до 6 Класе 2 до 7	Fm: % дестилата на 225 °C Fv: тачка размекшавања на екстрах. везиву	EN 13358 EN 13074-1

Примена разређеног битумена

- РБ 0/1 и РБ 10/15 - За импрегнацију земљаних материјала
- РБ 50/100 - Прскање подлоге ради побољшања везе између слојева, и претходна обавијања материјала
- РБ 150/250 - Прскање подлоге, израда асфалтних мешавина отвореног и затвореног типа и површинске обраде
- РБ 400/600 и РБ 800-1400 - Израда асфалтних мешавина отвореног и затвореног типа и површинске обраде (првенствено у летњим месецима)

Битуменске емулзије

- Хомоген дисперзни систем без чврстих примеса, састављен од **битуменског везива диспергованог у облику ситних честица у води** која садржи подесно, емулгујуће средство
- Средство за разређивање – деривати нафте и каменог угља и минерална уља различитог порекла
- Састав:
 - Битумен:
 - 40 – 65 (70) %
 - Вода:
 - 34 – 61 % (анјонске емулзије)
 - 29 – 61 % (катјонске емулзије)

Битуменске емулзије

- Стари SRPS стандарди:
 - **SRPS U.M3.022:1996** – Анјонска битуменска емулзија за путеве – Услови квалитета
 - **SRPS U.M3.024:1996** – Катјонска битуменска емулзија за путеве – Услови квалитета (повучен 2012. године)
- Нови SRPS EN стандард:
 - **SRPS EN 13808:2013** – Битумен и битуменска везива – Оквир за израду спецификација за катјонске битуменске емулзије

Врсте битуменских емулзија

- Подела према наелектрисувању:
 - **Анјонске** (негативно наелектрисане, анјон-активно емулгујуће средство - сапуни или алкалне соли виших масних киселина)
 - **Катјонске** (позитивно наелектрисане, катјон-активно емулгујуће средство)
 - Једино катјонске емулзије су доступне на тржишту
- Подела према времену распадања:
 - **Нестабилне (АН или КН)**
 - **Полустабилне (АП или КП)**
 - **Стабилне (АС или КС)**
- Подела према врсти битумена
 - Обичан (путни) битумен
 - Полимер модификован битумен

Означавање битуменских емулзија

- Стари SRPS стандарди:
 - **Врста емулзије и садржај битумена**
 - Са обичним битуменом, нпр.
 - AN 55, AP 55
 - KN 40, KN 60, KN 65, KP 60 (ZKP 60), KS 60
 - Са полимер модификованим битуменом
 - PmB KN 50, PmB KN 60, PmB KN 65, PmB KS 60
 - Емулзије разређеног битумена – из ознаке емулзије „R”
 - AP R 60
 - KP R 60, KS R 60

(врсте емулзија преузете из каталога **ТИМ ИЗОЛИРКА**, Шид)

Означавање битуменских емулзија

• Према Европским нормама:

Позиција у називу	Слова	Објашњење	Одг. Европски стандарди
1	С	Катјонска битуменска емулзија	EN 1430 (поларитет)
2 и 3	Садржај везива у % (m/m)	Номинални садржај везива у % (m/m)	EN 1428 (садржај воде) или EN 1431 (садржај везива и уља)
4, или 4 и 5, или 4, 5 и 6	Индикација типа везива В Р Ф	Обичан путни битумен Додатак полимера Додатак више од 2% (m/m) разређеног битумена	EN 12591 EN 14023
5 или 6 или 7	1 до 7	Класа броја распадања	EN 13075-1

Примери ознака битуменских емулзија

SRPS U.M3.022 и SRPS U.M3.024	SRPS EN 13808
KN 55	C 55 B 1
KN 60	C 60 B 1
KP 55	C 55 B 4
KS 60	C 60 B 7
PmB KN 65	C 65 BP 1
KP R 60	C 60 BF 4

Испитивања битуменских емулзија

- Степен стабилности – брзина распадања емулзије када се она меша са чистом и сувом каменом ситнежи (стари SRPS стандарди) или са стандардним силикатним филером (Европски стандарди)
- Вискозитет (Енглеровим вискозиметром на 20 °C или STV апаратом на 20 °C, отвор 4 mm)
- Понашање битуменског филма под водом
- Садржај воде
- Хомогеност емулзије просејавањем
- Постојаност при складиштењу

Примена битуменских емулзија

- Примењују се по правилу са каменог агрегатом супротног наелектрисања како би се постигла добра веза између површине зрна каменог агрегата и везива
- **Анјонске емулзије:** Употребљавају се за мешавине са каменим агрегатима произведеним од стена базног или седиментног порекла: кречњак, доломит и др.
- **Катјонске емулзије:** Употребљавају се за мешавине са каменим агрегатима произведеним од стена киселог карактера: гранит, андезит, дацит, пешчар и др.

Примена битуменских емулзија

- **Нестабилне (АН и КН)** – прскање подлоге и површинске обраде
- **Полустабилне (АП и КП)** – припрема асфалтних мешавина отвореног типа по хладном поступку
- **Стабилне (АС и КС)** – припрема асфалтних мешавина затвореног типа по хладном поступку, хладна рециклажа старих асфалтних слојева, стабилизација подлоге, израда битуменског муља (slurry seal-a)

Примена битуменских емулзија



Примена битуменских емулзија

