

# ТЕХНОЛОГИЈЕ АСФАЛТНИХ МЕШАВИНА ПО ТОПЛОМ ПОСТУПКУ У ЕВРОПИ И САД

Миомир Миљковић, дипл. инж. грађ.

Грађевинско–архитектонски факултет  
Универзитета у Нишу

др Горан Младеновић, дипл. инж. грађ.

Грађевински факултет Универзитета у Београду

Стручни рад

**Резиме:** Асфалтне мешавине по топлим поступку (*warm-mix asphalt, WMA*), представљају групу технологија које омогућавају снижавање температура на којима се асфалтна мешавина производи и уграђује. WMA се производи на око 20 до 55°C нижим температурама него што је то уобичајено за асфалтне мешавине по врућем поступку (*HMA*). Као последица ниже температуре, WMA има низ предности у поређењу са HMA мешавинама.

Основне предности WMA укључују смањену потрошњу горива и енергије, смањену емисију гасова стаклене баште (*GHG*) и других штетних материја, смањену изложеност радника штетним утицајима, посебно када је у реч о ливеном асфалту, и низ предности у погледу уграђивања. Стога, развој примене WMA технологија би могао представљати значајан допринос реализацији концепта одрживог развоја.

Опште очекивање у погледу WMA је да њихово свеукупно понашање буде подједнако добро или боље од HMA, што је потврђено неким лабораторијским испитивањима и краткорочним понашањем на терену у Европи (3 године или мање). Даља примена WMA захтева и прилагођавање спецификација у погледу понашања коловозних конструкција у експлоатацији.

**Кључне речи:** асфалтне мешавине по топлим поступку (*WMA*), одрживи развој, уштеда горива и енергије, емисија гасова стаклене баште и других штетних материја, уграђивање, органски додаци, пенасти битумен, понашање коловозних конструкција, спецификације

## WARM–MIX ASPHALT TECHNOLOGIES IN EUROPE AND USA

Miomir Miljković, MScCE

Faculty of Civil Engineering and Architecture of The  
University of Niš

Goran Mladenović, PhD, MScCE

Faculty of Civil Engineering of The University of Belgrade

Professional Paper

**Abstract:** *Warm-mix asphalt (WMA) represents the group of technologies that enables reduction of temperatures at which the asphalt mixture is produced and placed. WMA is produced at 20 to 55°C lower temperatures than those typical for hot-mix asphalt (HMA). Consequently to lower temperatures, WMA has a set of benefits comparing to HMA.*

*Primary benefits of WMA include reduced fuel and energy consumption, reduced green house gasses (GHG) and other harmful substances emissions, reduced workers exposure to harmful impacts, particularly with mastic asphalt, and range of other paving benefits. Hence, the development of WMA technologies application could be significant contribution towards sustainable development concept realisation.*

*General expectation of WMA is that their overall performance is equal or better than HMA, which is proven by some laboratory investigations and short-term field performance in Europe (3 years of less). Further application of WMA also requires adjusting of pavement performance related specifications.*

**Keywords:** *warm-mix asphalt (WMA), sustainable development, fuel and energy saving, green house gasses and other harmful substances emissions, paving, organic additives, foamed bitumen, pavement performance, specifications*

## УВОД

Индустрија асфалта и њени партнери у државним агенцијама непрестано трагају за начинима побољшања понашања коловозних конструкција, повећања ефикасности грађења, очувања ресурса, и унапређења заштите животне средине. Добро је познато да смањење температуре производње асфалта даје значајне предности за животну средину у погледу емисије штетних материја, изложености на раду, и уштеде енергије. Индустрија асфалта је годинама свесна овога, међутим, постизање задовољавајућег квалитета асфалтне мешавине на нижим радним температурама је одувек био највећи изазов.

Једна таква технологија, сада у фази вредновања, су топле асфалтне мешавине (*warm-mix asphalt, WMA*). WMA представља групу технологија које омогућавају снижавање температура на којима се асфалтне мешавине производе и уграђују. Овим технологијама се тежи да се смањи вискозитет битумена и омогући потпуно обавијање зрна агрегата на нижим температурама. WMA се производи на око 20 до 55°C нижим температурама него што је то уобичајено за асфалтне мешавине по врућем поступку (*hot-mix asphalt, HMA*). Побољшаним збијањем које се такође постиже овим технологијама, смањује се пропустљивост слоја и отврдњавање везива услед старења, чиме се побољшавају особине у погледу отпорности на појаву пукотина и осетљивости на влажност.

WMA технологије, такође, могу да буду погодне током асфалтирања при хладном времену или када мешавину пре уграђивања треба транспортовати на велике удаљености. Мања разлика температуре мешавине и спољашње температуре доводи до њеног споријег хлађења, па WMA може да буде збијена на нижим температурама јер за збијање преостаје више времена.

У току протеклих година цене горива су нагло порасле, а неке процене показују да се снижавањем температуре производње за 28°C, потрошња горива за грејање и сушење агрегата смањује за 11%. Теоријски прорачуни за једну од технологија WMA са температуром произведене мешавине мањом од 100°C указују на 50% мању потрошњу горива за грејање и сушење агрегата. [14]

Један од покретача смањења емисије угљен-диоксида (CO<sub>2</sub>) и других гасова стаклене баште је Кјото протокол, усвојен споразумом на трећој седници Генералне Скупштине Уједињених нација о климатским променама. Кјото протоколом се тражи смањене производње CO<sub>2</sub> за 5,2% у односу на ниво из 1990. у периоду између 2008. и 2012. Европска унија (EU) је затражила смањење производње CO<sub>2</sub> за 15% до 2010., док је Немачка затражила смањење за 25% у односу на ниво из 1990. што је 2005. и остварено.

Концепт одрживог развоја обухвата смањено коришћење сировина (смањена експлоатација ресурса као што су природни камен и нафта из које се добија битумен, и смањена потрошња горива), смањену емисију штетних материја, и могућност веће рециклаже, и даље задовољавајући потребе за економским развојем. Брунтландска комисија Уједињених нација је дефинисала одрживи развој као „развој који задовољава потребе данашњице без компромиса према могућности будућих генерација за задовољењем сопствених потреба“. Одрживи развој се не усредсређује само на животну средину, већ обухвата три међусобно зависне области: економски развој, друштвени развој, и заштиту животне средине, како је представљено на слици 1. WMA је у потпуности у складу са идејама одрживог развоја.

Побољшани услови рада при уграђивању WMA могу довести до повећања квалитета изведених радова, веће продуктивности, и веће безбедности запослених. Снижена температура асфалта смањује ниво штетних испарења којима су радници изложени, и ствара пријатнију радну средину.



Слика 1. Међусобна зависност три области од значаја за одрживи развој [14]

## ПРЕДНОСТИ WMA

Јасно се могу уочити бројне предности које покрећу развој WMA мешавина:

1. Предности са аспекта животне средине и одрживог развоја, а посебно смањена потрошња енергије и, као последица тога, смањена емисија CO<sub>2</sub>.
2. Боље збијање на терену. Могућ је транспорт на веће удаљености, а дуже расположиво време уградње омогућава боље збијање.
3. Заштита радника, посебно са ливеним асфалтом који се производи на много вишим температурама у односу на НМА.

Као што је претходно речено, један од стубова одрживог развоја је заштита животне средине, а кључни елементи одрживог развоја су смањење коришћења природних извора (горива) и производње CO<sub>2</sub>. Иако се Кјото протокол не односи директно на индустрију асфалта, нарочито у Европи, ова индустрија има перспективни приступ у истраживању начина за смањење емисије CO<sub>2</sub>.

## Смањена емисија штетних материја у атмосферу

Бројни подаци широм Европе указују на смањење емисије на постројењима при производњи WMA. Распони вредности ових смањења су приказани у табели 1. На температурама испод 80°C, емисија из битумена практично и не постоји, па чак и на око 150°C емисија је само приближно 1 mg/h. Значајнија емисија се уочава тек на 180°C.

Смањена емисија је регистрована и у Немачкој, али детаљнији подаци нису приказани.

### Смањена потрошња горива и енергије

Извештаји указују да је уштеда горива за горионике код WMA најчешће у распону од 20 до 35%. [14] Уштеде горива би могле бити и веће (вероватно 50% или више) са поступцима као што су асфалтни бетон ниске енергије (low-energy asphalt concrete, LEAB) и асфалт ниске енергије (low-energy asphalt, LEA) код којих се агрегат (или део агрегата) не греје до температуре кључања воде.

### Предности у погледу уграђивања

Иако предности у погледу уграђивања тешко могу да буду покретач развоја WMA технологија, за извођаче и агенције оне могу бити посебно привлачне. У погледу уграђивању WMA издвајају се следеће предности:

1. Могућност да се уграђивање обавља на нижим температурама, а да се и поред тога постигне захтевана збијеност.
2. Могућност да се мешавина транспортује на веће удаљености, а да и поред тога може да се разастре и збије.
3. Могућност да се мешавина збије мањом енергијом збијања (претпостављајући уобичајене услове, без хладног времена или транспорта на веће удаљености).
4. Могућност увођења већег процента струганог асфалтног материјала (reclaimed asphalt pavement, RAP) у мешавину.
5. Могућност да се слојеви изводе у већим технолошким дебљинама и конструкција пусти у саобраћај за краћи временски период.

Табела 1. Регистрована смањења емисије штетних материја на постројењима са WMA [%] [14]

Материја	Норвешка	Италија	Холандија	Француска
CO <sub>2</sub>	31,5	30 – 40	15 – 30	23
SO <sub>2</sub>	—	35	—	18
VOC <sup>1</sup>	—	50	—	19
CO	28,5	10 – 30	—	—
NO <sub>x</sub>	61,5	60 – 70	—	18 <sup>2</sup>
Прашина	54,0	25 – 55	—	—

<sup>1</sup> Лако испарљива органска једињења (volatile organic compounds)

<sup>2</sup> Пријављено као NO<sub>2</sub>

У погледу мешавина са већим садржајем RAP–а, WMA технологије испољавају своје предности на два начина. Прво, смањен вискозитет помаже при збијању, и друго, мање старење везива као резултат нижих температура производње може компензирати остарело везиво RAP–а на сличан начин као када би се користило мекше везиво.

### Смањена изложеност радника штетним утицајима

Нови унапређени прописи Европске Уније (Registration, Evaluation, Authorisation, and Restriction of Chemicals – REACH, децембар 2006.) се односе на производњу и коришћење хемијских супстанци и њихов утицај како на људско здравље, тако и на животну средину. Овим прописима су обухваћена и битуменска везива за која се, између осталог, од снабдевача захтева да радницима пруже информације о потенцијалној изложености и дају нивое преко којих људи не би требало да буду изложени (Derived No-Effect Levels, DNEL).

Истраживања су показала чврсту корелацију између температуре производње асфалтних мешавина и количине испарења. Предвиђени DNEL нивои ограничавају примену асфалта на температуре до 200°C, што је значајно изнад температура уграђивања HMA. Ово није случај и са производњом ливеног

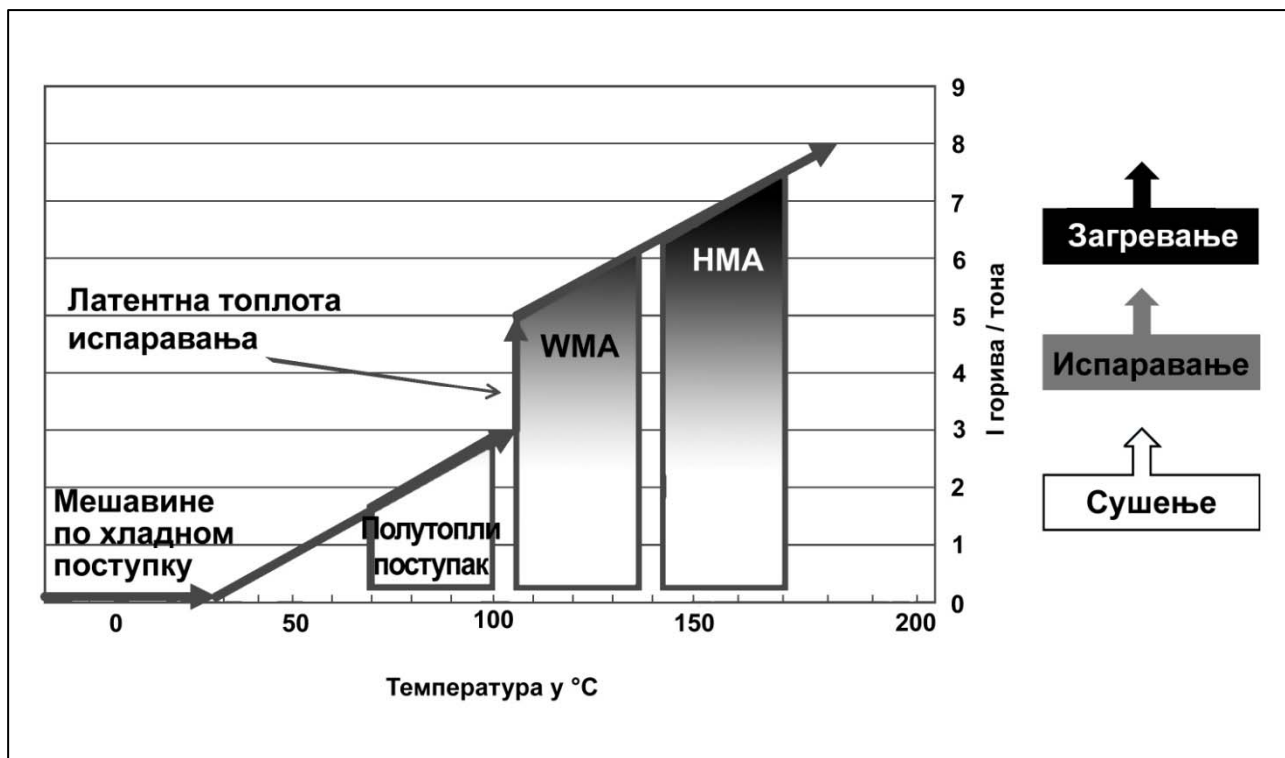
асфалта. Иако је његова примена у Европи релативно ретка, европске агенције га и даље обухватају својим техничким условима, па и то може бити покретач увођења ових технологија на местима са заступљеном применом ливеног асфалта.

О смањеној изложености радника сведоче и подаци из многих европских земаља као што су Француска, Немачка, и Италија. Испитивања испарења из битумена и полицикличних ароматичних угљоводоника (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH) указују на значајно смањене нивое у односу на HMA. Ова смањења се крећу у распону од 30 до 50%, а поједини прелиминарни резултати указују да су она и већа. [14]

Уз смањену изложеност радника, ниже температуре стварају и комфорнију радну средину.

### WMA ТЕХНОЛОГИЈЕ У ЕВРОПИ

WMA технологије се могу класификовати на различите начине. Један од њих је према нивоу снижавања температуре производње. На слици 2 је приказана класификација према температурама производње за асфалтне бетоне, од мешавина по хладном, до мешавина по врућем поступку.



Слика 2. Класификација мешавина према распону температуре производње (вредности температуре и потрошње горива су приближне) [13], [14]

Распон температура производње асфалтних мешавина по топлим поступку је широк, од мешавина које су 20 до 30°C испод температура HMA до температура нешто изнад 100°C. WMA мешавине се разликују од мешавина по полутоплом поступку према температури произведене мешавине. Ако је температура произведене мешавине на постројењу нижа од 100°C, мешавина се сматра полутоплом.

WMA технологије се могу класификовати и према типу. Два главна типа WMA технологија су оне код којих се користи неки облик органског додатка или воска, и оне код којих се у циљу снижавања температуре производње користи вода. Поступци у којима се мала количина воде додаје врућем битуму, било путем млазнице за распршивање, или хидропластичног материјала као што је зеолит или влажног агрегата, се ослањају на чињеницу да се дата запремина воде када прелази у пару шири 1673 пута. Када

се вода распрши у врућ битумен и услед контакта са врућим битуменом претвори у пару, долази до експанзије битумена и последичног смањења његовог вискозитета. Обим експанзије зависи од низа чинилаца, укључујући количину воде и температуру битумена.

Поступци у којима се користе органски додаци доводе до смањење вискозитета на температурама изнад температура топљења воска. Тип воска се мора одабрати пажљиво, тако да је, у циљу спречавања појаве превеликих трајних деформација, температура топљења воска виша од очекиване температуре у експлоатацији, и да се отврдњавање битумена на ниским температурама сведе на најмању могућу меру.

Други поступци укључују обавијање зрна агрегата по фазама. У табели 2 су обједињени поступци који се најчешће примењују у Европи и САД.

Табела 2. Преглед WMA технологија [14]

WMA поступак	Компанија	Додатак	Температура производње (на постројењу) [°C]	Државе у којима се највише користи	Приближна укупна количина произведена до 2008.
<b>ОРГАНСКИ ДОДАЦИ (ВОСАК) – ДОДАТИ ВЕЗИВУ ИЛИ МЕШАВИНИ</b>					
Sasobit® (Fischer–Topsch восак)	Sasol	Да. У Немачкој се додаје обично 2.5% од масе везива; у САД се користе мање дозе, од 1,0 до 1,5%.	Варира, 20 до 30°C ниже од НМА. Немачке смернице препоручују 130 до 170°C зависно од крутости битумена.	Немачка и 20 других земаља широм света.	> 10 милиона тона широм света
Asphaltan–B (Монтански восак)	Romonta	Да. У Немачкој се додаје обично 2.5% од масе везива.	Варира, 20 до 30°C ниже од НМА. Немачке смернице препоручују 130 до 170°C зависно од крутости битумена.	Немачка	Није познато
Licomont–BS 100 (додатак) или Sübit (везиво) (амиди масних киселина)	Clariant	Да, око 3% од масе везива.	Варира, 20 до 30°C ниже од НМА. Немачке смернице препоручују 130 до 170°C зависно од крутости битумена.	Немачка	> 322 500 m <sup>2</sup> од 1994.
3E, LT, или Ecoflex	Colas	Да	Варира, 30 до 40°C ниже од НМА.	Француска	Није познато
Rediset™ WMX	Akzo Nobel	Да, око 2% од масе битумена.	Око 30°C ниже од НМА.	Широм света, (и у Србији)	Није познато
<b>ПОСТУПЦИ СА ПЕНУШАЊЕМ</b>					
Aspha–min (Зеолит)	Eurovia и MHI	Да, око 0,3% од укупне масе мешавине	Варира, 20 до 30°C ниже од НМА. Немачке смернице препоручују 130 до 170°C зависно од крутости битумена.	Француска, Немачка, и САД	Око 300 000 тона
ЕСОМАС (хладна мешавина загрејана пре уграђивања)	Screg	Да	Уграђује се на око 45°C	Француска	Неке пробне деонице
LEA, такође и EBE и EBT	LEACO, Fairco, и EIFFAGE Travaux Publics	Да, 0,2 до 0,5% од масе везива	< 100°C	Француска, Шпанија, Италија, и САД	> 100 000 тона
LEAB® (директно произведени пенасти битумен са додатком)	BAM	Да, додатак 0,1% од масе везива ради стабилизације пене, потпомагања обавијања зрна, и побољшања адхезије.	90°C	Холандија	Седам комерцијалних пројеката

Табела 2. (наставак) Преглед WMA технологија [14]

WMA поступак	Компанија	Додатак	Температура производње (на постројењу) [°C]	Државе у којима се користи	Приближна укупна количина произведена до 2008.
<b>ПОСТУПЦИ СА ПЕНУШАЊЕМ (НАСТАВАК)</b>					
LT Asphalt (пенести битумен са додатком хигроскопног пунила ради одржавања уградивости)	Nynas	Да, додаје се 0,5 до 1,0% од масе хигроскопног пунила	90°C	Холандија и Италија	Није познато
WAM–Foam (обавијање меких везивом праћено тврдим пенастим битуменом)	Kolo Veidekke, Shell Bitumen (патентна права широм света осим у САД), и BP (патентна права у САД)	Није неопходан; код одређених везива је могуће додати додаток за потпомагање пенушања, а меком везиву је могуће додати додаток за спречавање оцеђивања	110 до 120°C	Француска и Норвешка, такође и Канада, Италија, Луксембург, Холандија, Шведска, Швајцарска, и Уједињено Краљевство	> 60 000 тона
<b>ТЕХНОЛОГИЈЕ У РАЗВОЈУ У САД</b>					
Evotherm™ (врућ агрегат обавијен емулзијом)	Mead–Wastvaco	Да	85 до 115°C	Француска, такође и Канада, Кина, Јужноафричка Република, и САД	> 17 000 тона
Double–Barrel® Green	Astec	Није неопходан; могуће је додати средство за спречавање оцеђивања слично као код НМА	116 до 135°C	САД	> 4 000 тона
Advera (зеолит)	PQ Corporation	Да, око 0,25% од укупне масе мешавине	Варира, 20 до 30°C ниже од НМА. Немачке смернице препоручују 130 до 170°C зависно од крутости битумена.	САД	> 10 000 тона

### Органски додаци

#### Sasobit

Sasobit је Fischer–Topsch восак који се добија загревањем угља или природног гаса на 180 до 280°C у присуству катализатора. Fischer–Topsch воскови су синтетички алифатични угљоводоници дугог ланца који имају тачку топљења између 70 и 114°C, велики вискозитет на ниским, и низак на високим температурама. Пенетрација воска је мања од  $1 \cdot 10^{-1}$  mm. Дужине молекула Sasobit–а

су у распону од C40 до C120. Могу се користити за модификовање битумена или се директно додавати у мешавину. Пројектима у којима је коришћен Sasobit, обухваћен је широки распон врста агрегата и мешавина укључујући асфалтне бетоне, SMA, и ливени асфалт. Изглед Sasobit–а у виду зрнаца приказан је на слици 3.



Слика 3. Куглице Sasobit-a

#### Asphaltan-B

Asphaltan-B је рафинисани монтански восак. Такође је познат као лигнитски, или ОР восак, монтански восак се добија екстракцијом из одређених врста лигнита или мрког угља. Има широку примену и у индустрији паста за полирање и сл. Његова тачка топљења је од 82 до 95°C. Нерафинирани монтански восак садржи битумен и смоле које се рафинирањем могу odstrанити.

#### Licomont BS 100

Licomont BS 100 је амид масне киселине. Амиди масних киселина се годинама користе за модификацију вискозитета битумена. Обично, његова тачка топљења је између 141 и 146°C. Licomont BS 100 је најчешће доступан у облику гранула, слика 4.



Слика 4. Грануле Licomont BS 100 [14]

#### Поступци са пенушањем

##### Aspha-min

Највећи број зеолита се карактерише особином да могу да изгубе и апсорбују велике количине хемијски везане воде без оштећења своје кристалне структуре. Постоје и природни и

вештачки зеолити. Aspha-min је синтетички зеолит састављен од алумосиликата земноалкалних метала.

Aspha-min садржи око 20% хемијски везане воде, која се ослобађа на температурама вишим од 100°C. Када се помеша са врућим агрегатом или битуменом, зеолит ослобађа воду веома фино је распршујући у мешавини. Вода ствара контролисани ефекат пенушања који доводи до незнатног пораста запремине везива, смањујући тиме његов вискозитет. Зеолит се обично додаје у количини од 0,3% масе мешавине, непосредно пре, или у исто време када и везиво. Постепено ослобађање воде омогућује период од 6 до 7 сати олакшаног збијања који траје до пада температуре испод 100°C.

##### Low-Energy Asphalt (LEA)

У једној варијанти LEA поступка, крупан агрегат се суши и обавија врућим битуменом, а затим се у мешавину додаје влажан песок. Влага из песка доводи до пенушања битумена, чиме и сам песок бива обавијен. Температура тако произведене мешавине је нешто нижа од 100°C. LEA поступак приказан на слици 5 се одвија на следећи начин:

1. Агрегат се раздваја на две фракције: крупан агрегат и песок без ситних честица, и песок са ситним честицама.
2. Крупан агрегат и песок без ситних честица се суши и греје до температуре од око 150 до 160°C (око 20°C ниже од НМА).
3. Везиво се греје до нормалне температуре мешања зависно од његове класе. Непосредно пре убризгавања на постројењу, у везиво се, применом волуметријске пумпе, додаје посебан додатак у количини од око 0,5% масе везива. Допатак је предвиђен да регулише експанзију пене, и делује као средство против оцеђивања везива. Врста додатка варира зависно до врсте агрегата.
4. Сув, врућ крупан агрегат се обавија свом количином битумена која се додаје мешавини. Тај крупан агрегат и песок без ситних честица би требало да чине око 60% масе мешавине.
5. Осталих 40% агрегата, који се састоји од песка и ситних честица са влажношћу од око 3%, меша се са крупним агрегатом. Без обзира на тип постројења, влажан агрегат се додаје кроз посебан систем. Код постројења за мешање у бубњу, влажан агрегат се може додати кроз систем за убацивање RAP-а. За случај да је ситан агрегат сувише сув додатна количина воде се убризгава кроз систем за распршивање. За случај да је ситан агрегат сувише влажан, део ситног агрегата је могуће преусмерити на сушење, заједно са крупним агрегатом.

6. Када врућ, крупан агрегат дође у контакт са ситним агрегатом, битумен почиње да пенуша. Тиме се обавија и ситан агрегат. Хладан ситан агрегат се у контакту са крупним агрегатом загрева и равнотежна температура произведене асфалтне мешавине је нижа од 100°C.
7. Чак и на ниским температурама, заостала кондензована влага, присутна у виду сићушних капљица, помаже при одржавању уградивости мешавине.

### LEAB®

LEAB поступак (потиче од „асфалтни бетон ниске енергије“) је развијен од стране Royal BAM Group у Холандији, и представља комерцијализацију истраживања асфалтних мешавина по полутоплом поступку Кима Џенкинса (Kim Jenkins). [16] У поступку LEAB, агрегату се не додаје никаква додатна количина воде. Пенушање битумена се одвија помоћу млазнице приказане на слици 6, а за производњу LEAB, BAM користи серију од шест млазница.

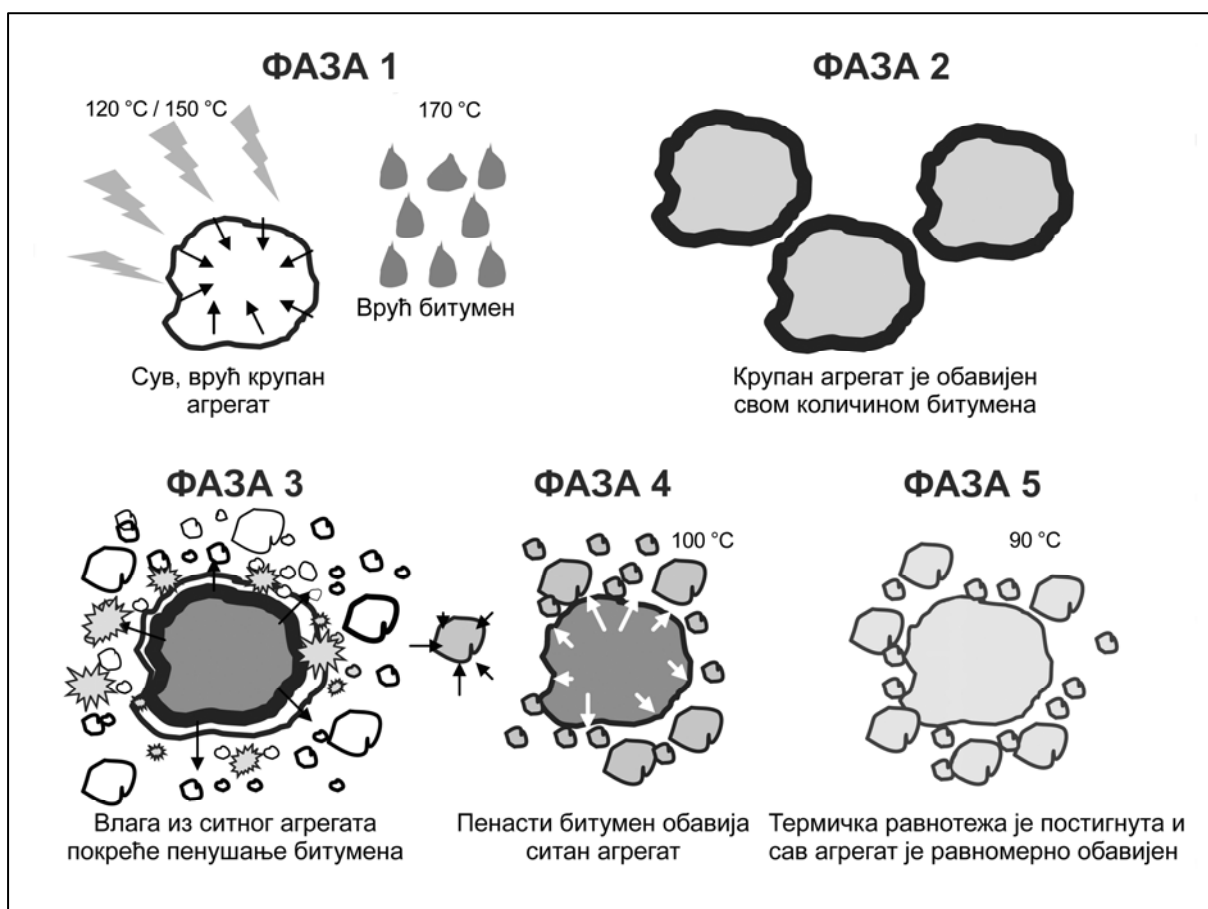
Непосредно пре пенушања, битумену се додаје 0,1% додатка на бази амина који повећава стабилност пене и побољшава адхезију.

У Холандији, где се ова технологија највише примењује, како код WMA, тако и код HMA мешавина, обично се додаје 50% RAP-а. У BAM-у, RAP се греје у посебном бубњу за сушење на температури од 110 до 115°C. Код мешавина са новим агрегатом, пријављене су уштеде енергије од 40%, а код мешавина са 50% RAP-а пријављене уштеде су 30%.

### WAM-Foam

Shell Bitumen је развио концепт „топле асфалтне мешавине“ (Warm-Asphalt Mixture, WAM) чија је суштина у мешању компоненте меког и релативно тврдог везива ради снижавања температуре производње. [7], [9], [11], [17] Развој концепта WAM-Foam је започет 1996., а сада је патентиран од стране Shell Bitumen широм света, изузев у САД, где је власник патентних права на примену технологије BP.

WAM-Foam представља поступак, а не додаток или материјал. Као што је већ речено, ради постизања жељене класе битумена, у току производње се мешају две класе, мек и тврд битумен. Мек битумен обично има вискозитет од 1500 cSt (V1500), а тврди је 70/100 реп (EN 12591), тј. приближно PG 58/64-22.



Слика 5. Фазе у оквиру LEA поступка [14]





Слика 6. Млазница за распршивање са експанзионим комором у поступку LEAB [3], [14], [16]

Уобичајено је да меки битумен представља 20 до 30% укупног садржаја битумена. Претпостављајући коришћење 20% битумена V1500, и 80% битумена пенетрације 70/100, резултирајући битумен би био неостарели битумен пенетрације 70/100. Уколико је потребно променити класу резултујућег битумена, то би требало обављати променом класа компоненталних битумена, с обзиром да се за обавијање зрна крупног агрегата захтева минимални проценат меког битумена. Обавијање крупног агрегата меким битуменом би такође требало да задовољи захтев за апсорпцијом битумена до чега не би могло да дође у случају крућег битумена на ниској температури. Меком битумену се обично додаје и додатак за побољшање адхезије.

Пенушање тврдог битумена се обавља додавањем 2 до 5% воде спољашње температуре у односу масу тврдог битумена на температури од 175 до 180°C. Приликом контакта са тврдим битуменом, вода почиње да се шири са коефицијентом од приближно 1600 и прелази у пару. Ово узрокује запреминску експанзију комбинације битумена и воде око 15 пута у односу на почетну запремину.

Производњи WAM-Foam могу се прилагодити и постројења са циклусним и са мешањем у бубњу. Агрегат без пунила које се додаје се загрева на 130°C. Агрегат се обавија са око 20% укупне масе везива у облику меког битумена. Тврди битумен се у виду пенастог битумена додаје мешавини, и температура резултујуће мешавине је између 100 и 120°C. На слици 7 је приказано истовремено пуњење камиона конвенционалном асфалтном мешавином по врућем

поступку (HMA) и мешавином произведеном по WAM-Foam технологији. Значајна испарења из конвенционалне мешавине се јасно могу уочити.



Слика 7. Истовремено пуњење камиона конвенционалном мешавином по врућем поступку (HMA), и мешавином произведеном по WAM-Foam технологији [9]

На постројењима са циклусним мешањем меки битумен се додаје коришћењем постојећег цевовода и ваге за битумен, док се млазница за распршивање и експанзиона комора постављају изнад мешалице. На постројењу се додаје посебан цевовод за снабдевање тврдим битуменом. Додавање тврдог битумена се контролише мерењем протока по маси. С обзиром да производња на постројењу са циклусним мешањем није непрекидан процес, важно је да се после сваког убацивања пене, млазница и експанзиона комора чисте компримованим ваздухом.

Постројења са мешањем у бубњу је једноставније модификовати. Као и на постројењима са циклусним мешањем, постојећи систем за снабдевање битуменом се користи за убризгавање меког битумена у мешавину, док је за додавање тврдог битумена за пенушање, поред добро изолованог система за довод воде, неопходан и нови систем за додавање битумена у област за мешање. Место у бубњу на коме се додаје тврди битумен је одабрано тако да се меком битумену омогући довољно времена да обавије крупан агрегат. С обзиром да се пенушање битумена одвија непрекидно, и да су млазнице и експанзионе коморе добро загрејане струјом врућег ваздуха унутар бубња, нема потребе за њиховим чишћењем системом са компримованим ваздухом.

Shell Bitumen је 2006. у оквиру радова на путу Фиренца–Пиза–Ливорно (Италија) у сарадњи са компанијом Conglobit обавио истраживања емисије, потрошње горива, и изложености, и добио врло охрабрујуће резултате. [17] Емисију штетних гасова је мерио Det Norske Veritas AS. Мерење је обављено током производње конвенционалне HMA мешавине, и WMA мешавине према WAM-Foam технологији. За

конвенционалну, температура произведене мешавине је била 180°C, док је за WAM-Foam она била од 120 до 125°C. Производња је обављена у току различитих дана исте недеље, на истом постројењу, коришћењем истих уређаја за мерење, и при сличним временским условима, у циљу добијања скупова потпуно упоредивих података.

Потрошња горива је мерена при различитим нивоима искоришћења капацитета постројења, од 60 до 100%, и резултати су показали смањење потрошње за 35%. [17]

Приликом производње асфалта, Det Norske Veritas AS је мерио нивое емисије неколико гасова (загађивача ваздуха) испуштаних из димњака постројења при производњи од 140 тона на сат. Резултати измерене емисије, приказани су у табели 3.

Табела 3. Резултати измерене емисије гасова и прашине [17]

Материја	Забележено смањење емисије
CO <sub>2</sub>	35%
CO	8% (приближно)
NO <sub>x</sub>	60% (приближно)
SO <sub>2</sub> и прашина <sup>1</sup>	25 до 30%

<sup>1</sup> Низак ниво емисије, али је уштеду ипак било могуће забележити

Све у свему, ова истраживања су показала да снижавање температуре доводи до огромног смањења емисије гасова стаклене баште, као и до значајног смањења изложености радника штетним утицајима и потрошње горива. Велика предност ове технологије је у томе што се постојећа постројења за НМА могу једноставно модификовати за примену и WAM-Foam поступка и традиционалних НМА у исто време користећи исте рецептуре, RAP, класе битумена, па чак и везива са посебним наменама.

## WMA ТЕХНОЛОГИЈЕ У РАЗВОЈУ У САД

### Evotherm™

Evotherm представља хемијски комплекс, пројектован да побољша адхезију, обавијање зрна, уградивост, и збијање асфалтних мешавина при сниженим температурама. Око 50% садржаја овог хемијског комплекса је произведено из обновљивих извора. У поређењу са НМА, Evotherm омогућава снижавање температуре при производњи и уграђивању за 50 до 70°C.

### Double-Barrel® Green

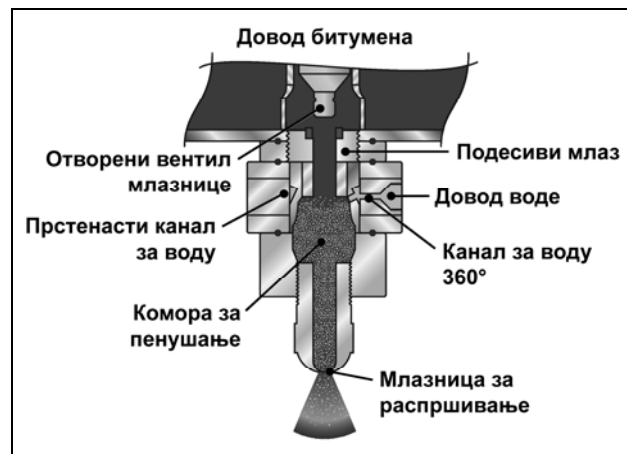
Компанија Astec Inc. је развила уређај са више млазница за пенушање који је пројектован за рад са њеним Double-Barrel постројењима. Уређај се састоји

од серије вентила, комора за пенушање, и млазница за распршивање, снабдених доводом битумена. Довод битумена је окружен облогом са врућим уљем. Свака млазница је пројектована тако да обезбеди довољну количину пене за производњу 50 тона WMA на сат. На основу обима производње, компјутерски контролисани систем одређује број млазница који ће бити у употреби. Брзина пумпе за воду је усаглашена са брзином пумпе за битумен. Убризгавање воде кроз млазницу (приближно 450 g по тони мешавине), доводи до експанзије везива од око 18 пута. Уобичајена температура производње је 135°C, а мешавина се разастире до температуре од 115°C. Испитивања која је обавио сам Astec указују да се производња лако испарљивих органских једињења може значајно смањити уколико се температура производње задржи испод 141°C. Иако се везиву могу додати течна средства за спречавање оцеђивања, за производњу пенастог битумена и самог WMA њихова примена се не захтева.

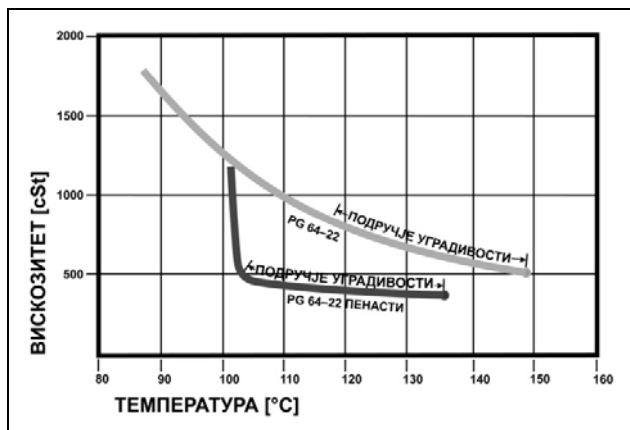
На слици 8 је приказан бубањ за сушење и мешање, са додатком за производњу пенастог битумена, на слици 9 је приказана шема саме млазнице, а на слици 10, промена вискозитета обичног и пенастог битумена PG 64-22 у зависности од температуре.



Слика 8. Double-Barrel Green бубањ за сушење и мешање [12]



Слика 9. Шема млазнице за пенести битумен [2]



Слика 10. Дијаграм зависности вискозитета обичног и пенастог битумена PG 64-22 од температуре [2]

## ПОНАШАЊЕ WMA

Основно очекивање у погледу понашања WMA је да се у односу на HMA понашају подједнако добро или боље. Уколико, у погледу животног циклуса коловозне конструкције, свеукупно понашање WMA није подједнако добро као HMA, дугорочних предности по животну средину и потрошњу горива неће бити.

Савезни институт за истраживање путева (Bundesanstalt für Straßenwesen, BAST) у Немачкој је, у складу са својим специфичним процедурама за испитивање нових материјала, вршио низ лабораторијских и теренских испитивања WMA на деоницама путева са различитим условима експлоатације у трајању од најмање 5 година. [14] У табели 4 је приказано поређење понашања 6 опитних деоница са контролним деоницама које су грађене између 1998. и 2001. Овим деоницама су обухваћене четири WMA технологије: Sasobit, Asphaltan-B, Asphaltmin, и Sübit (битумен модификован применом Licomont BS 100). За деоницу број 7 није било контролне деонице. У сваком од ових случајева, опитне деонице су се понашале исто или боље од контролних деоница са HMA

На основу лабораторијских испитивања и података о краткорочном понашању на терену (3 година или мање), показало се да се WMA мешавине понашају исто или боље од HMA. Незадовољавајуће понашање је регистровано на ограниченом броју деоница, али његов узрок није било коришћење WMA.

Примена WMA, али и других материјала уопште, захтева анализу њиховог краткорочног и дугорочног утицаја на околину, и прилагођавање спецификација у смислу функционалних захтева везаних за понашање коловозне конструкције у експлоатацији (pavement performance related specifications).

## ЗАКЉУЧАК

У раду је разматрана примена технологија асфалтних мешавина по топлом поступку (WMA), које представљају групу технологија које омогућавају снижавање температура на којима се асфалтна мешавина производи и уграђује. Изложене су њихове основне одлике и предности које могу бити веома значајан покретач њихове даље имплементације у Европи и САД. Предности ових технологија су пре свега смањена емисија гасова стаклене баште и других штетних материја у атмосферу, смањена потрошња горива, мања изложеност и већа безбедност радника, и низ предности у погледу уграђивања.

У циљу њихове даље имплементације неопходно је вршити даља лабораторијска и теренска испитивања ради бољег утврђивања њиховог дугорочног понашања у експлоатацији. Такође је неопходно и прилагођавање и развој спецификација у погледу њиховог понашања. Дугорочни циљ овог развоја је дефинисање функционалних захтева од стране крајњег корисника, па коначно, неће бити важно како су ови захтеви у погледу понашања достигнути, да ли HMA, WMA, или мешавинама по полутоплом поступку.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1.] Adhesion promoters: Technical Bulletin, Akzo Nobel, Stenungsund, 2008.
- [2.] Double Barrel® Green System, Astec Inc., Chattanooga, TN, 2009.
- [3.] Fayat Recycling Book, Fayat Group, Bordeaux, 2007.
- [4.] Low Temperature Asphalt, European Asphalt Pavement Association (EAPA), Brussels, 2005.
- [5.] Rediset™ WMX: The New Warm Mix Asphalt System, Akzo Nobel, Stenungsund, 2008.
- [6.] Routes: Colas Group Magazine 2009, Colas, Boulogne-Billancourt, 2009.
- [7.] Shell Sustainability Report 2008: Responsible Energy Sustainability Report, Royal Dutch Shell plc, London, 2009.
- [8.] Shell S-Grade Binders: Designed to accelerate productivity, Shell Bitumen, Manchester, 2009.
- [9.] Shell WAM Foam Process: Reducing production and laying temperatures, Shell Bitumen, Manchester, 2009.
- [10.] Specification Card, Shell Bitumen, Manchester, 2009.
- [11.] Sustainable Growth: Impossible for the Only Way Forward?, Shell Bitumen, London, 2009.
- [12.] The Double Barrel® Aggregate Dryer/Drum Mixer, Astec Inc., Chattanooga, TN, 2009.

Табела 4. Понашање опитних деоница са *WMA* у поређењу са контролним деоницама [14]

Примењено везиво		SmB 35 B (претходно умешан Sasobit)	50/70 Pen + 4% Sasobit (додат на постројењу) Хамбург	50/70 Pen + Asphaltan B B 193	50/70 Pen + Asphaltan B L 303	50/70 Pen + Aspha-min B 3	Sübit VR 45 B 283	Sübit VR 35 B 51
Број деонице		1	2	3	4	5	6	7 <sup>3</sup>
Теренска мерења	Колотрази <sup>1</sup>	Исто	Исто	Исто	Исто	Исто	Исто	Мали
	Повећање густине у путањама точкова након збијања	Исто	Боље	Исто	Боље	Боље	Исто	Нема
	Појава пукотина	Исто <sup>2</sup>	Исто <sup>2</sup>	Исто <sup>2</sup>	Исто <sup>2</sup>	Исто <sup>2</sup>	Исто <sup>2</sup>	—
Лабораторијска испитивања	Термичка стабилност	Боље	Боље	Исто	Боље	Исто	Боље	Врло добро
	Понашање на ниским температурама	Исто	Исто или боље	Исто	Исто	Исто или боље	Исто или боље	Добро
	Старење везива	Исто или боље	Исто или боље	Исто или боље	Исто или боље	Исто	Исто	Мало
	Адхезија	Исто или боље	Исто или боље	Боље	Исто	Исто или боље	Исто или боље	Добро

<sup>1</sup> Низак ниво ( $\leq 10$  mm)

<sup>2</sup> Нема

<sup>3</sup> Није било контролне деонице

- [13.] Горан Младеновић, Примена савремених технологија и алтернативних и рециклираних материјала у изградњи и одржавању коловозних конструкција, Конференција „Градитељство и одрживи развој“: Зборник радова, Друштво за испитивање и истраживање материјала и конструкција Србије (ДИМК), Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2009., стр. 117–130.
- [14.] John D’Angelo, Eric Harm, John Bartoszek, Gaylon Baumgardner, Matthew Corrigan, Jack Cowsert, Thomas Harman, Mostafa Jamshidi, Wayne Jones, Dave Newcomb, Brian Prowell, Ron Sines, and Bruce Yeaton, Warm-Mix Asphalt: European Practice (FHWA-PL-08-007), Federal Highway Administration (FHWA), Washington DC, 2008.
- [15.] John Read, David Whiteoak, The Shell Bitumen Handbook, Fifth Edition, Shell Bitumen, Thomas Telford Publishing, London, 2003.
- [16.] Kim Jenkins, Mix Design Considerations for Cold and Half-Warm Bituminous Mixes with Emphasis on Foamed Bitumen, Doctoral Dissertation, Stellenbosch University, Matieland, 2000.
- [17.] M. Lecomte, F. Deygout, A. Menetti, Emission and occupational exposure at lower asphalt production and laying temperatures, Shell Bitumen, 2009.
- [18.] Миомир Миљковић, Хладна рециклажа на лицу места асфалтних коловозних конструкција уз примену пенастог битумена као везива, Пут и саобраћај, година LV, бр. 2, Друштво за путеве Србије, Београд, 2009., стр. 18–24.
- [19.] Stacey D. Diefenderfer, Kevin K. McGhee, and Bridget M. Donaldson, Installation of Warm Mix Asphalt Projects in Virginia (FHWA/VTRC 07-R25), Virginia Transportation Research Council (VTRC), Charlottesville, VA, 2007.