

Anna CHOMICZ-KOWALSKA¹

Władysław GARDZIEJCZYK²

Mateusz M. IWĄŃSKI³

ANALIZA PORÓWNAWCZA WŁAŚCIWOŚCI BETONU ASFALTOWEGO WYTWARZANEGO W TECHNOLOGII NA GORĄCO I NA PÓLCIEPŁO Z ASFALTEM SPIENIONYM

Dotychczas w naszym kraju wdrożono produkcję mieszanek mineralno-asfaltowych (mma) w technologii na ciepło (WMA), których temperatury wytwarzania względem klasycznej technologii na gorąco obniżono o około 20-30°C. Jednak dopiero zastosowanie technologii na półciepło (HWMA) z asfaltem spienionym pozwala znacząco obniżyć temperatury technologiczne mma nawet o około 60°C. W artykule zaprezentowano wyniki badań podstawowych parametrów fizycznych i mechanicznych oraz analizę wrażliwości na oddziaływanie wody i niskich temperatur betonu asfaltowego (AC 8) wytwarzanego w technologii HWMA z asfaltem spienionym. Ponadto w celach porównawczych przedstawiono właściwości referencyjnej mieszanki wytwarzanej w tradycyjnej technologii na gorąco, zagęszczanej w temperaturze 140°C. Przedstawiono korzystny wpływ modyfikacji asfaltu 50/70 (przed procesem spieniania) woskiem syntetycznym Fischera-Tropscha (FT) w ilości 2,5% na wybrane parametry mieszanek AC 8. Ocenie porównawczej poddano zawartość wolnych przestrzeni w próbkach, wodoodporność z jednym cyklem zamrażania (*ITSR*) zgodnie z procedurą zamieszczoną w dokumencie aplikacyjnym WT-2 2010 oraz moduły sztywności (S_m) w schemacie pośredniego rozciągania (IT-CY) w temperaturze -10°C, 0°C, +10°C i +25°C. Stwierdzono, że beton asfaltowy zagęszczany w 95°C z asfaltem spienionym modyfikowanym woskiem syntetycznym (FT=2.5%) uzyskał porównywalne parametry do referencyjnej mieszanki zagęszczanej w temperaturze aż o 45°C wyższej.

Słowa kluczowe: asfalt spieniony, technologia na gorąco HMA (*Hot Mix Asphalt*), technologia na półciepło HWMA (*Half-Warm Mix Asphalt*)

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Anna Chomicz-Kowalska, Politechnika Świętokrzyska, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, akowalska@tu.kielce.pl

² Władysław Gardziejczyk, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, w.gardziejczyk@pb.edu.pl

³ Mateusz M. Iwański, Politechnika Świętokrzyska, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, matiawanski@tu.kielce.pl

1. Wstęp

Ochrona środowiska oraz dążenie do ograniczenia energochłonności materiałów budowlanych powoduje konieczność wdrażania nowych technologii w drogownictwie. Szczególną uwagę zwraca się na obniżenie temperatury wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych (mma), która w klasycznej metodzie stosowanej obecnie w naszym kraju, tj. na gorąco (HMA – *Hot Mix Asphalt*) wynosi około 160-180°C. Technologia ta jest energochłonna, a w procesie produkcyjnym wydziela się duża ilość gazów cieplarnianych, które negatywnie oddziałują na środowisko naturalne.

Od kilkunastu lat w światowym drogownictwie, w tym od niedawna również i w Polsce [4, 5, 9], stosowane są technologie na ciepło (WMA – *Warm Mix Asphalt*), gdzie temperatura wytwarzania mma wynosi 100°C-140°C. Proces obniżenia temperatury w tej metodzie następuje dzięki zastosowaniu dodatków chemicznych bądź poprzez redukcję lepkości lepiszcza na skutek zastosowania substancji organicznych, np.: wosków syntetycznych uzyskiwanych w procesie syntezy Fischera-Tropscha (FT). Jednakże dopiero produkcja niskotemperaturowych mma w technologii na półciepło (HWMA – *Half-Warm Mix Asphalt*) z asfaltem spienionym umożliwia ich wytwarzanie w temperaturach poniżej 100°C. Technologia spieniania wodą w porównaniu do technologii WMA nie wymaga użycia dodatków chemicznych lub substancji organicznych [10], jednakże zaleca się ich stosowanie w przypadku, gdy lepiszcze słabo się pieni [1], bądź w celu poprawy zagęszczalności i/lub parametrów mechanicznych mma. Technologia ta dodatkowo charakteryzuje się tym, że nie zachodzi potrzeba całkowitego wysuszenia kruszywa, ponieważ woda błonkowa pozostająca na jego powierzchni odgrywa korzystną rolę, wpływając na proces dodatkowego spieniania się asfaltu [3], przez co ogranicza się zużycie energii podczas suszenia kruszywa. Jednakże wytwarzanie mma w tak obniżonych temperaturach stwarza ryzyko niedostatecznego jej zagęszczenia, w efekcie czego warstwa asfaltowa może nie uzyskać wymaganej odporności na oddziaływanie wody i będzie podlegać przyspieszonej destrukcji. Jednym ze sposobów przeciwdziałania tym ewentualnym negatywnym skutkom jest stosowanie asfaltu spienionego o dobrych parametrach jakościowych. Jest on otrzymywany w wyniku modyfikacji asfaltu przed spienieniem za pomocą wosku syntetycznego FT, który korzystnie wpływa na poprawę pienistości asfaltu oraz na właściwości mma [1,2].

2. Cel i zakres badań

Celem badań było porównanie wybranych właściwości mieszanek betonu asfaltowego wytwarzanego w technologii HWMA z asfaltem spienionym z właściwościami mieszanek produkowanych w klasycznej metodzie na gorąco.

W badaniach stosowano mma, która zaprojektowana została w oparciu o krajowe wymagania [8] stawiane mieszankom betonu asfaltowego AC 8 do warstwy

Tablica 1. Skład ramowy i uziarnienie betonu asfaltowego AC 8

Table 1. Constitution of AC 8 asphalt concrete mix

Skład ramowy betonu asfaltowego AC 8							
Materiały	Kruszywo wypełniające	Kruszywo drobne 0/2 mm	Kruszywo grube 2/5 mm	Kruszywo grube 4/8 mm		Asfalt 50/70	
	Wapienne		Gablo				
mm (% m/m)	7,0	37,0	16,0	40,0		-	
mma (% m/m)	6,6	34,8	15,1	37,7		5,8	
Uziarnienie betonu asfaltowego AC 8							
Sito	0,063	0,125	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Uziarnienie	7,9	10,4	42,2	54,2	66,3	96,0	100,0

ścieralnej nawierzchni obciążonej ruchem KR1-KR2. Jej skład ramowy (mieszanki mineralnej (mm) i mma) oraz uziarnienie zamieszczono w tablicy 1.

Do mieszanki AC 8 wytwarzanej w tradycyjnej technologii na gorąco zastosowano asfalt 50/70 (AC8-HMA), natomiast do mieszanek produkowanych w technologii HWMA dozowano pianę asfaltową otrzymaną z lepiszcza 50/70 (AC8-HWMA+FB) oraz z asfalt 50/70 modyfikowanego woskiem FT w ilości 2,5% w stosunku do masy lepiszcza (AC8-HWMA+FB+2,5FT). Optymalna zawartość wody spieniającej, którą dozowano celem wyprodukowania piany asfaltowej wynosiła 2,5% dla asfaltu 50/70 oraz 2,0% dla asfaltu z dodatkiem wosku syntetycznego. Zastosowanie środka redukującego lepkość lepiszcza przed procesem spienienia umożliwiło zmniejszenie jego temperatury wyjściowej oraz ilości dozowania wody spieniającej dla zachowania korzystnych parametrów spieniania (ekspansji i okresu półtrwania) [1]. Zbyt duża jej ilość wpływa negatywnie na obniżenie temperatury powstałej piany asfaltowej i szybką utratę jej stabilności (tj. skrócenie okresu jej półtrwania).

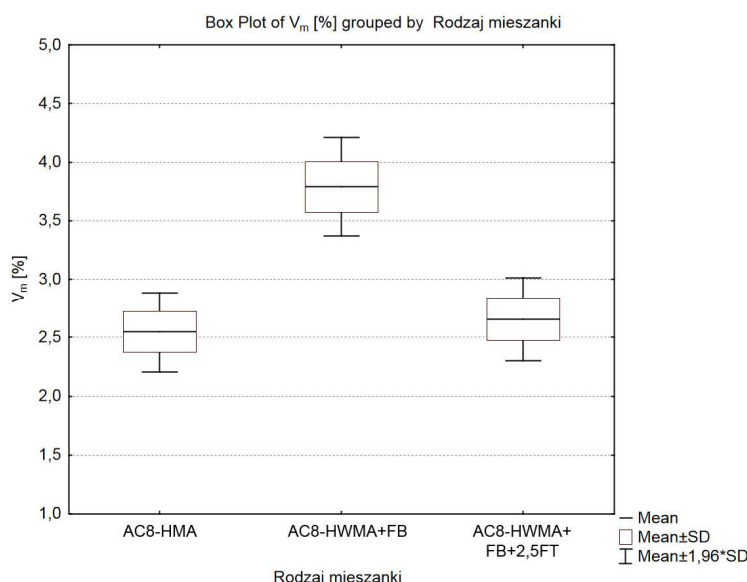
Oceny wpływu technologii wytwarzania betonu asfaltowego dokonano na podstawie oznaczenia następujących parametrów:

- zawartość wolnych przestrzeni (V_m , %) wg PN-EN 12697-8:2005,
- odporność na działanie wody z jednym cyklem zamrażania zgodnie z WT-2 2010 na podstawie oceny wytrzymałości na pośrednie rozciąganie dla grupy próbek mokrych (ITS_w) i suchych (ITS_d) oraz wskaźnika $ITSR$,
- moduł sztywności (S_m) w schemacie pośredniego rozciągania (IT-CY) w temperaturze -10°C, 0°C, 10°C, 25°C wg PN-EN 12697-26:2012 (załącznik C).

Próbki z mieszanki referencyjnej zagęszczano w temperaturze 140°C, natomiast próbki z mieszanki AC8-HWMA+FB i AC8-HWMA+FB+2,5FT w temperaturze 95°C. Temperatura produkcji mma była wyższa od temperatury ich zagęszczania o 10°C i 20°C odpowiednio dla technologii HWMA i HMA. W technologii na półciepło dynamika spadku temperatury mieszanki względem technologii na gorąco jest mniejsza co jest spowodowane mniejszą różnicą temperatur między mieszanką mineralno-asfaltową i otoczeniem [6]. Wszystkie parametry oznaczano na 9 próbkach zagęszczanych zgodnie z PN-EN 12697-30:2012 przez ubijanie.

3. Wyniki badań i ich analiza

Miarą zagęszczenia próbek z mieszanki mineralno-asfaltowej jest zawartość wolnych przestrzeni. Odpowiedni poziom tego parametru w próbkach laboratoryjnych oraz w wykonanej warstwie asfaltowej odgrywa znaczącą rolę w zapewnieniu odporności na działanie czynników ruchowych i klimatycznych. W technologii HWMA z asfaltem spienionym z uwagi na znacząco niższe temperatury technologiczne należy dążyć do uzyskania jak najlepszego zagęszczenia w celu zabezpieczenia warstwy asfaltowej przed destrukcyjnym wnikaniem wody. Na rysunku 1 przedstawiono średnie zawartości wolnych przestrzeni (V_m) w próbkach betonu asfaltowego zagęszczanego w temperaturze 140°C i 95°C.



Rys. 1. Zestawienie średnich zawartości wolnych przestrzeni w mieszankach betonu asfaltowego produkowanego w technologii HMA i HWMA z asfaltem spienionym (bez i z dodatkiem wosku FT)

Fig. 1. Mean values of air void content in asphalt concrete mixes produced using the described HMA and HWMA (with foamed bitumen) techniques

Z powyższych danych wynika, że istnieje wyraźna różnica w uzyskanych średnich zawartościach wolnych przestrzeni w mieszankach zagęszczanych w technologii HMA i HWMA. Największą wartość analizowanej cechy ($V_m=3.79\%$) uzyskała mieszanka AC8-HWMA+FB, tj. wytwarzana w technologii HWMA z asfaltem spienionym. Natomiast obecność wosku FT w mieszance AC8-HWMA+FB+2,5FT poprawiła jej urabialność w temperaturze zagęszczania wynoszącej 95°C i pozwoliła na uzyskanie zawartości wolnych przestrzeni na poziomie porównywalnym z wynikami uzyskanymi dla referencyjnej mieszanki AC8-HMA zagęszczanej w temperaturze wyższej o 45°C względem

technologii HWMA. Tylko w mieszance HWMA z asfaltem spienionym bez modyfikacji woskiem FT zawartość wolnych przestrzeni w próbkach nie mieściła się w dopuszczalnych granicach, tj. od 1% do 3%.

Kolejnym parametrem poddanym analizie była odporność na działanie wody mieszanek betonu asfaltowego, która stanowi bardzo ważny parametr w zapewnieniu trwałości warstw asfaltowych w warunkach klimatycznych występujących w Polsce, gdzie nawierzchnia poddawana jest nasączeniu wodą oraz wielokrotnym cyklom zamrażania i rozmrażania. Średnie gęstości objętościowe dla danej serii próbek nie różniły się więcej niż 15 kg/m^3 (zgodnie z WT2 2010), a stopień nasycenia próbek wodą był zgodny z zapisami WT2 2014.

Uzyskane rezultaty badań mma wytwarzanej w klasycznej metodzie na gorąco oraz w technologii półciepło z asfaltem spienionym zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 2. Wyniki badań mieszanek AC 8 wytwarzanych w technologii HMA i HWMA

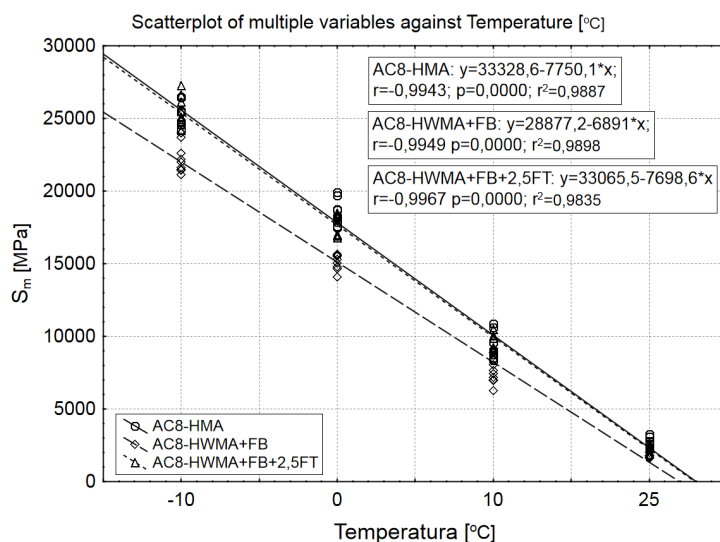
Table 2. Test results of AC 8 asphalt concrete mixes produced using HMA and HWMA techniques

Parametr	Rodzaj mieszanki					
	AC8-HMA		AC8-HWMA+FB		AC8-HWMA+FB+2,5FT	
	Mean	Std.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
$ITS_d [\text{kPa}]$	1052	75,578	845	73,023	1145	33,265
$ITS_w [\text{kPa}]$	1024	51,272	728	48,982	1070	36,079
$ITSR [\%]$	97,3		86,1		93,4	

Wyniki oznaczenia wytrzymałości na pośrednie rozciąganie oraz obliczone na ich podstawie wartości wskaźników $ITSR$ betonu asfaltowego pokazały podobną zależność jak w przypadku cechy V_m . Największą wytrzymałością w pośrednim rozciąganiu po procesie kondycjonowania w warunkach powietrzno-suchych (ITS_d) a także po kondycjonowaniu symulującym oddziaływanie wody z jednym cyklem zamrażania (ITS_w) charakteryzował się beton asfaltowy wytwarzany w technologii HWMA z asfaltem spienionym modyfikowanym woskiem syntetycznym. Nieznacznie niższe, średnio o około 6% wartości badanych parametrów mechanicznych zanotowano dla mieszanki produkowanej w technologii HMA.

Największą odporność na oddziaływanie wody ($ITSR$) uzyskała mieszanka AC8-HMA zagęszczana w klasycznej technologii na gorąco. Równie korzystne ($> 90\%$) wartości wskaźnika $ITSR$ zanotowano dla mieszanki produkowanej w obniżonej temperaturze z asfaltem spienionym poddanym modyfikacji woskiem FT. Mieszanka AC8-HWMA+FB uzyskała wartość $ITSR$ poniżej wymaganej wartości 90% wg [8] ($ITSR=86,1\%$).

Kolejnym analizowanym parametrem był moduł sztywności (S_m) mieszanek betonu asfaltowego, charakteryzujący sztywność mma pod działaniem obciążenia dynamicznego. Rezultaty pomiarów modułu sztywności metodą pośredniego rozciągania mieszanek AC 8 w aspekcie zastosowanej technologii oraz temperatury badania zilustrowano na rysunku 2.



Rys. 2. Zależność zmian cechy S_m od temperatury badania mieszanek AC 8 produkowanych w technologii HMA i HWMA z asfaltem spienionym (bez i z dodatkiem wosku FT)

Fig. 2. Stiffness modulus of the analyzed asphalt concrete AC 8 mixes in different temperature

Dokonując analizy wyników pomiarów modułu sztywności metodą pośredniego rozciągania można stwierdzić, że sztywność mieszanek AC8-HWMA+FB i AC8-HWMA+FB+2,5FT, które zagęszczane były w tej samej temperaturze (95°C) różniła się istotnie w każdej temperaturze pomiaru. Otrzymane zależności pokazały dużą efektywność działania wosku FT w obniżonych temperaturach produkcji betonu asfaltowego, w pełnym zakresie temperatury pomiaru (od -10°C do +25°C). Ustalone praktycznie identyczne przebiegi funkcji liniowych dla klasycznej mieszanki HMA i zagęszczanej w 95°C z dodatkiem wosku syntetycznego (AC8-HWMA+FB+2,5FT) pozwalają wnioskować o zbliżonym zachowaniu obu mieszanek pod obciążeniem przy zmiennych warunkach temperaturowych. Zatem spodziewać się można, że w wyższych temperaturach (np. jak podczas badania koleinowania w 60°C) właściwości tych mieszanek również będą podobne. Obecność wosku FT w temperaturach technologicznych zmniejsza lepkość lepiszcza poprawiając urabialność i zagęszczalność mma, zaś w temperaturach eksploatacyjnych wpływa istotnie na zmiany w strukturze asfaltu i powstałego materiału, zwiększając sztywność i odporność na powstawanie deformacji trwałych w nawierzchni [7]. Natomiast mieszanka AC8-HWMA+FB, wyprodukowana w technologii HWMA na bazie czystego lepiszcza 50/70 uzyskała istotnie mniejsze wartości modułów sztywności w pełnym zakresie temperatury pomiaru. Zbyt duża w niej zawartość wolnych przestrzeni a więc i zmniejszona sztywność skutkować może podatnością na dogęszczanie w okresie letnim.

4. Wnioski

Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań laboratoryjnych można sformułować następujące wnioski:

- modyfikacja lepiszcza 50/70 woskiem FT w ilości 2.5% spowodowała korzystne zmiany w mieszance betonu asfaltowego wytwarzanego w technologii HWMA, prowadząc do uzyskania porównywalnych parametrów fizycznych i mechanicznych do referencyjnej mieszanki AC 8 produkowanej w klasycznej technologii na gorąco;
- mieszanka AC 8 wytwarzana w technologii na półciepło bez dodatku wosku FT cechowała się niedostateczną urabialnością i zagęszczalnością, w wyniku czego nie osiągnęła wymaganej wodoodporności w świetle procedury badawczej wg WT-2 2010;
- potwierdzona została duża efektywność działania wosku syntetycznego w poprawie zagęszczalności mma w obniżonych temperaturach, prowadząc do uzyskania prawidłowego zagęszczenia w 95°C, porównywalnego do mieszanki zagęszczanej w temperaturze 140°C.

Literatura

- [1] Iwański M., Chomicz-Kowalska A., Maciejewski K.: Application of synthetic wax for improvement of foamed bitumen parameters, CBM, Vol. 83, 2015, pp. 62-69, DOI:10.1016/j.conbuildmat.2015.02.060.
- [2] Iwański M., Chomicz-Kowalska A., Mrugała J.: Application of the synthetic wax to improve the foamed bitumen parameters used in half-warm bituminous mixtures. 9th International Conference Environmental Engineering. Procedia Engineering, Vilnius, Lithuania, 2014, DOI:10.3846/enviro.2014.154.
- [3] Jenkins K.J.: Mix Design Considerations for Cold and Half-Warm Bituminous Mixes with Emphasis on Foamed Bitumen. PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Stellenbosch, South Africa, 2000.
- [4] Judycki J., Stienss M.: Badania mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze otaczania, Raport końcowy, GDDKiA, 2011.
- [5] Król J., Radziszewski P., Piłat J., Kowalski K., Matraszek K.: Technologie WMA w aspekcie modyfikacji właściwości lepiszczy asfaltowych. Projekt MMAC – cz.1, Magazyn Autostrady, 5/2011, s. 72-76.
- [6] Mieczkowski P.: The effect of weather and climatic factors on temperature drops in built-in asphalt mixtures, Foundations of civil and environmental engineering, No 9, 2007, pp. 95-104.
- [7] Silva H., Oliviera J., Peralta J., Zoorob S.: Optimization of warm mix asphalts using different blends of binders and synthetic paraffin wax contents, CBM 24, 2010, pp. 1621-1631, DOI:10.1016/j.conbuildmat.2010.02.030.
- [8] WT-2. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Część I. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania Techniczne. Warszawa 2010.

- [9] Vaitkus A., Čygas D., Laurinavičius A., Perveneckas Z.: Analysis and Evaluation of Possibilities for The Use of Warm Mix Asphalt in Lithuania, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Vol IV, No 2, 2009, p. 80-86, DOI: 10.3846/1822-427X.2009.4.80-86.
- [10] Yu X., Wang Y., Luo T.: Impacts of water content on rheological properties and performance-related behaviours of foamed war-mix asphalt, CBM 48, 2013, pp. 203-209, DOI:10.1016/j.conbuildmat.2013.06.018.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SELECTED PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE PRODUCED IN HOT MIX AND HALF-WARM MIX TECHNOLOGY WITH FOAMED BITUMEN

Summary

So far, warm mix asphalt (WMA) techniques have been utilized in Poland to reduce the production temperatures of mineral-bitumen mixtures up to 20°C-30°C when compared to the classic hot mix asphalt (HMA) technology. But it is only the implementation of half-warm mixes (HWMA) with foamed bitumen which enable to significantly reduce the production temperatures of asphalts, even as much as by 60°C. The paper presents the results of some basic analyses of physical and mechanical properties, as well as the analysis of susceptibility to moisture and frost damage of AC 8 asphalt concrete mix produced in HWMA technique with foamed bitumen. A reference mixture produced in HMA technique and compacted at 140°C was also evaluated for comparisons. It was found that the modification of 50/70 bitumen with Fischer-Tropsch synthetic wax prior to foaming (2,5%) had a positive influence on the properties of the mix. The analyzed parameters included air void content in laboratory samples, moisture susceptibility with one freeze-thaw cycle (*ITSR*) in accordance to the WT-2 2010 guidelines and stiffness moduli (S_m) in indirect tension (IT-CY) at different temperatures (-10°C, 0°C, 10°C, 25°C). It was concluded that the asphalt concrete with foamed bitumen modified with FT synthetic wax, compacted at 95°C had similar properties to the reference HMA mix.

Keywords: Foamed bitumen, HMA (Hot Mix Asphalt), HWMA (Half-Warm Mix Asphalt)

Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.74