

Analiza właściwości asfaltu spienionego 50/70 w aspekcie przydatności do mieszanek mineralno-asfaltowych

Anna Chomicz-Kowalska

Katedra Inżynierii Komunikacyjnej, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Świętokrzyska, e-mail: akowalska@tu.kielce.pl

Streszczenie: Celem badań była analiza właściwości asfaltu spienionego wyprodukowanego z lepiszcza 50/70 w aspekcie oceny jego przydatności w drogownictwie podczas wytwarzania materiałów przeznaczonych do warstw konstrukcji nawierzchni drogowej. W celu poprawy jego pienistości zastosowano modyfikator w postaci wosku syntetycznego Fishera-Tropscha (*FT*) w ilości 1,0%, 2,0% i 3,0% w stosunku do masy asfaltu. Ocenie poddano parametry lepiszczy przed i po procesie spieniania. Pomiar cech piany asfaltowej przeprowadzono przy zmianie poziomu wody spieniającej (*FWC*) w zakresie od 1,5% do 4,0% ze wzrostem co 0,5%. Na podstawie analizy wyników badań ustalono optymalne zakresy dozowania obu składników (*FT*, *FWC*) oraz dokonano klasyfikacji uzyskanych lepiszczy w zakresie ich przeznaczenia do wybranych technologii.

Słowa kluczowe: asfalt spieniony, wskaźnik ekspansji, okres półtrwania, wskaźnik piany, mieszanki mineralno-asfaltowe „na ciepło”, mieszanki mineralno-asfaltowe „na półciepło”.

1. Wprowadzenie

Obecnie w Polsce podstawową technologią stosowaną w drogownictwie do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) podczas wykonywania warstw konstrukcyjnych jest technologia „na gorąco” *HMA (Hot Mix Asphalt)*, w której istnieje konieczność podgrzewania kruszywa i asfaltu do wysokiej temperatury powyżej 150°C. Technologia ta jest bardzo energochłonna, a w procesie produkcyjnym wydziela się duża ilość gazów cieplarnianych, które negatywnie oddziałują na środowisko naturalne. Koncepcja ograniczania energii oraz redukcji emisji szkodliwych substancji do atmosfery w przemyśle drogowym wdrażana i rozwijana jest od wielu lat [1-2], a poszukiwania nad nowymi rozwiązaniami materiałowymi i technologicznymi nadal trwają [3]. Już w 1956 roku prof. Ladis H. Csanyi na Stanowym Uniwersytecie Iowa prowadził badania nad możliwością produkcji asfaltu w formie piany podczas wytwarzania MMA w technologii „na zimno” *CMA (Cold Mix Asphalt)*. W roku 1968 firma Mobil Oil w Australii nabyła prawa do patentu Prof. Csanyi i zmodyfikowała metodę wytwarzania piany asfaltowej poprzez zastąpienie pary zimną wodą. Od tego czasu proces ten stosowany jest na szerszą skalę [4-6].

Od kilkunastu lat w budownictwie drogowym stosowane są technologie mieszanek mineralno-asfaltowych „na ciepło” *WMA (Warm Mix Asphalt)*, których temperatura wytwarzania wynosi 100°C-140°C. Proces obniżenia temperatury w technologii *WMA* może nastąpić dzięki zastosowaniu dodatków chemicznych bądź poprzez redukcję lepkości lepiszcza na skutek zastosowania modyfikatorów organicznych np.: wosków syntetycznych uzyskiwanych w procesie syntezy Fischera-Tropscha (*FT*). Wosk syntetyczny *FT* istotnie oddziałuje na właściwości reologiczne asfaltu podwyższając lepkość lepiszcza w zakresie temperatury poniżej 100°C, zwiększając tym samym temperaturę jego mięknięcia, natomiast w temperatu-

rze powyżej 100°C gwałtownie zmniejsza lepkość asfaltu w wyniku czego możliwe jest obniżenie temperatury zagęszczenia mieszanki mineralno-asfaltowej o około 30°C [7].

Redukcja temperatury wytwarzania i wbudowywania MMA możliwa jest również poprzez modyfikację procesu technologicznego w wyniku spieniania asfaltu w obecności wody bądź poprzez zastosowanie Zeolitu. Jenkins z zespołem badawczym [6] opracowali nowy proces produkcji MMA „na półciepło” *HWMA* (*Half Warm Mix Asphalt*) z asfaltem spienionym, których temperatura wynosi poniżej 100°C. Technologia spieniania wodą w porównaniu do technologii *WMA* nie wymaga użycia dodatków chemicznych [8], jednakże zaleca się ich stosowanie w przypadku gdy lepiszcze słabo się pieni. Wprowadzenie technologii *HWMA* z asfaltem spienionym do wykonawstwa drogowego pozwoli na ochronę środowiska naturalnego poprzez wyraźną redukcję emisji szkodliwych substancji do atmosfery powstających w tradycyjnej technologii *HMA* oraz ograniczy zużycie nieodnawialnej energii podczas wytwarzania MMA [5] [8-9].

2. Cel i zakres badań

2.1. Cel badań

W budownictwie drogowym stosowane są różne rodzaje asfaltów, których właściwości fizyczne i reologiczne zależą m.in. od rodzaju ropy naftowej, z której je wyprodukowano jak i zastosowanej technologii przeróbki, składu oraz struktury chemicznej czy budowy koloidalnej [10]. Jenkins [11] potwierdził wpływ wymienionych czynników na jakość wytwarzanej piany asfaltowej. Z uwagi na skłonność twardszych asfaltów do zatykania komory ekspansji i dyszy rozpylającej do produkcji piany preferowane są asfalty o większej penetracji, gdzie proces zatorowości jest praktycznie wyeliminowany [11]. Użycie bardziej miękkiego asfaltu pozwala ponadto uzyskać korzystniejsze cechy piany [11-12], jednakże w tym przypadku spodziewać się można negatywnego wpływu lepiszcza na zapewnienie odporności MMA na deformacje trwałe.

Celem badań laboratoryjnych była analiza właściwości asfaltu spienionego wytworzonego z lepiszcza 50/70 w aspekcie jego przydatności w drogownictwie podczas produkcji materiałów przeznaczonych do warstw konstrukcji nawierzchni drogowych. W celu wykazania możliwości stosowania go w szerszym zakresie do technologii spieniania, bazowe lepiszcze poddano modyfikacji woskiem syntetycznym *FT*, który obniżając lepkość asfaltu w temperaturach powyżej 100°C [7] (przed procesem spieniania) wpływa na poprawę parametrów piany asfaltowej [13] odpowiedzialnych za prawidłowe jej rozproszenie i obtoczenie mieszanki mineralnej. Ponadto z uwagi na obecność wosku *FT* zwiększającego sztywność lepiszcza w rezultacie uzyskać można poprawę cech mechanicznych MMA a w szczególności zwiększenie jej odporności na powstawanie deformacji trwałych [7] [9].

2.2. Program badań

Zakres prac badawczych związanych z ustaleniem przydatności asfaltu 50/70 do technologii spieniania podczas produkcji materiałów do warstw konstrukcji nawierzchni drogowej podzielono na dwa etapy. Pierwszy obejmował określenie podstawowych parametrów asfaltów (przed spienieniem), natomiast podczas drugiego etapu badań dokonano pomiaru cech piany asfaltowej.

Jak już wspomniano, technologia spieniania wodą nie wymaga stosowania dodatków chemicznych, natomiast zaleca się ich użycie gdy lepiszcze słabo się pieni. W celu wykazania możliwości stosowania asfaltu 50/70 do technologii spieniania w szerszym zakresie, do poprawy jego pienistości zastosowano wosk syntetyczny *FT* w ilości 1,0%, 2,0% i 3,0% wagowo.

2.2.1. Podstawowe parametry asfaltów

Analizę wpływu modyfikatora *FT* w zakresie jego zawartości od 1,0% do 3,0% na zmiany właściwości asfaltu 50/70 przeprowadzono na podstawie oznaczenia następujących cech: penetracji w 25°C (*Pen25*), temperatury mięknięcia (T_{PK}) oraz temperatury łamliwości ($T_{Fraassa}$). Ponadto dodatkowym parametrem wyznaczonym podczas badań był indeks penetracji (*PI*) obliczany na podstawie pomierzonych dwóch parametrów reologicznych asfaltu (T_{PK} , *Pen25*), który umożliwia ocenę wrażliwości termicznej asfaltu i wskazuje na dynamikę zmian jego twardości przy zmianie temperatury.

Ocenę istotności różnic między wartościami analizowanych cech lepszczy dla czynnika *FT* przeprowadzono w układzie jednoczynnikowej analizy wariancji (*one-way ANOVA*).

2.2.2. Parametry asfaltów spienionych

Właściwości fizyczne piany asfaltowej oceniane są na podstawie dwóch empirycznych parametrów: wskaźnika ekspansji *ERm* (*maximum Expansion Ratio*) oraz okresu półtrwania *HL* (*Half-life*) [11]. Parametr *ERm* jest miarą lepkości piany asfaltowej i określa on jak dobrze dysperguje w mieszance mineralnej w celu zapewnienia jednorodnej struktury. Okres półtrwania natomiast jest miarą stabilności piany i dostarcza orientacyjnych informacji na temat prędkości jej rozpadu [4]. Pomiedzy tymi parametrami istnieje odwrotna zależność, gdzie zwiększanie ilości wody spieniającej powoduje przyrost wskaźnika ekspansji a jednocześnie następuje zmniejszanie okresu półtrwania [14].

Charakterystyka asfaltu spienionego na podstawie oznaczenia jego podstawowych parametrów (*ERm*, *HL*) nie dostarcza pełnych informacji o zdolnościach do pienia się danego rodzaju lepisczka. Kompleksową ocenę w tym zakresie przeprowadza się na podstawie obliczenia wskaźnika *FI* (*Foam Index*) (wzór 1) uwzględniającego zmianę cechy *ERm* w funkcji czasu [11].

$$FI = \frac{-HL}{\ln 2} \cdot \left(4 - ERm - 4 \ln \left(\frac{4}{ERm} \right) \right) + \left(\frac{1+c}{2c} \right) \cdot ERm \cdot t_s \quad (1)$$

gdzie *c* jest współczynnikiem korygującym ($c=ERm/ERa$), *HL* okresem półtrwania [s], t_s czasem rozpylania [s], *ERm* zmierzonym wskaźnikiem ekspansji (natychmiast po rozpyleniu) a *ERa* rzeczywistym wskaźnik ekspansji.

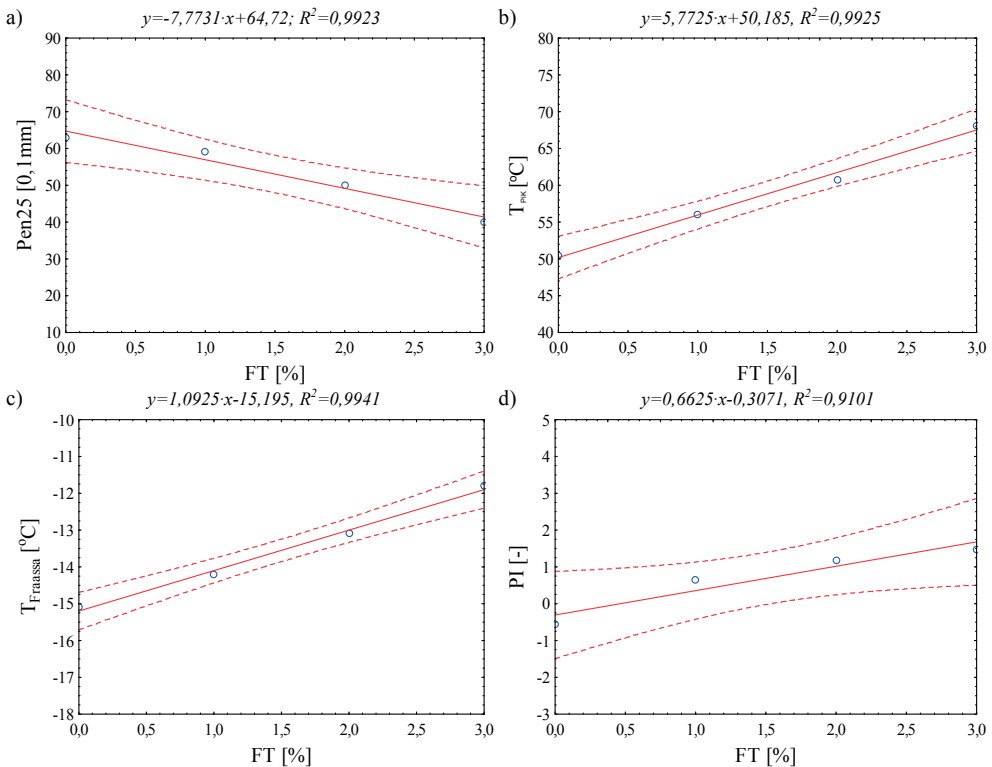
Drugi etap badań polegał na oznaczeniu parametrów piany asfaltowej (*ERm*, *HL*, *FI*) wytworzonej z lepisczka 50/70 przed i po procesie modyfikacji. Pomiar wymienionych cech wykonano dla materiału wytworzonego w warunkach laboratoryjnych w urzędzeniu badawczym WLB 10S firmy Wirtgen GmbH, przy następujących warunkach: temperatura wody: 20°C, przepływ wody: 100g/s, czas wytwarzania piany asfaltowej: 5s, ciśnienie powietrza: 500kPa, ciśnienie wody: 600kPa.

Do ustalenia optymalnych cech piany asfaltowej zawartość wody spieniającej *FWC* (*Foaming Water Content*) wynosiła od 1,5% do 4,0% zwiększając jej ilość co 0,5% wagowo. Zakresy aplikacji wody spieniającej oraz warunki produkcji piany dobrane zostały na podstawie doświadczeń własnych [15-16] oraz innych badaczy [14]. W oparciu o uzyskane wyniki z wykonanych pomiarów określono poziom analizowanych czynników (*FT*, *FWC*) z przeznaczeniem asfaltów spienionych do wybranych technologii. Ocenę istotności różnic między wartościami analizowanych cech asfaltów spienionych dla badanych czynników przeprowadzono w układzie dwuczynnikowej analizy wariancji (*two-way ANOVA*).

3. Wyniki badań i ich analiza

3.1.1. Podstawowe właściwości asfaltów

Pierwszy etap badań dotyczył oceny wpływu wosku FT na podstawowe parametry reologiczne asfaltów przed i po procesie modyfikacji. Na rysunku 1 zilustrowano średnie wartości badanych cech ($Pen25$, T_{PiK} , $T_{Fraassa}$, IP) wraz z 95% przedziałem ufności. Natomiast w tabeli 1 zestawiono ocenę istotności wpływu czynnika FT na dystrybucję wymienionych parametrów z zastosowaniem analizy wariancji (*one-way ANOVA*).



Rys. 1. Wpływ ilości wosku syntetycznego FT na zmienną a) $Pen25$ b) $TPiK$ c) $TFraassa$ d) PI

Tabela 1. Ocena istotności wpływu czynnika FT na badane cechy ($Pen25$, $TPiK$, $TFraassa$) asfaltów

Zmienna	SS	df	MS	F Ratio	p-value
$Pen25$	1271,13	3	423,71	746,62	< 0,001
T_{PiK}	671,47	3	223,82	1164,0	< 0,001
$T_{Fraassa}$	24,012	3	8,004	42,36	0,000001

Z powyższych zależności (rys. 1) wynika, iż wraz ze wzrostem zawartości wosku FT w badanym zakresie (od 1,0% do 3,0%) penetracja uległa zmniejszeniu, natomiast temperatura mięknięcia zwiększała się, w wyniku czego lepiszcze stało się bardziej twarde. Odnosząc się do temperatury 60°C, która uznawana jest jako najwyższa temperatura nawierzchni w okresie lata oraz przyjęta jest również podczas oceny MMA na deformacje trwałe (badanie koleinowania zgodnie z wytycznymi WT-2 2010 oraz PN-EN 12697-22), poziom temperatury mięknięcia większy od tej wartości osiągnięty został dla asfaltu 50/70

przy zawartości wosku *FT* powyżej 2,0%. Na tej podstawie możliwe jest stwierdzenie, iż wzrost temperatury mięknięcia poprzez modyfikację lepiszcza 50/70 ograniczy podatność mieszanek mineralno-asfaltowych na powstawanie deformacji trwałych [7] [9].

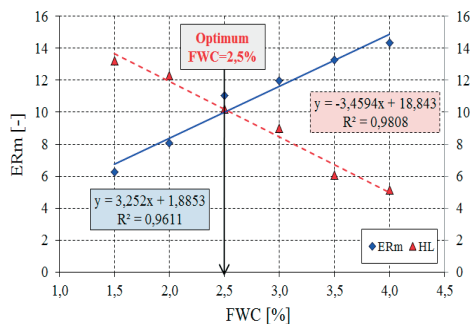
Poddając analizie oznaczenia temperatury łamliwości można stwierdzić, że proces modyfikacji asfaltu 50/70 wywołał znaczące podwyższenie tego parametru z -15,1°C do -11,8°C co oznacza, że asfalt stał się bardziej kruchy w niskich temperaturach. Ostatnim analizowanym parametrem był indeks penetracji, który umożliwia wstępną klasyfikację asfaltów z punktu widzenia ich wrażliwości temperaturowej. Przy ocenie uzyskanych indeksów penetracji należy zauważyć, iż wartości ich ulegały zwiększeniu wraz ze wzrostem ilości wosku syntetycznego *FT* względem bazowego lepiszcza 50/70.

Na podstawie otrzymanych wartości *p-value* (tabela 1) dla statystyki F, które są mniejsze (*p-value* < 0,0001) od założonego poziomu istotności ($\alpha=0,05$) stwierdzić można, że ilość wosku syntetycznego *FT* wywarła istotny wpływ na wartości badanych parametrów asfaltów.

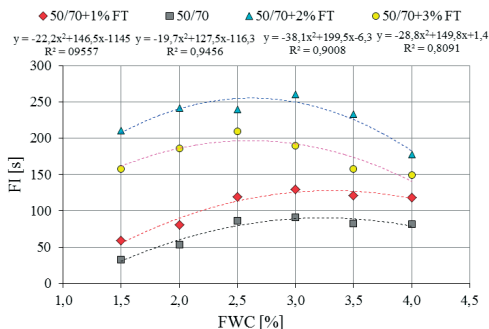
3.1.2. Właściwości asfaltów spienionych

Podstawowym kryterium pozwalającym dokonać oceny przydatności lepiszczy asfaltowych do technologii spieniania jest możliwość wytwarzania z nich piany o wymaganych parametrach. Na podstawie znajomości podstawowych cech reologicznych asfaltów trudno jest ocenić poziom ich zdolności do pienienia się. W związku z tym pomiar parametrów piany przeprowadzono na asfalcie bazowym (50/70) oraz modyfikowanym w pełnym zakresie dozowania wosku *FT* (1,0%, 2,0%, 3,0%).

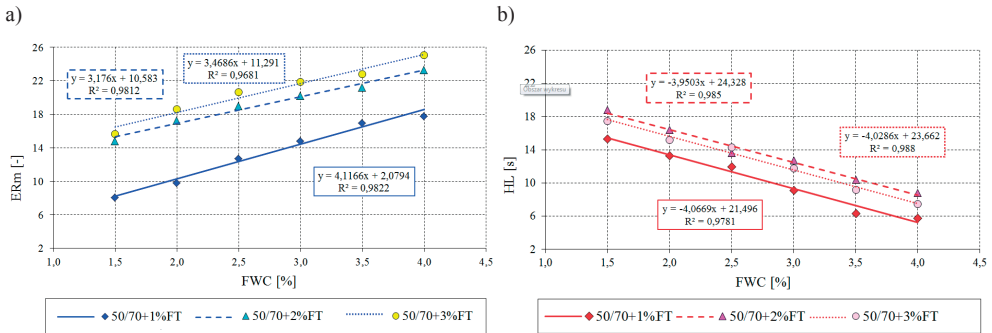
Jak już wspomniano, podczas drugiego etapu badań analizowano następujące parametry: *ERm*, *HL*, *FI*. W celu prawidłowej oceny właściwości piany pomiar ich cech wykonano czterokrotnie przy zmianie poziomu *FWC* (1,5%, 2,0%, 2,5%, 3,0%, 3,5%, 4,0%). W pierwszej fazie analiz na podstawie uzyskanych wyników opracowano zależności pomiędzy cechą *ERm* i *HL* a zmianą poziomu czynnika *FWC*. Otrzymane charakterystyki umożliwiły ustalenie optymalnej zawartości wody spieniającej dla każdego rodzaju lepiszcza. Na rysunku 2 przedstawiono średnie wartości pomierzonych cech (*ERm*, *HL*) dla asfaltu bazowego 50/70 (niemodyfikowanego) oraz graficzny sposób wyznaczania optymalnej *FWC* zgodnie z zaleceniami [17], natomiast na rysunku 3 zilustrowano zależności dla asfaltów modyfikowanych. Rysunek 4 prezentuje obliczone wartości wskaźników *FI*. Analizę wpływu badanych czynników dokonano za pomocą testu istotności (*two-way ANOVA*) zestawiono w tabeli 2, natomiast tabela 3 zawiera ustalone optymalne poziomy *FWC* dla badanych asfaltów.



Rys. 2. Sposób wyznaczania optymalnej zawartości wody spieniającej (*FWC*) dla asfaltu 50/70



Rys. 4. Wpływ ilości wosku *FT* oraz wody spieniającej na zmienną *FI*



Rys. 3. Wpływ zmiany poziomu badanych czynników (FT, FWC) na parametry ERm (a) i HL (b) piany asfaltowej

Tabela 2. Ocena istotności wpływu czynników (FT, FWC) na badane cechy (ERm, HL, FI) asfaltów spienionych

Zmienna	Efekt	SS	df	MS	F Ratio	p-value
ERa	FT	1631,06	3	543,69	3733,7	< 0,001
	FWC	877,23	5	175,45	1204,8	< 0,001
	FT*FWC	18,57	15	1,24	8,5	< 0,001
HL	FT	267,40	3	89,13	908,8	< 0,001
	FWC	1057,98	5	211,60	2157,5	< 0,001
	FT*FWC	16,08	15	1,07	10,9	< 0,001
FI	FT	351562	3	117187	659,48	< 0,001
	FWC	31493	5	6299	35,45	< 0,001
	FT*FWC	23095	15	1540	8,66	< 0,001

Analiza wariancji (tabela 2) ujawniła występowanie istotnych różnic ($p\text{-value} < 0,001$) między wartościami średnimi badanych asfaltów co oznacza, że analizowane czynniki istotnie wpływają na zmiany rozpatrywanych cech asfaltów spienionych.

Ustalone zgodnie z rekomendacjami Muthena [4] optymalne zawartości wody dozowanej podczas procesu spieniania (tabela 3) na podstawie przecięcia się krzywej ERm oraz HL zapewniające stabilność piany asfaltowej różnią się w zależności od zawartości wosku FT . Zanotowano korzystny wpływ modyfikacji lepiszcza 50/70, gdzie nastąpił wzrost wskaźników ekspansji oraz wydłużenie okresu półtrwania w wyniku zwiększania ilości modyfikatora z 1,0% do 2,0%. Przy koncentracji 3,0% wosku FT zanotowano dalszy wzrost cechy ERm natomiast okres półtrwania uległ skróceniu względem asfaltu 50/70+2% FT .

Na podstawie wykonanych pomiarów możliwe jest stwierdzenie zaobserwowane również przez innych badaczy [12] [18], iż lepiszcza o mniejszej lepkości lepiej się pienią i pozwalają na ograniczenie ilości wody niezbędnej podczas procesu ich spieniania. Jednakże obecność wosku w ilości 3,0% niekorzystnie wpłynęła na HL piany asfaltowej. Zbyt mała lepkość lepiszcza wpływająca na uzyskanie piany składającej się z niestabilnych pęcherzy spowodowała nagłe ich pęknięcie prowadząc do skrócenia okresu półtrwania.

Dla asfaltu 50/70 (bazowego) oraz 50/70+1% FT ustalona optymalna zawartość wody spieniającej $FWC=2,5\%$, natomiast przy większych koncentracjach wosku FT zanotowano niższe optymalne wartości FWC (2,0% i 1,5%). Wpływ na zaistniałą sytuację miała mniejsza lepkość asfaltu, która w temperaturach powyżej 100°C (przed spienieniem) maleje wraz ze wzrostem zawartości wosku FT [7].

Do opisu wpływu zmian poziomu badanych czynników (FWC , FT) na właściwości lepiszczy asfaltowych przyjęto następujące modele matematyczne:

- dla cechy *ER* i *HL* wielomian stopnia pierwszego (rys. 5a, rys. 5b),
- dla cechy *FI* wielomian stopnia drugiego (rys. 6).

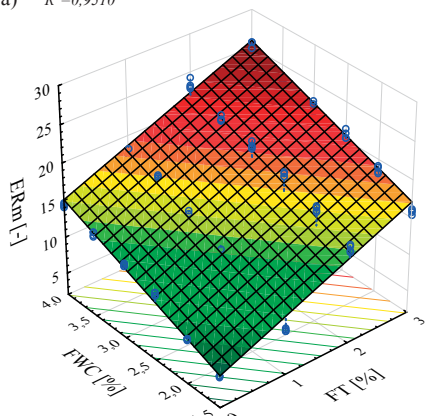
Postać ogólną zapisać można za pomocą równania (2):

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_2 \cdot x_1 + b_4 \cdot x_1^2 + b_5 \cdot x_2^2 \tag{2}$$

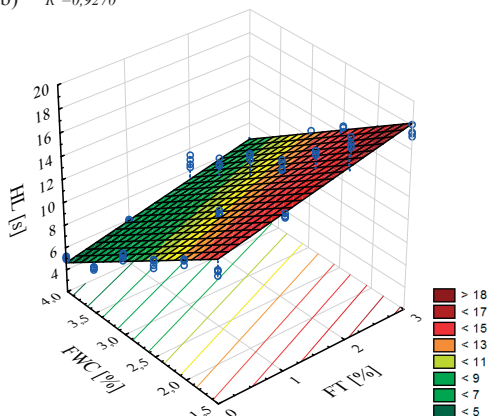
gdzie: $x_1=FT$ [%], $x_2=FWC$ [%], $b_0 \div b_5$ - wartości współczynników eksperymentalnych.

Rezultaty oceny parametrów dopasowania wyników do zaproponowanych modeli przedstawiono w tabeli 4.

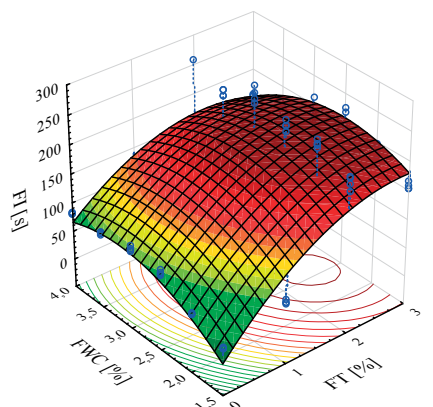
a) $R^2=0,9510$



b) $R^2=0,9270$



Rys. 5. Wpływ poziomu badanych czynników (FT, FWC) w asfalcie spienionym na zmienną ERm (a) i HL (b)



Rys. 6. Wpływ zawartości FT oraz FWC w asfalcie spienionym na zmienną FI ($R^2=0,7294$)

Tabela 3. Właściwości asfaltów spienionych przy optymalnej FWC

Rodzaj asfaltu	ERm [-]	HL [s]	FI [s]	FWC [%]
50/70	11,1	10,2	86,2	2,5
50/70+1%FT	12,8	12,0	119,1	2,5
50/70+2%FT	17,3	16,4	241,12	2,0
50/70+3%FT	15,7	17,5	157,72	1,5

Na podstawie uzyskanych modeli regresji stwierdzić można, iż zwiększanie zawartości wody dozowanej podczas procesu spieniania wyraźnie wpłynęło na uzyskane parametry badanych lepiszczy, zwiększając wartości ich wskaźników ekspansji oraz odwrotnie działając na okres ich półtrwania. Uzyskane wartości współczynników determinacji R^2 wskazują na bardzo dobre (dla zmiennej *ERm* i *HL*: $R^2 > 0,92$) i zadowalające (dla zmiennej *FI*: $R^2 = 0,7294$) dopasowanie otrzymanych modeli matematycznych do danych.

Tabela 4. Wyniki oceny parametrów modeli matematycznych dla cechy ERm, HL i FI asfaltów spienionych oraz oszacowanie ich istotności

Zmienna	Efekt	Wsp. eksp.	Bł. std.	t	p-value	-95,00% gr. ufn.	+95,00% gr. ufn.
ERm	Wyraz wolny	1,04486	0,42359	2,46668	0,0155	0,20369	1,88602
	FT	3,59717	0,10439	34,4578	< 0,001	3,38986	3,80447
	FWC	3,51114	0,13668	25,6882	< 0,001	3,23972	3,78257
HL	Wyraz wolny	20,1425	0,37707	53,4190	0,0000	19,3937	20,8913
	FT	1,29221	0,09293	13,9055	0,0000	1,10767	1,47674
	FWC	-3,8763	0,12167	-31,858	0,0000	-4,1179	-3,6346
FI	Wyraz wolny	-193,64	43,5962	-4,4416	< 0,001	-280,25	-107,03
	FT	139,546	14,9980	9,30432	0,0000	109,750	169,343
	FT ²	-21,313	3,52557	-6,0453	0,0000	-28,317	-14,309
	FWC	173,429	31,8524	5,44475	0,0000	110,148	236,709
	FWC ²	-27,161	5,65349	-4,8044	< 0,001	-38,393	-15,930
	FT*FWC	-11,732	3,69284	-3,1769	0,0020	-19,068	-4,3950

Na podstawie wykonanych pomiarów i analiz dokonano klasyfikacji (tabela 5) lepszy w zakresie przeznaczenia ich do wybranych technologii, które w odniesieniu do założonych kryteriów [11] [19-20] uzyskiwały zalecane wartości badanych cech (*ER*, *HL*, *FI*) przy ustalonym poziomie obu czynników (*FT*, *FWC*).

Tabela 5. Klasyfikacja przydatności asfaltu spienionego na bazie lepizcza 50/70 bez i z modyfikatorem FT do technologii wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych na zimno (CMA) i na półciepło (HWMA)

Rodzaj technologii z zastosowaniem asfaltu spienionego	Rodzaj asfaltu	Ustalone wartości parametrów						Wymagane wartości parametrów
		<i>c</i>	<i>ERm</i>	<i>ERa</i>	<i>HL [s]</i>	<i>FI [s]</i>	<i>FWC</i>	
CMA	50/70	0,83	11,1	13,4	10,2	86,2	2,5	¹⁾ <i>ERa</i> ≥15, <i>HL</i> ≥15, <i>FI</i> ≥164 ^{2a)} <i>ERm</i> ≥10, <i>HL</i> ≥8 ^{2b)} <i>ERm</i> ≥8, <i>HL</i> ≥6 ^{3a)} <i>ERm</i> ≥10, <i>HL</i> ≥6 ^{3b)} <i>ERm</i> ≥8, <i>HL</i> ≥6
	50/70+1% <i>FT</i>	0,82	12,8	15,6	12,0	119,1	2,5	
	50/70+2% <i>FT</i>	0,86	17,3	20,1	16,4	241,12	2,0	
	50/70+3% <i>FT</i>	0,86	15,7	18,3	17,5	157,72	1,5	
HWMA	50/70+2% <i>FT</i>	0,86	17,3	20,1	16,4	241,12	2,0	¹⁾ <i>ERa</i> ≥17, <i>HL</i> ≥13, <i>FI</i> ≥180

¹⁾ Kryterium opracowane przez Jenkinsa [11]

²⁾ Wg „Wirtgen Cold Recycling Technology” [19] w zależności od temperatury materiału mineralnego a) 10°C-15°C b) powyżej 15°C

³⁾ Wg „Technical Guideline TG2” [20] w zależności od temperatury materiału mineralnego a) 10°C-25°C b) powyżej 25°C

4. Wnioski

Na podstawie analizy wykonanych podstawowych badań reologicznych bez i z dodatkiem wosku syntetycznego *FT* oraz w oparciu o ocenę pomierzonych parametrów wytworzonej z nich piany asfaltowej sformułowano następujące wnioski:

- zwiększanie zawartości wosku syntetycznego spowodowało istotne zmiany w uzyskanych wartościach podstawowych cech asfaltów oraz parametrów piany asfaltowej,
- wraz ze wzrostem zawartości wosku *FT* w badanym zakresie (od 1,0% do 3,0%) penetracja uległa zmniejszeniu, natomiast temperatura mięknięcia zwiększała się w wyniku czego lepsze stając się bardziej twarde ograniczy podatność MMA na powstawanie deformacji trwałych,
- w wyniku zwiększania ilości modyfikatora z 1,0% do 2,0% nastąpiła poprawa zdolności do pienia się asfaltu 50/70, gdzie zanotowano wzrost wskaźników ekspansji oraz wydłużenie okresu półtrwania,

- obecność 3,0% wosku *FT* w asfalcie 50/70 niekorzystnie wpłynęła na okres pótrwania piany asfaltowej zmniejszając wartość cechy *HL*,
- dla asfaltu 50/70 oraz 50/70+1%*FT* ustalono optymalną zawartość wody spieniającej na poziomie 2,5%, natomiast przy większych koncentracjach modyfikatora zanotowano mniejsze optymalne wartości *FWC* (dla *FT*=2,0% *FWC*=2,0%, dla *FT*=3,0% *FWC*=1,5%),
- asfalt spieniony wytworzony z lepiszcza 50/70 z zawartością modyfikatora *FT*=2,0% przy *FWC*=2,5% uzyskał najkorzystniejsze parametry (*ERm*=15,7, *HL*=17,5s, *FI*=157,7s), przez co możliwe jest wykorzystanie go do wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii *CMA* i *HWMA*, natomiast pozostałe asfalty spienione zaleca się stosować jedynie do wytwarzania MMA w technologii na zimno.

Literatura

- 1 Król J., Radziszewski P., Piłat J., Kowalski K., Matraszek K. Właściwości lepiszczy asfaltowych modyfikowanych parafinami nowej generacji. Projekt MMAC. cz. 1. Autostrady 5 (2011) 72-76.
- 2 Król J., Radziszewski P., Piłat J., Kowalski K., Matraszek K. Technologie WMA w aspekcie modyfikacji właściwości lepiszczy asfaltowych. Projekt MMAC - cz. 2. Autostrady 7 (2011) 16-20.
- 3 Radziszewski, P. Modified asphalt mixtures resistance to permanent deformation. Journal of Civil Engineering and Management 13(4) (2007) 307-315. DOI:10.1080/13923730.2007.9636451
- 4 Muthen, KM. Foamed asphalt mixes. Mix design procedure. Contract Report CR 98/077, SABITA Ltd & CSIR Transportek (Council for Scientific and Industrial Research Transportek), Pretoria, South Africa (2009).
- 5 Van De Ven MFC., Jenkins KJ., Voskuilen JLM., Van Den Beemt R. Development of (half-) warm foamed bitumen mixes: State of the art. International Journal of Pavement Engineering 8(2) (2007) 163-175. DOI: 10.1080/10298430601149635
- 6 Jenkins KJ. de Groot JLA. Van de Ven MFC. Molenaar AAA. Half-warm Foamed Bitumen Treatment, A New Process. Conference on Asphalt pavements for Southern Africa, Victoria Falls, Zimbabwe (1999).
- 7 Iwański, M., Mazurek, G. Optimization of the Synthetic Wax Content on Example of Bitumen 35/50. Procedia Engineering 57 (2013) 414-423.
- 8 Yu, X., Wang, Y., Luo, Y. Impacts of water content on rheological properties and performance-related behaviours of foamed war-mix asphalt. Construction and Building Materials 48 (2013) 203-209. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2013.06.018.
- 9 Hugo M.R.D. Silva; Joel R.M. Oliveira; Peralta, J. a, Salah E. Zoorob b. Optimization of warm mix asphalt using different blends of binders and synthetic paraffin wax contents, Construction and Building Materials 24(9) (2010) 1621-1631, DOI:10.1016/j.conbuildmat.2010.02.030.
- 10 Gawęł, I., Kalabińska, M., Piłat, J. Asfalty drogowe. WKŁ, Warszawa, 255s. 2001.
- 11 Jenkins, KJ. 2000. 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, Stellenbosch, South Africa.
- 12 Bissada, AF. Structural Response of Foamed-Asphalt-Sand Mixtures in Hot Environments. In: Asphalt materials and mixtures. Washington, Transportation Research Record 1115 (1987) 134-149.
- 13 Iwański, M., Mrugała, J. Beton asfaltowy w technologii na półciepło z asfaltem spienionym. Drogownictwo 4 (2013) 110-115.
- 14 Jenkins, KJ., Molenaar, AAA, de Groot, JLA., Van de Ven, MFC. 2000. Optimisation and Application of Foamed Bitumen in Road Building. Wegbouwkundige Werkdagen, Doorwerth, Netherlands.

- 15 Iwański, M., Chomicz-Kowalska, A. 2012. Moisture and frost resistance of the recycled base rehabilitated with the foamed bitumen technology, Archives of Civil Engineering, Vol. 58, nr 2 (2012) 185-198. DOI: 10.2478/v.10169-012-0011-2
- 16 Iwański, M., Chomicz-Kowalska, A. Laboratory Study on mechanical Parameters of Foamed Bitumen Mixtures in the Cold Recycling Technology. Procedia Engineering 57 (2013) 433-442. DOI:10.1016/j.proeng.2013.04.056
- 17 Kim, Y; Lee, DY. 2003. Development of a mix design process for cold-in place rehabilitation using foamed asphalt. Final report for TR-474 Phase 1, University of Iowa, USA.
- 18 Abel, F. Foamed asphalt base stabilization. 6th Annual Asphalt Paving Seminar, Colorado State University (1978).
- 19 Wirtgen. 2012. Wirtgen Cold Recycling Technology.
- 20 Asphalt Academy. 2009. Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials, A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials, Technical Guideline 2 (TG2).

Analysis of 50/70 foamed bitumen properties in the aspect of its utilization in mineral-bitumen mixtures

Anna Chomicz-Kowalska

*Department of Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Poland
e-mail: a.kowalska@tu.kielce.pl*

Abstract: The aim of the study was to analyze the properties of foamed bitumen produced from 50/70 bitumen in terms of the assessment of its usefulness to the road construction materials. In order to improve the foaming parameters the synthetic wax Fischer-Tropsch (*FT*) in an amount of 1.0%, 2.0% and 3.0% was used. Bitumen binder parameters were evaluated before and after the foaming process. The basic parameters were evaluated (before the foaming process): penetration, Fraass breaking point and softening point. The bitumen foam parameters were measured at the foaming water content (*FWC*) in the range from 1.5% to 4.0% with an increment of 0.5%. The tests allowed determining optimal application ranges for the *FT* and the *FWC* to produce asphalt at lower temperatures.

Keywords: foamed bitumen, expansion ratio, half-life, foam index, warm mix asphalt (WMA), half warm mix asphalt (HWMA)