

Marek IWAŃSKI  
Politechnika Rzeszowska

## BETON ASFALTOWY MODYFIKOWANY PRAFINĄ TWARDOKRYSTALICZNĄ

W celu zapewnienia wymaganego zagęszczania betonu asfaltowego w okresie jesieni niezbędne jest obniżenie lepkości asfaltu. W takiej porze roku istnieje poważne ryzyko niedogęszczenia betonu asfaltowego. W badaniach zastosowano parafinę twardokrystaliczną (modyfikator niskowiskozowy), który dodawano w ilości od 1,5% do 4,0% w stosunku do asfaltu 35/50. Stwierdzono, że zastosowanie parafiny twardokrystalicznej, jako modyfikatora obniżającego lepkość asfaltu, istotnie wpływa na zmiany właściwości betonu asfaltowego. Tego rodzaju modyfikator powoduje polepszenie charakterystyk fizykomechanicznych betonu asfaltowego (takich jak stabilność, osiadanie i sztywność wg Marshalla, wytrzymałość na pośrednie rozciąganie, zawartość wolnych przestrzeni) w porównaniu z zastosowaniem tradycyjnego asfaltu ponaftowego.

### 1. Wstęp

Poprawne zagęszczenie betonu asfaltowego podczas wykonywania warstw konstrukcyjnych drogi do poziomu, w którym zawartość wolnych przestrzeni spełnia kryteria normowe, jest niezbędne. Zapewnia ono większą trwałość zmęczeniową, zwiększa odporność na deformacje trwałe, a także redukuje procesy utleniania i starzenia zachodzące w czasie eksploatacji nawierzchni asfaltowych [2, 3]. W czasie zagęszczania betonu asfaltowego w warstwie konstrukcyjnej nawierzchni następuje redukcja jego początkowej objętości. Efektem tego jest wzrost jego gęstości w wyniku kompresji wolnych przestrzeni, co powoduje zwiększenie ilości zaklinowanego kruszywa oraz wzrost kąta tarcia wewnętrznego w warstwie betonu asfaltowego. Zatem proces zagęszczania betonu asfaltowego w warstwie nawierzchni decyduje o jej trwałości w wymaganym okresie eksploatacji [4].

Na proces właściwego zagęszczenia betonu asfaltowego znaczący wpływ ma niewątpliwie optymalna temperatura, w jakiej jest on wykonywany [1]. Decyduje to o przedziale lepkości asfaltu, w którym jest zapewnione właściwe otoczenie ziaren kruszywa i wymagana ilość energii niezbędna do prawidłowego zagęszczenia betonu asfaltowego [2].

Temperatura zagęszczenia betonu asfaltowego podczas wykonywania warstw konstrukcyjnych nawierzchni zależy przede wszystkim od temperatury jego produkcji oraz temperatury otoczenia. Zaleca się, aby temperatura dostarczanego na budowę betonu asfaltowego wynosiła około 145°C. Oczywiście, dokładana temperatura jest uzależniona od rodzaju zastosowanego w mieszance asfaltu. W okresie lata, kiedy temperatura otoczenia jest wyższa niż 25°C, istnieją warunki do prawidłowego zagęszczenia betonu asfaltowego. Niestety, bardzo często zdarza się, że asfaltowe warstwy konstrukcyjne nawierzchni wykonuje się w okresie późnej jesieni, kiedy temperatura powietrza jest niska. W wyniku tego beton asfaltowy jest zagęszczany w nieodpowiedniej temperaturze, konsekwencją czego jest zbyt duża w nim zawartość wolnych przestrzeni, co z kolei powoduje obniżenie trwałości wykonanej konstrukcyjnej warstwy asfaltowej nawierzchni.

Jedną z metod rozwiązania technologicznych problemów związanych z zagęszczaniem betonu asfaltowego, jak również innych rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych „na gorąco” jest zastosowanie podczas ich produkcji asfaltów niskotemperaturowych. Skład ramowy tych asfaltów został wzbogacony o składniki parafiny twardokrystalicznej obniżające lepkość w wyższych temperaturach. Ponadto tego rodzaju asfalty charakteryzują się znacznie wyższą temperaturą mięknięcia oraz obniżoną lepkością w temperaturze 25°C, w porównaniu z tradycyjnymi asfaltami ponaftowymi [6].

Należy podkreślić, że dodatek parafiny twardokrystalicznej zmniejsza lepkość asfaltu powyżej 120°C, obniżając zakres temperatury zagęszczania mieszanki mineralno-asfaltowej. Natomiast w temperaturze eksploatacyjnej następuje wzrost lepkości asfaltu, co sprzyja zwiększonej odporności asfaltowych warstw konstrukcyjnych na powstawanie odkształceń plastycznych [6].

## 2. Projekt betonu asfaltowego

W celu oceny wpływu ilości parafiny twardokrystalicznej (modyfikatora niskowiskozowego) na właściwości betonu asfaltowego, badania wykonano na betonie asfaltowym o uziarnieniu 0/12,8 mm, przeznaczonym na warstwę ścieralną nawierzchni obciążonej ruchem KR5 zgodnie z PN-S-96025:2000. Zaprojektowano beton asfaltowy z kruszywem głównym gablo (BA-G). Jako kruszywo doziarniające zastosowano mieszankę dolomitową 0/4 oraz piasek łamany granitowy. Skład ramowy mieszanki mineralnej badanego betonu asfaltowego zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład ramowy mieszanki mineralnej betonu asfaltowego

BA-G	Gabro 8/11	Gabro 5/8	Gabro 2/5	Mieszanka 0/4	Piasek granitowy	Mączka wapienna
	26%	13%	11%	23%	21%	6%

Modyfikację asfaltu parafiną twardokrystaliczną dokonano w ilościach: 1,5%, 2,0%, 2,5%, 3,0%, 3,5%, 4,0% wagowo, w stosunku do asfaltu 35/50, na bazie którego wykonano beton asfaltowy [8].

W celu zapewnienia wymaganej adhezji pomiędzy asfaltem a ziarnami kruszywa mieszanki mineralnej, zastosowano dodatek środka adhezyjnego Teramin 14 w ilości 0,2% w stosunku do asfaltu dla badanego betonu asfaltowego. Wymaganą zawartość asfaltu w zaprojektowanych betonach asfaltowych określono na podstawie badań wytrzymałościowych Marshalla.

### 3. Metodyka badań oraz analiza wyników

W celu oceny wpływu ilości parafiny twardokrystalicznej oraz temperatury zagęszczania na właściwości betonu asfaltowego, badano następujące jego podstawowe cechy fizykomechaniczne:

- stabilność (S),
- osiadanie ( $\epsilon$ ),
- sztywność wg Marshalla ( $S_z$ ),
- wytrzymałość na pośrednie rozciąganie (ITS),
- zawartość wolnych przestrzeni (Wp).

Podczas określania wymienionych parametrów, istotnym elementem badań była ocena jednorodności wykonywanych prac. Do badań przyjmowano tylko próbki, w których zawartość wolnych przestrzeni w danej grupie zawierała się w przedziale ( $V - 2s$  ;  $V + 2s$ ), gdzie:  $V$  – średnia wartość wolnych przestrzeni w betonie asfaltowym w danej grupie, a  $s$  – odchylenie standardowe. Należy dodać, że średnie wyników dla każdego wariantu ilości modyfikatora i temperatury charakteryzowały się współczynnikiem zmienności mniejszym niż 15%.

Dokonując analizy wpływu ilości parafiny twardokrystalicznej oraz temperatury zagęszczania na badane cechy fizykomechaniczne, stwierdzono, że do ich opisu istotny statystycznie jest model wielomianu stopnia drugiego [5, 7]. Jego postać można zapisać za pomocą równania:

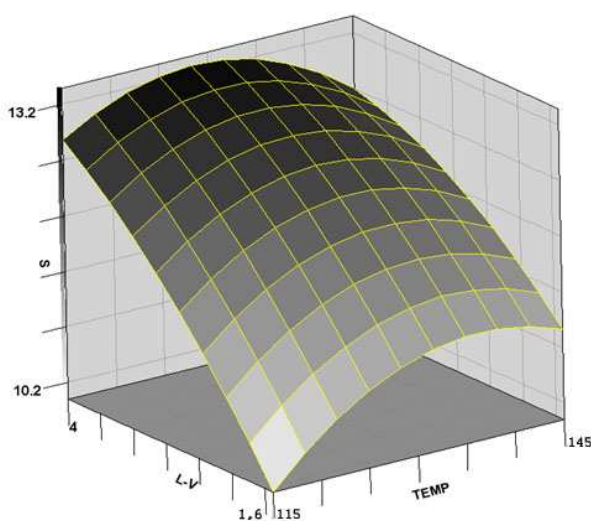
$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_2 \cdot x_1 + b_4 \cdot x_1^2 + b_5 \cdot x_2^2 \quad (1)$$

gdzie:  $x_1$  – temperatura zagęszczania [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$x_2$  – zawartość modyfikatora niskowiskozowego [%],

$b_0$ - $b_5$  – wartości bezwymiarowych współczynników eksperymentalnych.

Jednym z podstawowych parametrów fizykomechanicznych, który oceniano w procesie badań laboratoryjnych, była stabilność oraz towarzyszące jej osiadanie. Uzyskane wyniki w graficznej postaci przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wpływ zawartości modyfikatora niskowiskozowego (L-V) i temperatury zagęszczania (TEMP) na stabilność (S) betonu asfaltowego

Otrzymany model matematyczny oraz dokonana ocena istotności stabilności betonu asfaltowego uzyskują następującą postać:

$$S = -49.2583 + 0.833395 \cdot \text{TEMP} + 4.431603 \cdot L\_V - 0.002987 \cdot \text{TEMP}^2 - 0.019011 \cdot L\_V \cdot \text{TEMP} - 0.193758 L\_V^2 \quad (2)$$

Natomiast parametry oceny badanej cechy stabilności betonu asfaltowego zestawiono w tabeli 2.

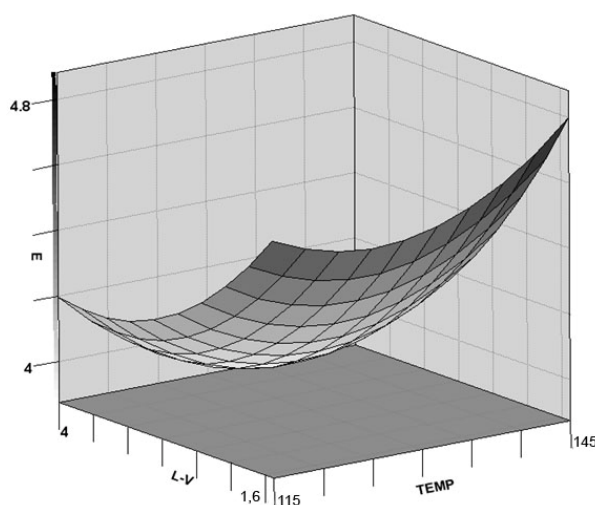
Tabela 2. Ocena istotności badanych parametrów dla cechy S

Parametr	TEMP	L_V	TEMP <sup>2</sup>	L_V*TEMP	L_V <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
Pr >  t	0.586099	0.0001	0.003751	0.059573	0.156283	0,71

Analizując otrzymaną płaszczyznę odpowiedzi zmian stabilności, należy zwrócić uwagę, że stabilność wzrasta w miarę koncentracji dozowania modyfikatora niskowiskozowego. Przy zawartości jego w ilości 3-4% oraz przy temperaturze zagęszczania 145°C można dostrzec obniżenie średnich wartości stabilności. Zaistniały fakt jest związany z obniżeniem zawartości wolnych przestrzeni do poziomu, w którym beton asfaltowy ulega przegęszczeniu. W miarę obniżania temperatury zagęszczania mieszanka mineralno-asfaltowa osiąga optimum zawartości wolnych przestrzeni, która gwarantuje właściwe klinowanie się ziaren szkieletu mineralnego. Najwyższe stabilności betonu asfaltowego osiągnięto

w temperaturze zagęszczania pomiędzy 125 i 130°C. W miarę obniżania temperatury zagęszczania efekt „przegęszczenia” mieszanki mineralno-asfaltowej maleje na korzyść wzrostu stabilności, jednak przy zastosowaniu znaczącej ilości modyfikatora niskowiskozowego. W sytuacji obniżania temperatury zagęszczania betonu asfaltowego poniżej wartości z zakresu 125°C, można dostrzec konsekwentne zmniejszanie się średnich wartości stabilności. Wartości te gwałtownie maleją poniżej temperatury 115°C. Na zaistniałą sytuację ma wpływ proces krzepnięcia kryształów parafin twardokrystalicznych, który w perspektywie dalszego obniżania temperatury zagęszczania może utrudnić, a nawet uniemożliwić dalsze właściwe zagęszczanie. Jednak pomimo zmniejszania się wartości stabilności w postępie obniżania temperatury, ilość dodatku istotnie wpływa na wzrost otrzymanych średnich. Należy stwierdzić, że na wzrost charakterystyk mechanicznych, oprócz temperatury, najbardziej istotny wpływ będzie miała ilość modyfikatora niskowiskozowego. Analizując wykres (rys. 1.), można dostrzec, że dodatkowy przy danym szkielecie mineralnym intensywny wzrost stabilności będzie potęgowany przez modyfikator. Zaistniała sytuacja ma związek z utwardzaniem się asfaltu w procesie modyfikacji wraz z podnoszeniem temperatury mięknięcia i zwiększaniem lepkości w temperaturze badania według metodyki Marshalla wynoszącej 60°C.

Kolejnym analizowanym parametrem fizykomechanicznym betonu asfaltowego było osiadanie. Uzyskane wyniki w graficznej postaci przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Wpływ zawartości modyfikatora niskowiskozowego (L-V) i temperatury zagęszczania (TEMP) na osiadanie ( $\epsilon$ ) betonu asfaltowego

Otrzymany model matematyczny oraz dokonana ocena istotności cechy osiadania  $\epsilon$  betonu asfaltowego uzyskują następującą postać:

$$\begin{aligned}
 E = & 17.88902 + 0.209132 \cdot \text{TEMP} + \\
 & + 0.05 \cdot L\_V - 0.00088 \cdot \text{TEMP}^2 - \\
 & - 0.07127 \cdot \text{TEMP} \cdot L\_V + 0.112347 \cdot L\_V^2
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

Natomiast parametry oceny badanej cechy osiadania betonu asfaltowego zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Ocena istotności badanych parametrów dla cechy E

Parametr	TEMP	L_V	TEMP <sup>2</sup>	L_V*TEMP	L_V <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
Pr >  t	0.906891	0.0001	0.094553	0.179666	0.123907	0,61

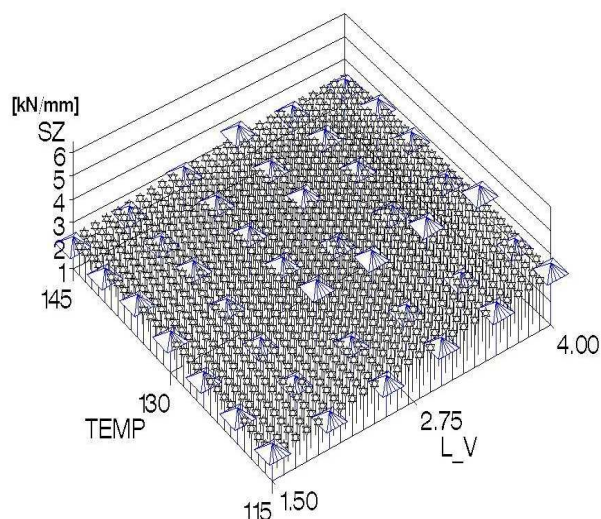
Analizując otrzymaną płaszczyznę odpowiedzi zmian osiadania betonu asfaltowego, należy zwrócić uwagę, że wzrasta ono w miarę zwiększania temperatury. Dla zawartości parafiny twardokrystalicznej w ilości 3-4%, przy temperaturze zagęszczania 145°C można dostrzec zwiększenie się średnich wartości osiadania. Zaistniały fakt jest związany z obniżeniem zawartości wolnych przestrzeni do poziomu, w którym beton asfaltowy ulega „przegęszczeniu”. Analogicznie jak w przypadku stabilności betonu asfaltowego. W miarę obniżania temperatury zagęszczania mieszanka mineralno-asfaltowa osiąga optimum zawartości wolnych przestrzeni gwarantującej właściwe klinowanie się ziaren szkieletu mineralnego. Najmniejsze osiadanie beton asfaltowy osiągnął w temperaturze zagęszczania pomiędzy 125 i 130°C. W miarę obniżania temperatury zagęszczania efekt „przegęszczenia” mieszanki mineralno-asfaltowej maleje na korzyść spadku osiadania, jednak przy zastosowaniu znaczącej ilości modyfikatora niskowiskozowego. Można stwierdzić, że wpływ zawartości parafiny twardokrystalicznej i temperatury na osiadanie betonu asfaltowego ma charakter podobny jak w przypadku stabilności.

Wizualny charakter przebiegu zmienności cech, którymi są: sztywność oraz wytrzymałość, na pośrednie rozciąganie wraz z towarzyszącymi im modelami powierzchni regresji przedstawiono odpowiednio na rysunkach 3. i 4.

Analizując otrzymane wyniki regresji wielomianów stopnia drugiego, które obrazują wpływ czynników dziedziny eksperymentu na wartości badanych cech, takich jak: sztywność, ITS oraz zawartość wolnych przestrzeni, należy w pierwszej kolejności ocenić poziom współczynnika determinacji R<sup>2</sup>, który jest miarą dopasowania zmiennych do oszacowanego modelu, oraz istotność wpływu danych czynników na charakter rozkładu rozważanych cech.

Ocenę współczynnika R<sup>2</sup> oraz istotność wpływu czynników zamieszczono w tabeli 4.

Rys. 3. Wpływ zawartości modyfikatora niskowiskozowego (L-V) i temperatury zagęszczania (TEMP) na sztywność betonu asfaltowego wg Marshalla



Rys. 4. Wpływ zawartości modyfikatora niskowiskozowego (L-V) i temperatury zagęszczania (TEMP) na wytrzymałość na pośrednie rozciąganie betonu asfaltowego

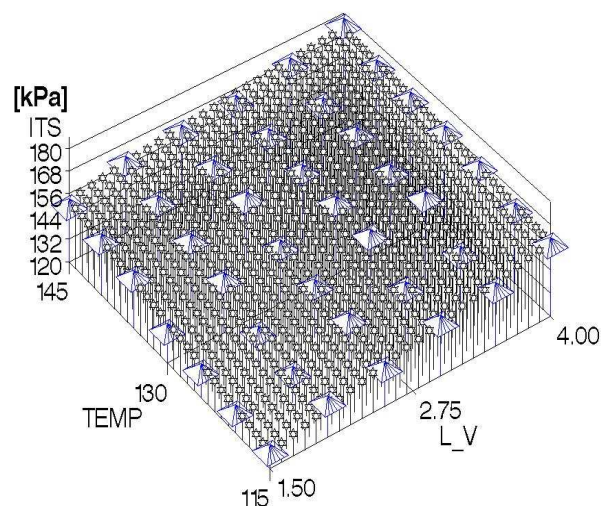


Tabela 4. Współczynnik  $R^2$  oraz istotność wpływu czynników (sztywność oraz ITS)

Cecha	$R^2$	Modyfikator niskowiskozowy	Temperatura zagęszczania
Sztywność [kN/mm]	0,70	<0.0001	0.088
ITS [kPa]	0,93	<0.0001	<0.0001

Otrzymane regresyjne modele matematyczne betonu asfaltowego uzyskały następującą postać:

- dla cechy sztywność  $S_z$

$$S = -21.423926 + 0.344602 \cdot \text{TEMP} + 1.11547 \cdot L\_V - 0.001310 \cdot \text{TEMP}^2 - 0.001066 \cdot L\_V \cdot \text{TEMP} - 0.107635 \cdot L\_V^2 \quad (4)$$

gdzie: TEMP – temperatura zagęszczania,  
 $L\_V$  – ilość dodatku niskowiskozowego,

- dla cechy ITS

$$\text{ITS} = -84.93163 + 2.15811 \cdot \text{TEMP} + 33.2316 \cdot L\_V - 0.00436 \cdot \text{TEMP}^2 - 0.14653 \cdot \text{TEMP} \cdot L\_V - 0.78571 \cdot L\_V^2 \quad (5)$$

gdzie: TEMP – temperatura zagęszczania,  
 $L\_V$  – ilość dodatku niskowiskozowego.

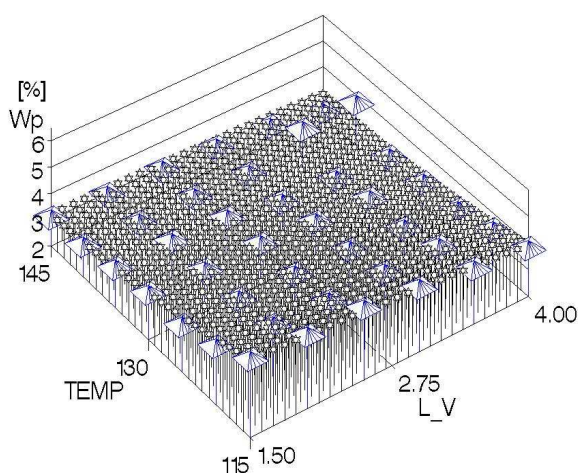
Analizując otrzymaną regresyjną płaszczyznę odpowiedzi zmian sztywności betonu asfaltowego wg Marshalla, należy zwrócić uwagę, że sztywność wzrasta w miarę koncentracji dozowania modyfikatora niskowiskozowego. Przy koncentracji ilości modyfikatora wynoszącej od 3 do 4% oraz przy temperaturze zagęszczania 145°C można dostrzec obniżenie wartości średnich jego sztywności. Zaistniały fakt jest związany z obniżeniem zawartości wolnych przestrzeni do poziomu, w którym beton asfaltowy ma charakter mieszanki przegęszczonej. Taka sytuacja powoduje, że na ziarnach kruszywa powstaje zbyt mała grubość otoczki asfaltowej, co powoduje zwiększenie się zawartości wolnego asfaltu. W miarę obniżania temperatury zagęszczania beton asfaltowy uzyskuje coraz wyższe sztywności wg Marshalla, przy zapewnieniu optymalnej zawartości wolnych przestrzeni dla danej mieszanki, która gwarantuje właściwe klinowanie się ziaren szkieletu mineralnego. Najwyższe sztywności betonu asfaltowego osiągnięto w temperaturze zagęszczania pomiędzy 125 i 130°C. W miarę obniżania temperatury zagęszczania efekt przegęszczenia mieszanki mineralno-asfaltowej maleje na korzyść wzrostu sztywności. W sytuacji obniżania temperatury zagęszczania betonu asfaltowego, stanowiącej wartość z zakresu poniżej 120°C, uzyskuje się coraz bardziej znaczące obniżenie średnich sztywności w modelu regresyjnym. Wartości te gwałtownie maleją w temperaturze poniżej 115°C. Na zaistniałą sytuację ma wpływ proces krzepnięcia parafin twardokrystalicznych, których temperatura krzepnięcia, przy średniej ilości atomów węgla w cząsteczce wynoszących 100, wynosi około 100°C. Perspektywa dalszego obniżania temperatury zagęszczania może utrudnić, a nawet uniemożliwić dalsze właściwe zagęszczanie. Jednak pomimo obniżania wartości sztywności w postępie obni-



żania temperatury, ilość modyfikatora istotnie wpływa na wzrost wartości otrzymanych średnich sztywności. Reasumując, na wzrost charakterystyk mechanicznych betonu asfaltowego, reprezentowanych przez sztywność, oprócz temperatury najbardziej istotny wpływ będzie miała ilość modyfikatora niskowiskozowego. Zestawiając wykres (rys. 3.), można dostrzec, że dodatkowy intensywny wzrost sztywności oraz odpowiadającej jej stabilności, przy danym szkielecie mineralnym, będzie potęgowany przez modyfikator. Zaistniała sytuacja ma związek z utwardzaniem się asfaltu w procesie modyfikacji wraz z podnoszeniem temperatury mięknięcia i zwiększaniem lepkości w temperaturze badania wg metodyki Marshalla wynoszącej 60°C.

W odniesieniu do parametru wytrzymałości, na pośrednie rozciąganie betonu asfaltowego zarówno temperatura, jak i modyfikator niskowiskozowy istotnie wpływają na zmiany cechy ITS (rys. 4.). Najwyższe wartości osiągnięto w interakcji wysokiej temperatury i dużej ilości modyfikatora asfaltu. Związane jest to z przedziałem lepkości umożliwiającą coraz to sprawniejsze otoczenie ziaren kruszywa oraz szczelne wypełnienie przez asfalt szkieletu mineralnego betonu asfaltowego.

Wizualny charakter przebiegu zmienności cechy, którą jest zawartość wolnych przestrzeni w betonie asfaltowym wraz z towarzyszącym modelem regresyjnym powierzchni, przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wpływ zawartości modyfikatora niskowiskozowego (L-V) i temperatury zagęszczania (TEMP) na zawartość wolnych przestrzeni w betonie asfaltowym

Ocenę współczynnika  $R^2$  oraz istotność wpływu czynnika Wp podano w tabeli 5.

Tabela 5. Współczynnik  $R^2$  oraz istotność wpływu czynnika Wp

Cecha	$R^2$	Modyfikator niskowiskozowy	Temperatura zagęszczania
Wp [%]	0,84	0.01	<0.001

Otrzymany model regresji matematycznej betonu asfaltowego uzyskał następującą postać:

- dla cechy zawartość wolnych przestrzeni Wp

$$Wp = 33.40312 - 0.38697 \cdot TEMP - 1.12586 \cdot L\_V - \\ - 0.00122 \cdot TEMP^2 + 0.008591 \cdot TEMP \cdot L\_V - 0.041207 \cdot L\_V^2 \quad (6)$$

Analizując otrzymany model regresji cechy Wp, można zauważyć, że zarówno temperatura zagęszczania, jak i ilość dodatku obniżającego lepkość w betonie asfaltowym istotnie wpływa na rozkład badanych parametrów. Największą zawartość wolnych przestrzeni osiągnięto dla minimalnej zawartości modyfikatora, wynoszącej 1,5%, oraz dla temperatury bliskiej temperaturze krzepnięcia parafin twardokrystalicznych, tj. około 115°C. Efekt niedogęszczenia mieszanki mineralno-asfaltowej, mający swój wyraz w jakości jej kompresji w temperaturach poniżej 130°C, można zminimalizować poprzez nieznaczne zwiększenie ilości dozowanego modyfikatora niskowiskozowego, jednak wpływ temperatury na rozkład cechy Wp pozostanie najbardziej istotny. Wynika z tego, że dynamika zmian poziomu lepkości asfaltu w głównej mierze pozostanie uzależniona od temperatury, jednak niedostatki wymaganej lepkości w niskiej temperaturze można poprawić przez optymalne dozowanie ilości modyfikatora.

Analizując otrzymany model dla Wp, można zauważyć, że zarówno temperatura zagęszczania, jak i ilość dodatku obniżającego lepkość istotnie wpływa na rozkład badanego parametru. Największą zawartość wolnych przestrzeni osiągnięto dla minimalnej zawartości modyfikatora oraz dla temperatury bliskiej temperaturze krzepnięcia parafin twardokrystalicznych. Efekt niedogęszczenia mający swój wyraz w jakości kompresji mieszanki w niskiej temperaturze można zminimalizować poprzez zwiększenie dozowania modyfikatora niskowiskozowego, jednak wpływ temperatury na rozkład cechy Wp pozostanie najbardziej znaczący. Wynika z tego, że dynamika zmian poziomu lepkości asfaltu w głównej mierze pozostanie uzależniona od temperatury, jednak ryzyko niedogęszczenia można zminimalizować poprzez optymalne i charakterystyczne dla danej mieszanki dozowanie parafiny twardokrystalicznej.

Analiza wyników eksperymentu z zastosowaniem algorytmów optymalizujących [6, 7], umożliwiających odnalezienie obszaru najbardziej optymalnego z punktu widzenia otrzymanych cech fizykomechanicznych, interakcji czynnika temperatury zagęszczania oraz modyfikatora niskowiskozowego, pozwoliła na określenie optymalnych wartości zadanych parametrów. Optymalizacja przebiegła przy założeniu otrzymania maksymalnej stabilności, minimalnego odkształcenia oraz ilości wolnych przestrzeni nieprzekraczających 4,0% (wg PN-S-96025:2000). Wyniki wskazują, że dla danej mieszanki optymalną temperaturą zagęszczania jest temperatura z przedziału 122.5-130°C, co pozostaje zgodne z badaniami nad ustaleniem optymalnej temperatury zagęszczania mieszanki

mineralno-asfaltowej [8]. Ilość modyfikatora, odpowiadająca przedziałowi temperatury optymalnej, który należy dodać, aby otrzymać właściwości narzucone przez kryteria optymalizacyjne, wynosi 2,75-3,4%. Odpowiednio dla uzyskanych zakresów optymalnych, przy porównaniu betonu asfaltowego z asfaltem zwykłym, uzyskano wzrost stabilności o około 1,0 kN oraz zmniejszenie zawartości wolnych przestrzeni o około 0,45% przy obniżeniu temperatury zagęszczania o wartość z przedziału 15-25°C.

Należy zwrócić uwagę, że ilość modyfikatora obniżającego lepkość asfaltu powinna być dozowana indywidualnie dla każdego rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej oraz weryfikowana w zależności od jakości samego lepiszcza asfaltowego. Fakt ten jest związany z rozbieżnościami w składzie chemicznym różnych rodzajów asfaltu i różnic w koncentracji naturalnych parafin.

#### 4. Wnioski

Dokonując analizy wyników badań betonu asfaltowego z modyfikatorem niskowiskozowym, można sformułować następujące wnioski:

- na zmiany parametrów mechanicznych betonu asfaltowego, tj. stabilność i osiadanie, dominujący wpływ ma zawartość modyfikatora niskowiskozowego, natomiast na cechy fizyczne bardziej znaczący wpływ miała temperatura zagęszczania,
- modyfikacja asfaltu 35/50 modyfikatorem niskowiskozowym w optymalnej ilości około 3,0% wpływa na redukcję zawartości wolnych przestrzeni w betonie asfaltowym o 0,45%, przy wzroście wartości stabilności w granicy 1,0 kN, przy obniżonej temperaturze zagęszczania w przedziale od 15 do 25°C.
- zawartość modyfikatora niskowiskozowego należy ustalać w odniesieniu do parametrów betonu z lepiszczem asfaltowym niepoddanym modyfikacji,
- na zmiany parametrów mechanicznych betonu asfaltowego, tj. sztywność, dominujący wpływ ma zawartość modyfikatora niskowiskozowego, natomiast na cechę, którą jest zawartość wolnych przestrzeni, bardziej znaczący wpływ odgrywa temperatura zagęszczania,
- na zmienność cechy ITS istotne znaczenie ma zarówno ilość modyfikatora, jak i temperatura zagęszczania,
- przy stosowaniu asfaltu z modyfikatorem niskowiskozowym należy bezwzględnie przestrzegać dolnej granicy zagęszczania betonu asfaltowego, odpowiadającej temperaturze około 110-115°C. Poniżej tej temperatury modyfikator niskowiskozowy nie polepsza zagęszczania betonu asfaltowego, a wręcz przeciwnie – może je utrudnić,

- zawartość modyfikatora niskowiskozowego należy ustalać w odniesieniu do parametrów betonu z lepiszczem asfaltowym niepoddanym modyfikacji.

### **Bibliografia**

- [1] Gawel I., Kalabińska M., Piłat J.: Asfalt drogowy. WKŁ, Warszawa 2001.
- [2] Iwański M., Dobrowolski A.: Impact of long-term thermal action on the properties of asphalt concrete. *Drognictwo*, 8, 1994.
- [3] Iwański M., Mazurek G.: Wpływ temperatury zagęszczania na właściwości betonu asfaltowego. 54 Konferencja Naukowa, t. V, Krynica 2008, s. 47-54.
- [4] Judycki J., Jaskuła P.: Badania oddziaływania wody i mrozu na betony asfaltowe o zwiększonej odporności na deformacje trwałe. *Drognictwo*, 12, 1999.
- [5] Montgomery D.G.: Design and Analysis of Experiments. 5th Edition, John Wiley and Sons, New York 2001.
- [6] Nowości Zagranicznej Techniki Drogowej Nr 196, opracowanie Danowskiego M.: Application of hot mix asphalt of low-term consolidation – germane experiences, z. 109, Warszawa 2007, s. 12-35.
- [7] Piasta Z., Lenarcik A.: Methods of statistical multi-criteria optimization. [In:] A.M. Brandt (red.): Optimization Methods for Material Design of Cementbased Composites. E & FN Spon, London-New York 1998, p. 45-59.
- [8] Product Information: The Bitumen Additive for Highly Stable Easy Compatible Asphalts. New York 2008

### **THE ASPHALT CONCRETE MODIFIED HARD CRYSTALLINE PARAPHINES**

#### **S u m m a r y**

In order to ensure the proper compaction of asphalt concrete in autumn season the decreasing of the viscosity of asphalt is needed. However, this process cannot bring on the decline of bitumen's viscosity in summer season. In research it was used the low-viscosity modifier (hard crystalline paraffines) which was added to bitumen in amount in the range of 1,5% to 4,0% with changes every 0,5%. It was proven that the use of this kind of modifier has a beneficial effect on asphalt concrete. Afterwards it was examined the influence the low-viscosity modifier on asphalt concrete properties such as stability, deformation, void content, ITS and adsorption capacity according to the temperature of compaction. It should be noted that along with increasing content of the low-viscosity modifier the temperature of compaction was brought down. Additionally, all required properties of the asphalt concrete was retained on required level.

*Złożono w redakcji w listopadzie 2009 r.*