

**Sposób wykonania mieszanki mineralno-asfaltowej mastyksowo grysowej (SMA) i mieszanka mineralno-asfaltowa mastyksowo grysowa (SMA) do budowy nawierzchni drogowej**

Przedmiotem wynalazku jest sposób wykonania mieszanki mineralno-asfaltowej mastyksowo grysowej (SMA) i mieszanka mineralno-asfaltowa mastyksowo grysowa (SMA) do budowy nawierzchni drogowej, wytwarzana w obniżonych temperaturach przeznaczona do wykonywania warstw ścieralnych nawierzchniach dróg.

W budowie i w przebudowie nawierzchni dróg samochodowych powszechnie wykorzystuje się mieszanki mineralno-asfaltowe, których głównymi składnikami są: kruszywa grube i drobne, lepiszcze asfaltowe, kruszywo wypełniające. Dodatkowo, w składzie mieszanek mineralno-asfaltowych stosuje się dodatki służące poprawie ich właściwości eksploatacyjnych, na przykład środki adhezyjne, dodatki modyfikujące właściwości reologiczne lepiszcza asfaltowego, dodatki pozwalające obniżyć temperaturę produkcji i wbudowywania mieszanki mineralno-asfaltowej.

Projektowanie składu mieszanek mineralno-asfaltowych, w tym mieszanek typu SMA do warstw ścieralnych, jest procesem iteracyjnym. Proces ten rozpoczyna się zazwyczaj od wyjściowego składu mieszanki przyjętego na bazie ogólnych wytycznych i w drodze kolejnych modyfikacji składu dokonanych na bazie wiedzy inżynierskiej i eksperckiej uzyskuje się ostateczny skład mieszanki. Szczegółowe i uznane w Polsce za wzorcowe wymagania dotyczące właściwości stosowanych w mieszankach mineralno-asfaltowych kruszyw (m.in. dot. uziarnienia, właściwości geometrycznych, fizycznych i chemicznych) oraz lepiszczy asfaltowych zawarte są w dokumentach „WT-1 2014 – Kruszywa

do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utwaleń na drogach krajowych - Kruszywa – Wymagania Techniczne – Warszawa 2014 – Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad” oraz w „WT-2 2014 – Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych – Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania Techniczne – Warszawa 2014 – Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad ”. Ponadto, w dokumencie „WT-2 2014 (...)” zawarto wymagania dotyczące właściwości gotowych mieszanek mineralno-asfaltowych.

Z uwagi na dużą zawartość lepiszcza asfaltowego w mieszankach mineralno-asfaltowych typu mastyks grysowy SMA, konieczne jest stosowanie w ich składzie tzw. stabilizatora mieszanki. Zadaniem stabilizatorów jest wchłonięcie nadmiarowej ilości lepiszcza w czasie procesu mieszania i jego immobilizacja w trakcie transportu. Celem stosowania stabilizatorów w mieszankach SMA jest ograniczenie zjawiska spływania lepiszcza asfaltowego z ziaren kruszywa podczas transportu mieszanki i tym samym zapobieganie jej segregacji. Następnie, w czasie układania w nawierzchnię i zagęszczania warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej SMA, stabilizator musi być zdolny do uwolnienia zatrzymanego lepiszcza asfaltowego w przestrzenie między ziarnami kruszywa otoczonego lepiszczem. Jako stabilizatory wykorzystywane są włókna celulozowe krótko cięte, o długości zazwyczaj nie przekraczającej 5 mm.

Jednym ze sposobów na obniżenie temperatur technologicznych wytwarzania i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych, jest zastosowanie lepiszcza asfaltowego w formie piany asfaltowej wytworzonej w kontrolowanym procesie spieniania niewielką ilością wody. Wytworzenie mikropęcherzyków piany asfaltowej wypełnionej parą wodną pozwala zwiększyć urabialność mieszanki mineralno-asfaltowej podczas jej wytwarzania i wbudowywania w nawierzchnię (zagęszczania). Efekt obniżenia temperatur technologicznych wytwarzania i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych można uzyskać również przez stosowanie dodatków chemicznych (tzw. dodatków WMA) wśród których najczęściej stosowane są dodatki

modyfikujące właściwości reologiczne lepiszcza lub jego napięcie powierzchniowe na styku faz lepiszcze-powietrze-kruszywo.

Znany jest sposób wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych z wykorzystaniem dodatku krótko ciętych włókien, wytworzonych z określonego rodzaju surowca, najczęściej poliolefinowych, szklanych, skalnych, o określonych charakterystykach geometrycznych i fizycznych (długości, średnicy). Znane jest wystąpienie efektu zbrojenia rozproszonego w wyniku zastosowania odpowiedniej ilości określonego rodzaju włókien. Zbrojenie rozproszone w mieszankach mineralno-asfaltowych może wpływać pozytywnie na jeden lub więcej ich parametrów technicznych, najczęściej odporność na zjawisko zmęczenia, odporność na pękanie, wytrzymałość na rozciąganie, wrażliwość na zmiany temperatury. Dodatki tego rodzaju, rzadko stosuje się w technologii mieszanek mineralno-asfaltowych ze względu na ich ograniczoną efektywność i względnie duży koszt stosowania powszechnie znanych rozwiązań w tym zakresie.

Z opisu zgłoszeniowego wynalazku nr PL389824 znany jest sposób wytwarzania lepiszcza asfaltowo-polimerowego granulowanego i betonu siarkowego oraz ich zastosowanie do wytwarzania i remontu nawierzchni drogowych. Wytworzone lepiszcze asfaltowo-polimerowe służy do wykonania warstwy wiążącej w nawierzchniach drogowych, jak i do remontu dróg. Wytworzony beton siarkowy służy do podbudowy zasadniczej nawierzchni drogowych.

Z kolei z opisu patentowego PL214768 znany jest sposób głębokiego recyklingu nawierzchni drogowej w technologii asfaltu spienionego, zgodnie z którym na pasie nawierzchni przeznaczonej do recyklingu rozłożono mechanicznie, przy pomocy rozsypywacza: spoiwo w postaci cementu i wapna oraz pyły lotne frakcji poniżej 0,063 mm pochodzące z odpylania kruszywa w wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych w ilości od 5-20% wagowych zaprojektowanej recyklowanej mieszanki mineralnej, a także kruszywo doziarniające. Skład mieszanki mineralnej został opracowany na podstawie badań próbek laboratoryjnych. Pyły lotne, jak również spoiwo rozłożono z dokładnością do 15% w stosunku do założonego jednostkowego zużycia.

Następnie, przy użyciu maszyny frezująco-mieszającej przeprowadzono recykling podbudowy nawierzchni według technologii asfaltu spienionego. Warstwa podbudowy została zagęszczona i pielęgnowana według zaleceń projektanta.

Z patentu PL219436 znany jest sposób budowy asfaltowych konstrukcji nawierzchni drogowych, w którym na warstwę podbudowy asfaltowej nakłada się asfaltową warstwę wiążącą i asfaltową warstwę ścieralną, a każdą wbudowywaną w konstrukcję nawierzchni warstwę asfaltową przed ułożeniem kolejnej warstwy pokrywa się emulsją asfaltową, według wynalazku charakteryzuje się tym, że na warstwę asfaltową pokrytą emulsją asfaltową nanosi się wapno hydratyzowane w ilości od 20 do 40 g/m<sup>2</sup> warstwy asfaltowej, korzystnie w postaci mlecza wapiennego. Korzystnie, mleczo wapienne stosuje się w stężeniu od 20% do 45% i nanosi się na warstwę asfaltową po odparowaniu wody z emulsji asfaltowej. Korzystnie, mleczo wapienne nanosi się przy użyciu skraparki. Nanoszenie wapna hydratyzowanego w postaci mlecza wapiennego pozwala na równomierne jego rozproszczenie po powierzchni asfaltowej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni drogi.

Istotą wynalazku jest sposób wytworzenia mieszanki mineralno-asfaltowej, poprzez wymieszanie materiału ziarnistego w postaci kruszywa naturalnego 92,2% do 93,3%, z lepiszczem asfaltowym z dodatkiem WMA lub lepiszczem asfaltowym w formie piany w ilości od 6,3% do 7,6%, charakteryzujący się tym, że temperatura wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej wynosi 165°C i dodaje się mieszanek włókien polipropylenowych (włókno A) oraz bazaltowych (włókno B) w proporcji 1:2 (A:B) i w sumarycznej ilości od 0,025% do 0,25%, korzystnie od 0,1% do 0,15%. Jednocześnie, zawartość stabilizatora w mieszance zmniejsza się o wartość równą 1,33 udziału mieszanki włókien polipropylenowych i bazaltowych.

Korzystnie, włókno polipropylenowe ma długość 12 mm, średnicę < 0,05 mm, gęstość 0,85-1,10 Mg/m<sup>3</sup>, a temperatura topnienia wynosi 160°C - 170°C.

Korzystnie, włókno bazaltowe ma długość 12 mm, średnicę < 0,03 mm, gęstość 2,55 – 2,75 Mg/m<sup>3</sup>, a temperatura topnienia jest większa niż 250°C.

Mieszanka mineralno-asfaltowa zawierająca kruszywa naturalne w ilości od 92,2% do 93,3% oraz lepiszcze asfaltowe w ilości 6,3% do 7,6%, charakteryzuje się tym, że jest wytwarzana w temperaturze 165°C i zawiera mieszankę włókien polipropylenowych (włókno A) oraz bazaltowych (włókno B) w proporcji 1:2 (A:B) i w sumarycznej ilości od 0,025% do 0,25%, korzystnie od 0,1% do 0,15%. Jednocześnie, zawartość stabilizatora w mieszance zmniejsza się o wartość równą 1,33 udziału mieszanki włókien polipropylenowych i bazaltowych.

Korzystnie, włókno polipropylenowe ma długość 12 mm, średnicę < 0,05 mm, gęstość 0,85-1,10 Mg/m<sup>3</sup>, a temperatura topnienia wynosi 160°C - 170°C.

Korzystnie, włókno bazaltowe ma długość 12 mm, średnicę < 0,03 mm, gęstość 2,55 – 2,75 Mg/m<sup>3</sup>, a temperatura topnienia jest większa niż 250°C.

Właściwości włókien A i B wykorzystanych w przedmiocie wynalazku przedstawia tablica 1.

**Tablica 1.** Wymagane właściwości włókien wykorzystanych w przedmiocie wynalazku.

Wymagane właściwości:	Włókno A	Włókno B
Skład:	polipropylen	włókno skalne, bazaltowe
Temperatura topnienia:	160°C - 170°C	> 250°C
Gęstość:	0,85 – 1,10 Mg/m <sup>3</sup>	2,55 – 2,75 Mg/m <sup>3</sup>
Długość pojedynczych włókien:	12 mm	12 mm
Średnica pojedynczych włókien:	< 0,05 mm	< 0,03 mm

Skład mieszanki mineralno-asfaltowej będącej przedmiotem wynalazku przedstawia tablica 2.

**Tablica 2.** Skład mieszanki mineralno-asfaltowej będącej przedmiotem wynalazku.

Składnik	Opis składnika	Udział procentowy składnika w mieszance mineralno-asfaltowej
A	Mieszanka kruszyw wg p. 5.2 WT-1 2014 i p. 8.2 WT-2 2014 o gęstości $\rho_a$	$100\% - (B_{\min}^{1}) \cdot \alpha^{3}) - C - D$
B	Lepiszczce asfaltowe	$B_{\min}^{1}) \cdot \alpha$
C	Stabilizator	$C_{\text{ref}}^{2}) - (1,33 \cdot D)$
D	Mieszanka włókien polipropylenowych (włókno A) i bazaltowych (włókno B) w stosunku 1:2	0,10% ÷ 0,15 %
Suma:		$A + B + C + D = 100\%$
<sup>1)</sup> zawartość i rodzaj lepiszcza asfaltowego zgodnie z WT-2 2014 <sup>2)</sup> zawartość stabilizatora wyznaczona dla mieszanki referencyjnej wytwarzanej metodą na gorąco, nie zawierającej mieszanki włókien polipropylenowych i bazaltowych, zgodnie z WT-2 2014 dla spełnienia wymagań dot. spływności lepiszcza <sup>3)</sup> współczynnik $\alpha = 2,65 / \rho_a$ Uwaga: do lepiszcza dodaje się środek adhezyjny zgodnie z zaleceniami jego producenta (najczęściej 0,3% względem masy lepiszcza asfaltowego)		

Zastosowanie mieszanki włókien polipropylenowych (włókno A) oraz bazaltowych (włókno B) w proporcji 1:2 (A:B) w składzie mieszanek mineralno-asfaltowych, wytwarzanych w temperaturze 165°C skutkuje nieoczekiwanym wzrostem parametrów technicznych zagęszczonej warstwy nawierzchni w wyniku jedoczesnego wystąpienia (interakcji) następujących efektów:

- dochodzi do powstania trwałego kompozytu składającego się z częściowo nadtopionych włókien polipropylenowych, włókien bazaltowych, mastyksu oraz kruszywa naturalnego; efekt ten występuje dzięki zastosowaniu lepiszcza w postaci asfaltu spienionego lub zastosowaniu dodatku WMA i obniżeniu temperatury produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej (temperatury kruszywa podawanego do mieszalnika, temperatury lepiszcza podawanego do mieszalnika) do temperatury równej temperaturze topnienia włókien polipropylenowych,

- integracja włókien polipropylenowych w składzie mastyksu powoduje silne związanie również włókien bazaltowych odpornych na działanie wysokiej temperatury podczas wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej,
- włókna polipropylenowe oraz bazaltowe pełnią funkcję zbrojenia rozproszonego, korzystnie wpływającego na zjawisko redystrybucji naprężeń, w efekcie czego obserwuje się zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie, wytrzymałości na rozciąganie pośrednie, trwałości zmęczeniowej i odporności na pękanie próbek z mieszanki mineralno-asfaltowej i wykonanej z niej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni,
- włókna polipropylenowe oraz bazaltowe związane w mastyksie mieszanek mineralno-asfaltowych stanowią barierę dla propagujących rys i pęknięć wywołanych wielokrotnymi, cyklicznymi zmianami stanu naprężenia w warstwach konstrukcyjnych nawierzchni poddanych oddziaływaniu obciążeń dynamicznych od poruszających się pojazdów.
- Zastosowanie w składzie mieszanki SMA dodatku mieszanki włókien polipropylenowych i bazaltowych pozwala zmniejszyć dozowanie stabilizatora, przy zachowaniu wymaganej spływności lepiszcza asfaltowego.

Jednoczesne wystąpienie powyższych efektów, będących następstwem zastosowania obniżonej temperatury produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej oraz mieszanki włókien polipropylenowych oraz bazaltowych w proporcji 1:2 i w sumarycznej ilości od 0,025% do 0,25%, korzystnie od 0,1% do 0,15%, skutkuje wzrostem ponadto trwałości wykonanych z tych mieszanek warstw nawierzchni drogowej jak i całej konstrukcji nawierzchni drogowej. Zastosowanie w nawierzchni drogowej tego wynalazku skutkuje wydłużeniem trwałości zmęczeniowej nawierzchni, zwiększeniem jej odporności na powstawanie spękań zmęczeniowych i termicznych oraz zwiększenia tolerancji nawierzchni na wystąpienie zjawiska lokalnej utraty nośności podłoża.

### Przykład wykonania

Przygotowano w laboratorium zaroby dwóch mieszanek mineralno-asfaltowych, przeznaczonych do wykonania mastyksu grysowego SMA 8 KR 3÷7, o sumarycznej masie składników 100 kg każdy, które oznaczono jako mieszanka MMA<sub>1</sub> (referencyjna mieszanka mineralno-asfaltowa bez dodatku włókien), mieszanka MMA<sub>2</sub> (mieszanka mineralno-asfaltowa zawierająca mieszankę włókien wg opisu wynalazku). W tabelicy 3 przedstawiono wagowo udziały poszczególnych składników mieszanek.

**Tablica 3.** Skład mieszanek mineralno-asfaltowych przygotowanych w celu oceny wpływu zastosowania wynalazku (mieszanka MMA<sub>1</sub> i mieszanka MMA<sub>2</sub>)

Składnik	Opis składnika	Skład mieszanki mineralno-asfaltowej (kg)	
		MMA <sub>1</sub> (referencyjna)	MMA <sub>2</sub> (objęta zastrzeżeniem patentowym)
A	Mieszanka kruszyw 0/8 bazaltowych i granitowych wg p. 5.2 WT-1 2014 i p. 8.2 WT-2 2014 o gęstości $\rho_a = 2,73 \text{ Mg/m}^3$	<b>92,50</b>	<b>92,55</b>
	Współczynnik $\alpha$	0,971	0,971
B	Lepiszczce asfaltowe PMB 45/80-55	$7,2 \cdot 0,971 = 7,0$	-
	Spienione wodą lepiszczce asfaltowe PMB 45/80-55	-	$7,2 \cdot 0,971 = 7,0$
C	Stabilizator	<b>0,5</b>	$0,5 - (0,15 \cdot 1,33) = 0,3$
D	Mieszanka włókien polipropylenowych (włókno A) i bazaltowych (włókno B) w stosunku 1:2	-	<b>0,15</b>
Suma:		<b>100</b>	<b>100</b>
Uwaga: do lepiszcza dodano środek adhezyjny (Wetfix BE) zgodnie z zaleceniami jego producenta (0,3% względem masy lepiszcza asfaltowego)			

W celu wykonania mieszanki MMA<sub>1</sub> ogrzewano mieszankę kruszyw bazaltowych i granitowych 0/8 w suszarce laboratoryjnej do osiągnięcia temperatury 180°C a następnie termostatowano ją w tej temperaturze przez

kolejne 4 godziny. W tym czasie doprowadzono również lepiszcze asfaltowe do temperatury 180°C. Rozgrzaną mieszankę kruszyw przeniesiono do mieszalnika rozgrzanego do temperatury 180°C a następnie, po uruchomieniu mieszadła, dodano do mieszanki 7,0 kg gorącego lepiszcza asfaltowego PMB 45/80-55. Po całkowitym otoczeniu mieszanki mineralnej lepiszczem asfaltowym kontynuowano mieszanie przez kolejne 15 sekund, po czym przeniesiono gorącą mieszankę do form stalowych przeznaczonych do zagęszczania próbek. Formy umieszczono w suszarce i termostatowano w temperaturze 135°C przez okres 2 godzin, po czym zagęszczono w nich mieszankę mineralno-asfaltową celem otrzymania próbek do badań.

W celu wykonania mieszanki MMA<sub>2</sub> ogrzewano mieszankę kruszyw bazaltowych i granitowych 0/8 w suszarce laboratoryjnej do osiągnięcia temperatury 165°C a następnie termostatowano ją w tej temperaturze przez kolejne 4 godziny. W tym czasie doprowadzono również lepiszcze asfaltowe do temperatury 165°C oraz załadowano je do układu spieniarki laboratoryjnej. Rozgrzaną mieszankę kruszyw przeniesiono do mieszalnika rozgrzanego do temperatury 165°C a następnie, po uruchomieniu mieszadła, dodano do mieszanki 7,0 kg gorącego, spienionego w temperaturze 165°C lepiszcza asfaltowego 35/50. Po całkowitym otoczeniu mieszanki mineralnej lepiszczem asfaltowym, w czasie 30 sekund dodano do mieszalnika 0,15 kg mieszanki włókien A i B w proporcji 1:2 zapewniając równomierne rozprowadzenie włókien w mieszance, po czym kontynuowano mieszanie przez kolejne 15 sekund. Przeniesiono gorącą mieszankę do form przeznaczonych do zagęszczania próbek. Formy umieszczono w suszarce i termostatowano w temperaturze 135°C przez okres 2 godzin, po czym zagęszczono próbki do badań.

W tablicy 3 przedstawiono wyniki badań właściwości przygotowanej w sposób tradycyjny mieszanki mineralno-asfaltowej MMA<sub>1</sub> oraz przygotowanej wg opisu wynalazku mieszanki MMA<sub>2</sub>. W ocenie wyników zaobserwowano nieoczekiwany, znaczny wzrost wszystkich zmierzonych parametrów technicznych mieszanek mineralno-asfaltowych charakteryzujących się dodatkiem włókien polipropylenowych i bazaltowych wynikający z częściowego

roztopienia i integracji włókien polipropylenowych w mastyksie asfaltowym w skutek zastosowania obniżonej temperatury produkcji.

**Tablica 4.** Wyniki badań właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych przygotowanych w celu oceny wpływu zastosowania wynalazku (mieszanka MMA<sub>1</sub> i mieszanka MMA<sub>2</sub>)

Parametr	Mieszanka mineralno-asfaltowa	
	MMA <sub>1</sub> (referencyjna)	MMA <sub>2</sub> (objęta zastrzeżeniem patentowym)
Zawartość wolnych przestrzeni $V_a$	2,7%	2,9%
Odporność na działanie wody i mrozu $ITSR$	94%	98%
Proporcjonalna głębokość koleiny $PRD_{AIR}$	7,6%	5,1%
Prędkość przyrostu koleiny $WTS_{AIR}$	0,14 mm/1000 cykli	0,10 mm/1000
Splywność lepiszcza D	0,24%	0,19%
Trwałość zmęczeniowa $\epsilon_{6-130}$	1 250 331 cykli	1 984 718 cykli