

## **Projektowanie mieszanki mineralno-asfaltowej na ciepło (WMA) z dodatkiem zeolitu**

**Agnieszka Woszuk**

*Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,  
e-mail: a.woszuk@pollub.pl*

**Streszczenie:** Celem tej pracy jest omówienie procesu projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło. Jednym ze sposobów obniżenia temperatury produkcji MMA jest zastosowanie zeolitu. W artykule wykazano na przykładzie brak różnic w projektowaniu recepty z dodatkiem zeolitu w stosunku do tradycyjnej mieszanki mineralno-asfaltowej.

**Słowa kluczowe:** zeolit, mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło, projekt składu mieszanki mineralno asfaltowej.

### **1. Wprowadzenie**

Technologia budowy nawierzchni drogowych ma zapewniać trwałość oraz bezpieczeństwo i komfort użytkowników. Zastosowanie danej technologii powinno także mieć uzasadnienie ekonomiczne oraz być przyjazne środowisku. Wszystkie te wymagania spełniają mieszanki mineralno-asfaltowe o obniżonej temperaturze produkcji. Temperatura produkcji tradycyjnych mieszanek mineralno-asfaltowych (na gorąco) wynosi 140-200°C w zależności od rodzaju asfaltu [1]. Mieszanki na ciepło także wymagają wysokiej temperatury w celu upłynnienia asfaltu, otoczenia kruszywa i zagęszczenia, jednak umożliwiają obniżenie temperatur technologicznych nawet o 30°C.

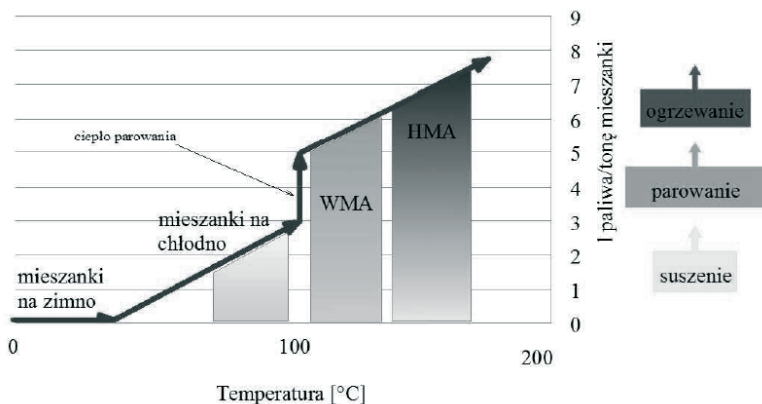
Początki mma na ciepło to zastosowanie asfaltu spienionego. Norweska firma Kollo Veidekke wspólnie z firmą Shell opracowała i opatentowała tę technologię w 1997 pod nazwą WAM-Foam. Spienienie asfaltu następuje na skutek kontaktu z wodą lub parą wodną, która może być wprowadzana mechanicznie lub pod ciśnieniem. Efekt spienienia asfaltu uzyskać można także poprzez dodanie do mieszanki mineralnej zeolitu, w czasie dozowania asfaltu. W wyniku uwalniania wody zeolitowej dochodzi do ekspansji objętościowej spoiwa, efektem czego jest spienienie asfaltu i obniżenie jego lepkości. Zwiększa się urabialność mieszanki i przyczepność do kruszywa w niższych temperaturach [2]. Metodę obniżania temperatury produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej poprzez dodanie syntetycznego zeolitu (Aspha-Min) zapoczątkowano w Niemczech (Mitteldeutsche Hartstein-Industrie AG). Pierwszym i głównym odbiorcą była francuska firma drogowa Eurovia, która od 2001 r. rozwija i stosuje technologię WMA.

Mieszanki WMA są obecnie stosowane zarówno w Europie jak i w USA. Jednak z uwagi na koszty, które są wyższe w stosunku do typowych mieszanek mineralno-asfaltowych (na gorąco), ich produkcja jest obecnie marginalna. Biorąc pod uwagę zwiększającą się świadomość w zakresie ochrony środowiska oraz obowiązujące

w tym zakresie przepisy (zmniejszenie emisji wycieków i aerozoli, obniżenie emisji gazów cieplarnianych) w najbliższych latach można spodziewać się upowszechnienia tej technologii.

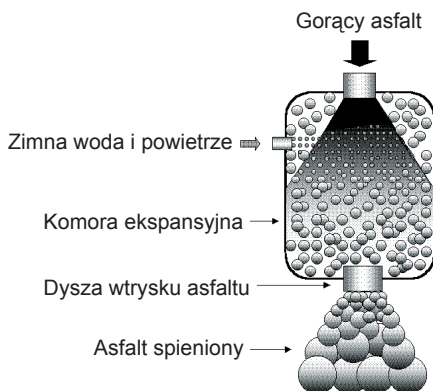
## 2. Technologia produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło z dodatkiem zeolitu

Stosowanie mieszanek mineralno asfaltowych na ciepło to zmniejszenie temperatury produkcji i zagęszczania o ok. 30°C. Dzięki czemu zmniejsza się zużycie energii (rys. 1), poprawia komfort i bezpieczeństwo pracy. Niższa temperatura produkcji to także spowolnienie starzenia lepiszcza oraz lepsza urabialność mieszanki. Na rynku dostępnych jest obecnie wiele rozwiązań i produktów obniżających temperaturę produkcji mma. Najbardziej powszechne dodatki to woski, zeolity i dodatki chemiczne.



Rys. 1. Klasyfikacja mieszanek mineralno – asfaltowych według temperatur i przybliżone zużycie paliwa [3].

Najstarszą technologią obniżania temperatury produkcji MMA jest spienianie asfaltu. Pierwsze próby w tym kierunku były przeprowadzone już w 1957 roku, w USA przez prof. L. Csanyi. Spienienie asfaltu następuje na skutek kontaktu z wodą lub parą wodną, która może być wprowadzana mechanicznie pod ciśnieniem (rys.2).



Rys. 2 Schemat wytwarzania asfaltu spienionego [4].

Alternatywnym sposobem spieniania asfaltu jest stosowanie zeolitów. Zeolity są glinokrzemianami pierwiastków alkalicznych (Na, K, rzadziej Li) i pierwiastków ziem alkalicznych (Ca, Mg, Bar, rzadziej Sr). Szkieletowa struktura o dużej ilości wolnych przestrzeni nadaje zeolitom specyficzne właściwości sorpcyjne, jonowymienne, katalityczne oraz molekularno-sitowe. Wyróżnić można zeolity naturalne, modyfikowane oraz syntetyczne (rys.3).



Rys 3. Zeolit [źródło: [www.answers.com](http://www.answers.com)].

Dzięki swoim właściwościom zeolity znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach życia jak na przykład: medycyna, rolnictwo, ochrona i inżynieria środowiska. Cechą charakterystyczną zeolitów jest zdolność gromadzenia w kanalikach struktury krystalicznej tzw. wody zeolitowej. Pod wpływem kontaktu z gorącym asfaltem uwięziona w mikrokanalikach woda jest uwalniana, co powoduje spienienie asfaltu. Proces ten jest rozciągnięty w czasie, co umożliwia poprawę otoczenia i urabialności również w trakcie wbudowania i zagęszczania.

Naturalne zeolity zawierają ok 6 -10% (m/m) wody, syntetyczne nawet do 25 % (m/m). Syntetyczny zeolit w technologii Aspha-min zawiera około 21 procent wody (masowo), która jest wydzielana w zakresie temperatur 85-182°C. Po podgrzaniu do temperatury mieszania woda zgromadzona w porach molekuł stopniowo się uwalnia. W wyniku tego zjawiska lepkość asfaltu zostaje obniżona, co pozwala na produkcję i wbudowanie mma w niższej temperaturze. W trakcie schładzania lepiszcza mikropęcherzyki pary kondensują się, co powoduje ponowny wzrost lepkości lepiszcza do pierwotnej wartości, a lepiszcze oraz wytworzona mma odzyskują swoje początkowe (pierwotne) właściwości [5]. Zjawisko to trwa przez 2-3 godzin, przez co efekt zwiększonej urabialności jest wykorzystywany zarówno w trakcie produkcji, transportu jak i zagęszczania mieszanki [6]. Zeolity dostępne komercyjnie występują w postaci proszku. Przechowywane zeolity powinny być chronione przed wpływem warunków atmosferycznych i zawilgoceniem, zalecane jest magazynowanie w silosie albo składowanie w workach.

Proces produkcyjny MMA z dodatkiem zeolitu nie różni się od tradycyjnie wytwarzanych mieszanek. Problematyczne może być jedynie dozowanie zeolitu. Z uwagi na charakter swojego działania ważna jest kolejność dozowania poszczególnych składników mieszanki. Zeolit powinien być dozowany razem z wypełniaczem lub bezpośrednio po nim [2, 5, 6]. Dozowanie automatyczne odbywa się z silosu lub przy użyciu dodatkowo zainstalowanego zasobnika wagowego. W przypadku niedużych ilości mma, np. dla celów naukowych, możliwe jest ręczne dodawanie zeolitu w papierowych workach [5, 7].

### 3. Proces projektowania recepty mieszanki mineralno asfaltowej z dodatkiem zeolitu

W wyniku prowadzonych w Polsce badań MMA o obniżonej temperaturze otaczania zostały opublikowane wstępne zalecenia dotyczące tych mieszanek [8]. Potwierdzono, że proces projektowania recepty mieszanki WMA przebiega w sposób podobny do projektowania recepty mieszanki tradycyjnej (tab.1). Typ uziarnienia oraz rodzaj lepiszcza należy przyjmować zgodnie z wymaganiami dla MMA na gorąco (Wymagania Techniczne WT-2 2010).

Tabela 1. Etapy projektowania składu mieszanki WMA oraz ewentualne różnice w stosunku do mieszanek HMA [8].

Lp.	Etap projektowania recepty	Ewentualne różnice w stosunku do projektowania składu mieszanki tradycyjnej
1.	Dane podstawowe	W głównej części bez zmian. Konieczny wybór danej technologii (rodzaju dodatku) WMA oraz cel zastosowania dodatku.
2.	Dobór kruszywa i kompozycja uziarnienia	Bez zmian
3.	Dobór ilości asfaltu oraz środka adhezyjnego	Do asfaltu, albo do przygotowanej w laboratorium mieszanki asfaltu z kruszywem powinien być dodany określony środek obniżający temperaturę. Po za tym postępowanie bez zmian.
4.	Określenie warunków przygotowania i zagęszczania próbek	Konieczne indywidualne określenie temperatury zagęszczania próbek.
5.	Zakres badań laboratoryjnych	Bez zmian
6.	Określenie temperatur technologicznych	Ustalane indywidualnie w zależności od celu zastosowania mieszanki WMA.

Za optymalną ilość dozowanego zeolitu przyjmuje się 0,3% w stosunku do masy mieszanki mineralno-asfaltowej [2, 5, 9]. W recepcie MMA zeolit zastępuje wypełniacz, którego ilość powinna być pomniejszona o dodatek zeolitu. Powstaje pytanie: czy uwzględniać zeolit przy projektowaniu składu MMA, czy traktować jako dodatek powodujący spienianie asfaltu? Zgodnie z normą [1] uziarnienie powinno być wyrażone w procentach w stosunku do całego kruszywa. Natomiast zawartość lepiszcza i dodatków jest określana procentowo w stosunku do masy całej mieszanki. Zeolit jest dodatkiem, ale jeżeli zastępuje wypełniacz staje się również elementem składowym uziarnienia.

Autor, na przykładzie, dokona analizy zmian składu mieszanki mineralnej przy uwzględnieniu 0,3% dodatku zeolitu. Sprawdzona zostanie ewentualna zmiana ilości dozowanego asfaltu na podstawie powierzchni właściwej oraz różnica w ilości dozowanego asfaltu.

### 4. Przykład projektowania mieszanki mineralno asfaltowej z dodatkiem zeolitu

Skład mieszanki mineralnej bez zeolitu ustalony został typową metodą krzywych granicznych. Projektowa recepta przeznaczona jest na warstwę wiążącą z betonu asfaltowego, KR 3-6 (AC 22 W). Wszystkie kruszywa oraz wypełniacz wapienny do

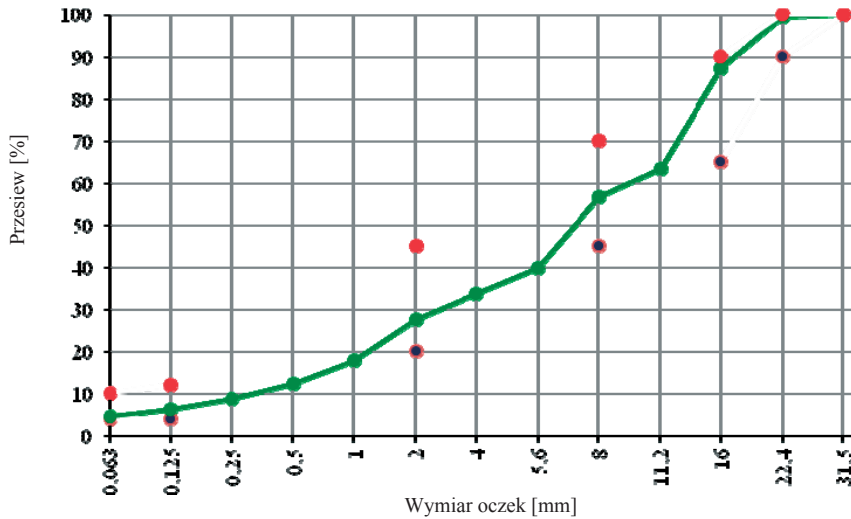
badania dostarczyła jedna z firm drogowych wykonawczych działających w województwie lubelskim. Uziarnienie kruszywa zbadano metodą przesiewania [10].

Tabela 2. Analiza sitowa składników mieszanki mineralnej.

Wymiar sita	wypełniacz dodany	kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/4	frakcja grysowa 4/8	frakcja grysowa 11/16	frakcja grysowa 16/22
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
31,50				0,00	0,00
22,40				1,00	2,00
16,00				12,00	86,00
11,20			0,00	75,00	11,00
8,00		0,00	13,00	11,00	0,00
5,60		0,00	62,00	0,00	1,00
4,00		1,00	22,00	0,00	2,00
2,00		17,00	2,00	0,00	3,00
1,00		30,00	0,00	0,00	4,00
0,50		18,00	0,00	1,00	5,00
0,25		11,00	0,00	2,00	6,00
0,13	3,00	7,00	0,00	3,00	7,00
0,06	14,00	4,00	0,00	0,00	8,00
<0,063	83,00	12,00	1,00	1,00	1,00
% ubytków # <0,063	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0

Tabela 3. Uziarnienie mieszanki mineralnej.

Wymiar sita	Odsiew	Skrócony odsiew	Przesiew	Rzędne krzywych granicznych	
[mm]	[%]	[%]	[%]		
31,5	0,0	72,4	100,0	100	0
22,4	0,5		99,5	90	100
16	12,3		87,2	65	90
11,2	23,7		-	-	-
8	6,8		56,7	45	70
5,6	16,8		-	-	-
4	6,3		-	-	-
2	6,0		27,6	20	45
1	9,6	22,9	-	-	-
0,5	5,8		-	-	-
0,25	3,5		-	-	-
0,125	2,3		6,3	4	12
0,063	1,7		4,6	4	10
0	4,6	4,6			
razem	100,0	100,0			



Rys. 3. Wykres krzywej uziarnienia.

Ilość asfaltu przyjęto na poziomie minimalnym, zgodnie z WT 2, uwzględniając gęstość mieszanki mineralnej. Przyjęty skład mieszanki mineralnej oraz skład mineralno-asfaltowej przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Projektowany skład mieszanki.

Nazwa składnika mieszanki	Udział w mieszance [%]	
	MM	MMA
wypełniacz dodany	3	2,9
kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/4	30	28,7
grysy 4/8	27	25,8
grysy 11/16	30	28,7
grysy 16/22	10	9,5
asfalt	4,4	4,4

Na podstawie wyników badań składu ziarnowego zeolit Aspha-min należy sklasyfikować jako pyły ( frakcja kruszywa o wymiarach ziaren przechodzących przez sito 0,063 mm). Wypełniacz natomiast to kruszywo którego większość ziaren przechodzi przez sito 0,063mm (tab. 5).

Tabela 5. Wymagania dotyczące uziarnienia dodanego wypełniacza [11].

Wymiary sita [mm]	Procent przechodzącej masy
2	100
0,125	od 85 do 100
0,063	od 70 do 100

Traktując zeolit jako jeden z materiałów wejściowych przy projektowaniu mieszanki mineralnej należy również pomniejszyć wypełniacz o ilość dodawanego zeolitu. Trzeba jednak pamiętać, że procentowa wartość tego dodatku odnosi się do MMA, a pierwszym krokiem w ustaleniu składu mma jest zaprojektowanie uziar-

nienia mieszanki mineralnej. Należy dokonać odpowiedniego przeliczenia udziału w MM wypełniacza i zeolitu, z uwzględnieniem projektowanej ilości lepiszcza.

Dla danych jak w przykładzie, projektowana ilość wypełniacza w stosunku do mieszanki mineralnej wynosi 3%, natomiast w odniesieniu do mma to 2,868% (tab. 4). Kolejnym krokiem jest ponowne przeliczenie pomniejszonej o 0,3% ilości wypełniacza (2,868%-0,3%) i zeolitu w stosunku do masy MM. Otrzymano następujące wartości: 2,686% wypełniacza i 0,314% zeolitu w stosunku do całego kruszywa. Ponieważ procent kruszywa przechodzącego przez sito 0,063 mm, jak i zawartość dodatków powinna być wyrażona z dokładnością do 0,1% [1] ostateczne wyniki to 2,7% wypełniacza oraz 0,3% zeolitu w odniesieniu do MM. Ostatecznie otrzymano takie same wartości (%) jak w stosunku do całej mieszanki mineralno-asfaltowej. Autor dokonał analizy również dla mieszanek o innym przeznaczeniu, z różnymi zawartościami asfaltu. Efekt końcowy za każdym był taki jak w przedstawionym przykładzie.

Dla analizowanego w niniejszym artykule przypadku, po uwzględnieniu w składzie kruszywa zeolitu, nieznacznie zmieniła się wartość przesiewu przez sito 0,063. W pierwotnej wersji przesiew ten wynosił 4,6% (tab. 3), natomiast po korekcie o dodatek 0,3% zeolitu wzrósł do 4,7%. Dla innych analizowanych przypadków zmiana wynosiła od 0 do 0,1%. Również gęstość mma określana na podstawie gęstości poszczególnych składników zmieniła się marginalnie (1- 3 kg/m<sup>3</sup>). Dla powyższych danych gęstość mma spadła z 2507 kg/m<sup>3</sup> do 2505 kg/m<sup>3</sup>.

Zmiana uziarnienia mieszanki mineralnej może skutkować koniecznością korekty ilości dozowanego asfaltu. W produkcji mieszanek mineralno asfaltowych istotną kwestią jest otoczenie wszystkich ziaren błoną lepiszcza asfaltowego o odpowiedniej grubości. Grubość otoczki asfaltowej zależy od rodzaju lepiszcza oraz powierzchni właściwej mieszanki [2], obliczanej zgodnie z wzorem (1):

$$F = (0,04g + 0,06z + 0,10s + 1,5f)x^{2,65} / \rho^{m-m} \quad (1)$$

w którym:  $F$  – powierzchnia właściwa zaprojektowanej mieszanki [m<sup>2</sup>/kg],  $g$  – zawartość frakcji powyżej 4 mm [% (m/m)],  $z$  – zawartość frakcji 0,3 do 4 mm [% (m/m)],  $s$  – zawartość frakcji 0,075 do 0,3 mm [% (m/m)],  $\rho^{m-m}$  – gęstość mieszanki mineralnej.

Znając powierzchnię właściwą można określić potrzebną zawartość asfaltu w mieszanke mineralnej (2):

$$A_k = \frac{Fb\rho^a}{10} \quad (2)$$

gdzie:  $A_k$  – zawartość asfaltu [%],  $F$  – powierzchnia właściwa [m<sup>2</sup>/kg],  $\rho^a$  – gęstość asfaltu [Mg/m<sup>3</sup>],  $b$  – grubość otoczki asfaltowej [μm].

Powierzchnia właściwa MMA referencyjnej wynosi 11,33 m<sup>2</sup>/kg, natomiast po uwzględnieniu zeolitu – 11,42 m<sup>2</sup>/kg. Przy założeniu grubości otoczki asfaltowej 3,2 μm, zawartość asfaltu dla mieszanki uwzględniającej zeolit wzrosła z 3,70 do 3,73%.

Ostatnią kwestią wymagającą sprawdzenia jest objętościowa zawartość asfaltu (3):

$$V_a = \frac{A_m \rho_p^m}{\rho^a} \quad (3)$$

gdzie:  $V_a$  – objętość asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej [%],  $A_m$  – ilość asfaltu w mieszance [%],  $\rho^a$  – gęstość asfaltowej asfaltu [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],  $\rho_p^m$  – gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],

Objętościowa zawartość asfaltu z mieszance z dodatkiem zeolitu wzrosła o 0,06% (z 8,68% do 8,74%).

## 5. Wnioski

Przeprowadzona analiza potwierdza brak konieczności uwzględniania 0,3% dodatku zeolitu w składzie mieszanki mineralnej (tab.1). Zmiana recepty mma sprowadza się jedynie do zmniejszenia ilości dodawanego wypełniacza o procent dozowanego zeolitu. Zgodnie z WT 2 dopuszczalna odchyłka dodatku lepiszcza (zawierająca błąd badania i dozowania) wynosi 0,3%. Różnicę w ilości asfaltu poniżej 0,1% należy uznać za nieistotną.

Technologia która w dużym stopniu bazuje na istniejących rozwiązaniach spotka się na pewno z większą przychylnością projektantów i wykonawców. Niewielkie nakłady finansowe w celu wprowadzenia omawianej technologii, a także oszczędności wynikające z niższej temperatury produkcji, przekładają się na wyższą wydajność ekonomiczną. Zastosowanie zeolitów w produkcji mma to również zmniejszenie emisji wycieków, aerozoli, dwutlenku węgla. Dzięki czemu chroni się nie tylko środowisko, ale również podnosi się bezpieczeństwo i komfort ludzi pracujących przy produkcji i w budowywaniu MMA.

## Literatura

- [1] PN-EN 13108-1 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 1; Beton asfaltowy*.
- [2] Hurley, G. and Prowell, B. *Evaluation of potential processes for use in warm asphalt mixes*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists 75 (2006) 41-85.
- [3] Prowell B. *Warm mix asphalt – The international technology scanning program*. Summary report. NCHRP 2007.
- [4] Sybilski D., Horodecka R., Bańkowski W., Wróbel A., Mirski K. *Zastosowanie asfaltu spienionego w technologii recyklingu nawierzchni na zimno*. Projekt na zlecenie GDDKiA, 2004.
- [5] Aspha-min, <http://www.aspha-min.com/98.html>.
- [6] D'Angelo J., Corrigan M., Harman T., Jones W., Newcomb D., Prowell B. *Warm-Mix Asphalt: European Practice*. Report No. FHWA-PL-08-007, 2008.
- [7] Barthel, W., Marchand, J., Von Devivere, M. *Warm mix asphalt by adding a synthetic zeolite*. Proceedings of the Third Eurasphalt and Eurobitume Conference, Book 1, Foundation Eurasphalt, Breukelen, The Netherlands, 2004, 1241-1249.
- [8] Judycki J., Stienss M. *Wstępne zalecenia dotyczące projektowania, produkcji i w budowywania mieszanek mineralno asfaltowych wałowanych o obniżonej temperaturze otaczania i w budowania (WMA) z dodatkami obniżającymi temperaturę produkcji*. 2012.
- [9] Judycki J. *Badania mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze otaczania*. Projekt badawczy dla GDDKiA, 2011.



- 
- [10] PN-EN 993-1 *Badania geometrycznych właściwości kruszyw Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewania.*
- [11] PN-EN 13043 *Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu.*
- [12] Błażejowski K., Styk S. *Technologia warstw asfaltowych. Nawierzchnie drogowe.* Poradnik, WKŁ, 2004.

## **Designing warm – mix asphalt with the zeolite addition**

**Agnieszka Woszuk**

*Chair of Roads and Bridges, Faculty of Civil Engineering and Architecture,  
Lublin University of Technology e-mail: a.woszuk @ pollub.pl*

**Abstract:** The purpose of this paper is to discuss the design of warm-mix asphalt. One way to reduce the temperature of bituminous mix is the use of zeolite. The article shows the lack of differences in designing WMA recipe with zeolite addition compared to the HMA.

**Keywords:** zeolite, warm mix asphalt, mix asphalt design.

