

## II Lubelskie Forum Drogowe "Lubelski węzeł drogowy: dziś i jutro"



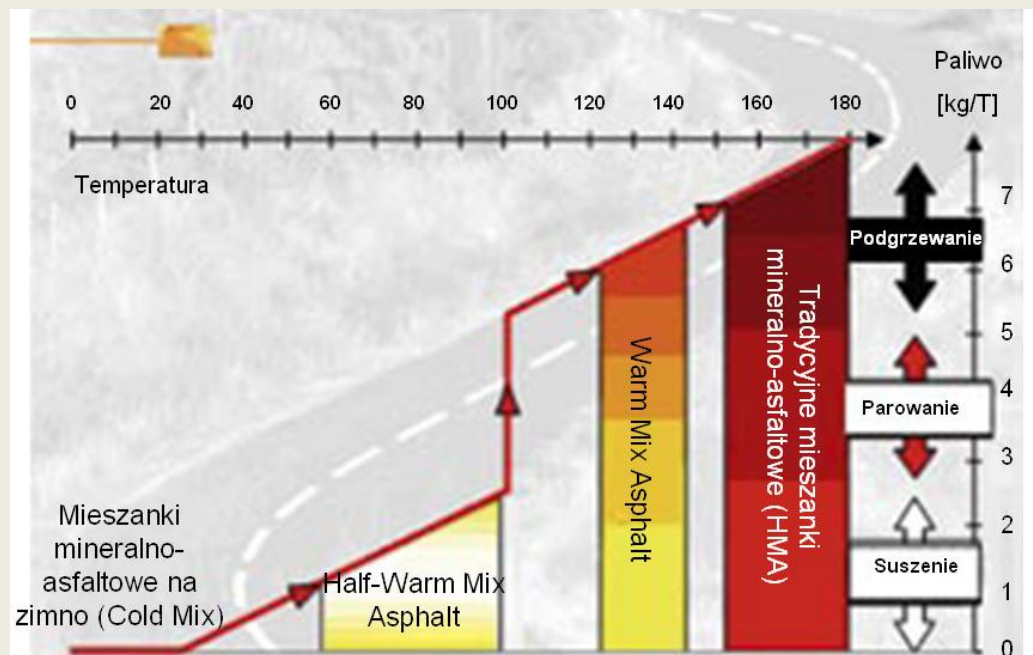
Zastosowanie dodatków mineralnych  
w mieszankach mineralno-asfaltowych na ciepło



Dr inż. Agnieszka Wozuk  
Katedra Dróg i Mostów  
Politechnika Lubelska

## Podział technologii produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych

- mma na gorąco – temp. produkcji 190 - 150°C (Hot Mix Asphalt),
- **mma na ciepło – temp. produkcji 100 - 140°C (Warm Mix Asphalt),**
- mma na „półciepło” – temp. produkcji 60 – 100°C (Half- Warm Mix Asphalt),
- mma na zimno – temp. produkcji 0 – 40°C (cold mixes).

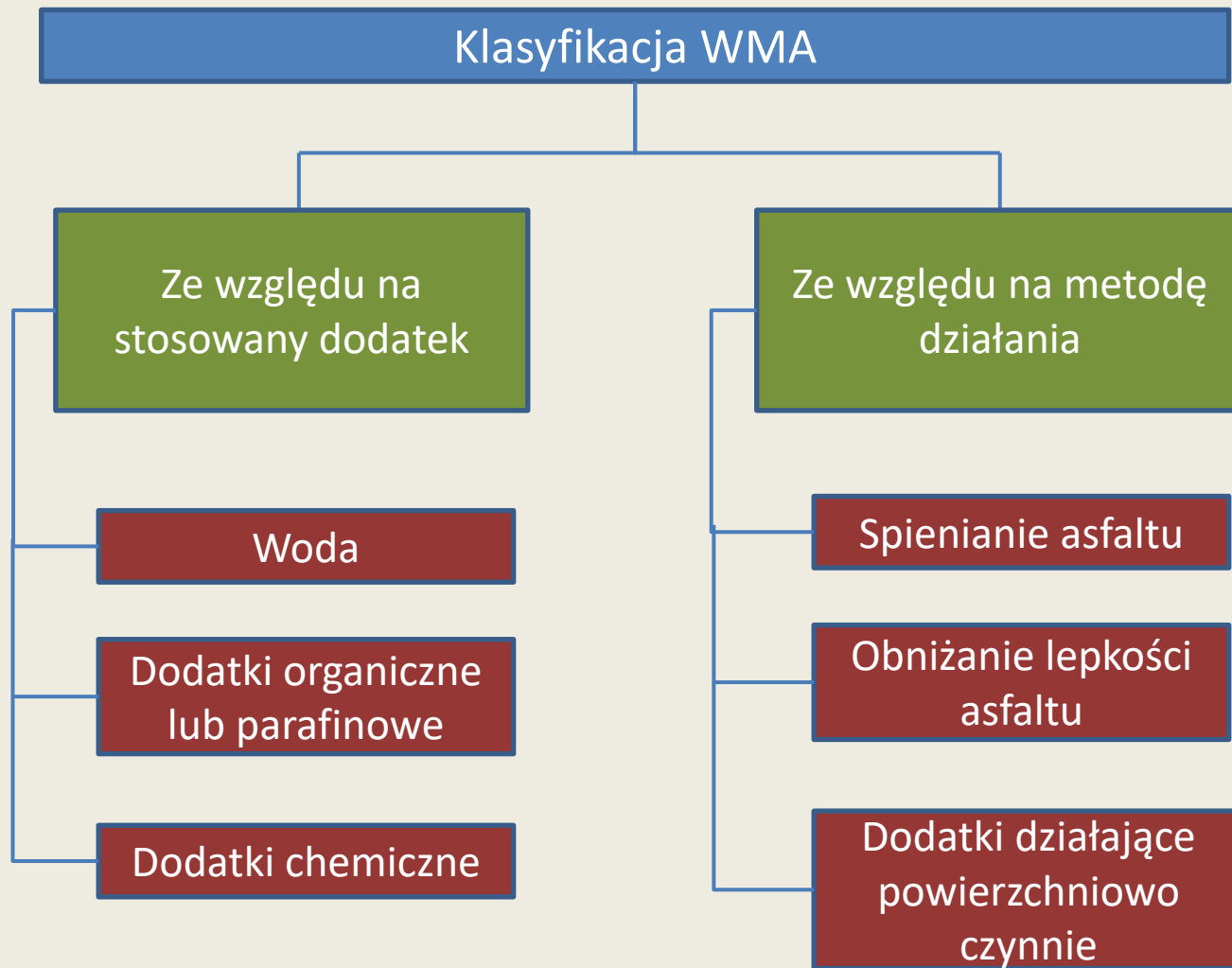


Rys. Klasyfikacja mieszanek mineralno – asfaltowych według temperatur i przybliżone zużycie paliwa<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> [Judycki J. "Badania mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze otoczenia", projekt badawczy dla GDDKiA, 2011]

# Podział technologii produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych

---



## Produkty obniżające temperaturę produkcji mma <sup>2)</sup>

Produkt	Firma	Opis	Dodatek	Temp. produkcji [przedział redukcji]
<b>Technologia spieniania</b>				
<b>Aquablack WMA</b>	MAXAM		Nie jest konieczny	Nie określono
<b>Double Barrel Green</b>	Astec	Na bazie wody, proces spieniania	Opcjonalnie, środek adhezyjny	116-135°C
<b>Low Energy Asphalt</b>	LEACO	Na bazie wody, Gorące grube kruszywo połączone z mokrym piaskiem	0,5% masy asfaltu oraz środek adhezyjny	≤100°C
<b>Low Emission Asphalt</b>	McConnau-ghay Technologies	Połączenie dodatku chemicznego ze spienianiem asfaltu	0,4% masy asfaltu	90°C
<b>Ultrafoam GX</b>	Gencor Industries	Na bazie wody, proces spieniania	Nie jest konieczny	Nie określono
<b>WAM-Foam</b>	Shell and Kolo-Veidekke	Proces spieniania poprzez dodanie dwóch różnych lepiszczy	Środek adhezyjny można dodać do miękkiego asfaltu	110-120°C
<b>Warm Mix Asphalt System</b>	Terex Roadbuilding	Na bazie wody, proces spieniania	Nie jest konieczny	<32°C
<b>LEAB</b>	BAM	Na bazie wody, mieszanie kruszyw poniżej temp. wrzenia wody	0,1% masy asfaltu oraz środek adhezyjny	90°C
<b>LT Asphalt</b>	Nynas	Na bazie wody, spienianie asfaltu + hydrofobowy wypełniacz	0,5-1,0% hydrofobowego wypełniacza w stosunku do masy mma	90°C
<b>Advera</b>	PQ Corporation	Zeolit syntetyczny	0,25% masy mma	10-20°C
<b>Aspha-Min</b>	Eurovia	Zeolit syntetyczny	0,3% masy mma	30°C

## Produkty obniżające temperaturę produkcji mma

Produkt	Firma	Opis	Dodatek	Temp. produkcji [przedział redukcji]
<b>Dodatki organiczne</b>				
<b>Sasobit</b>	Sasol	Wosk syntetyczny Fischer-Tropsch	2,5-3% masy asfaltu (Niemcy) 1-1,5% masy asfaltu (U.S)	10-30°C
<b>Asphaltan A Romonta N</b>	Romonta GmbH	Wosk Montana do asfaltu lanego	1,5-2,0% masy asfaltu	20°C
<b>Asphaltan B</b>	Romonta GmbH	Rafinowany wosk Montana z amidami kwasu tłuszczowego do wałowanych mma	2-4% masy mma	20-30°C
<b>Licomont BS 100</b>	Clariant	Amidy kwasu tłuszczowego	3% masy asfaltu	20-30°C
<b>3E LT (Ecoflex)</b>	Colas	Brak danych	Tak, brak danych	30-40°C

## Produkty obniżające temperaturę produkcji mma

Produkt	Firma	Opis	Dodatek	Temp. produkcji [przedział redukcji]
<b>Dodatki chemiczne</b>				
<b>Evotherm ET</b>	Mead-Westvaco	Chemiczna emulsja asfaltowa	Forma emulsji bitumicznej	50-75°C
<b>Evotherm DAT</b>	Mead-Westvaco	Dodatek chemiczny + woda	30% masy asfaltu	45-55°C
<b>Evotherm 3G</b>	Mead-Westvaco	Dodatek chemiczny + woda	Brak danych	33-45°C
<b>CECABASE RT</b>	CECA Arkema group	Dodatek chemiczny	0,2-0,4% masy mma	120°C
<b>Rediset WMX</b>	Akzo Nobel	Kationowe środki powierzchniowo czynne i dodatek organicznego	1,5-2% masy asfaltu	≥30°C
<b>REVIX</b>	Mathy-Ergon	Środki powierzchniowo czynne, woski, substancje pomocnicze, polimery	Brak danych	15-26°C

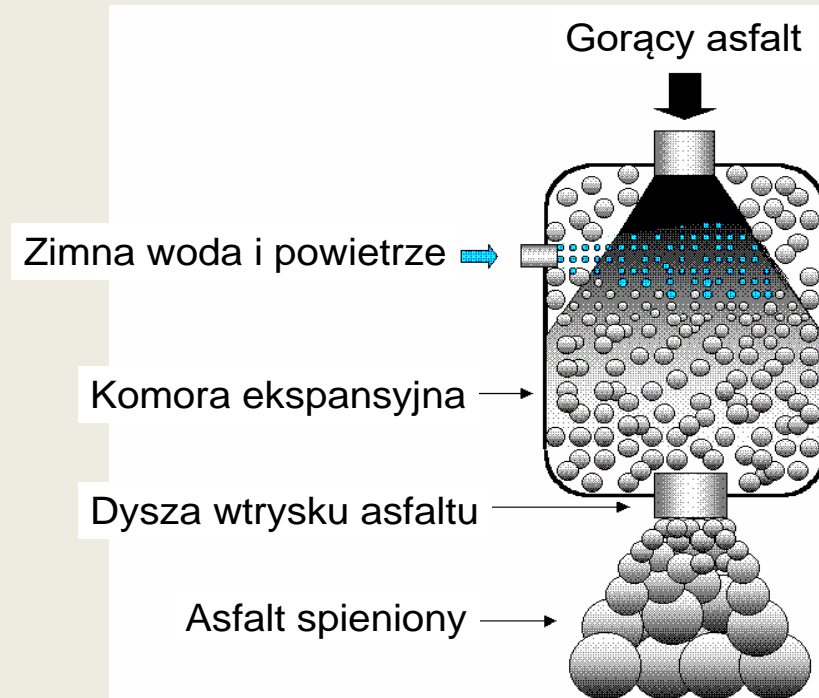
2) Rubio MC., Martínez G., Baena L., Moreno F.; Warm mix asphalt: an overview; Journal of Cleaner Production; 2012; 24, s.76–84.

# Spienianie asfaltu

## Schemat wytwarzania asfaltu spienionego <sup>6)</sup>

### Proces spieniania asfaltu zależy od:

- temperatury asfaltu (od 140°C do 200°C ),
- zawartości wody (optymalnie 2% do 4% w stosunku do asfaltu),
- rodzaju asfaltu.

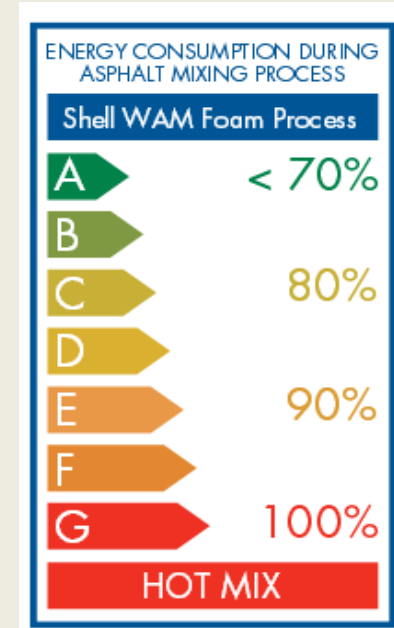
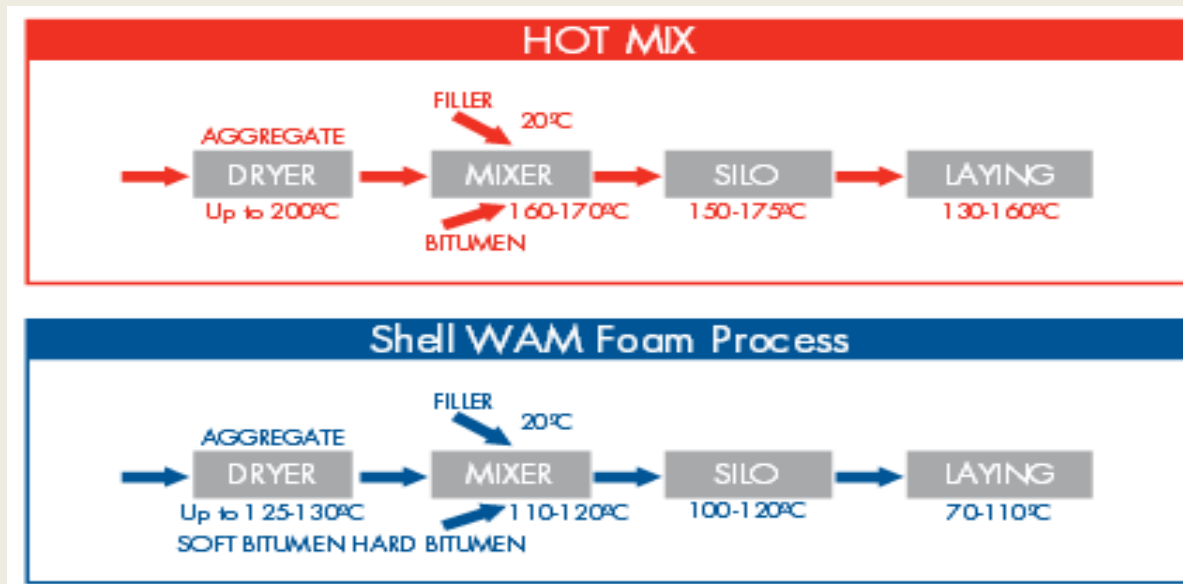


<sup>6)</sup> Sybilski D., i inni.; Zastosowanie asfaltu spienionego w technologii recyklingu nawierzchni na zimno; projekt na zlecenie GDDKiA; 2004

# WAM-Foam

Proces dwuetapowy:

1. Kruszywo rozgrzane do temperatury 100–120°C jest mieszane z miękkim asfaltem, stanowiącym zwykle 20 lub 30% masy całego lepiszcza ( ok. 300 j. pen.)
2. Dodanie spienionego asfaltu twardego ( np. 20/30 j. pen.)

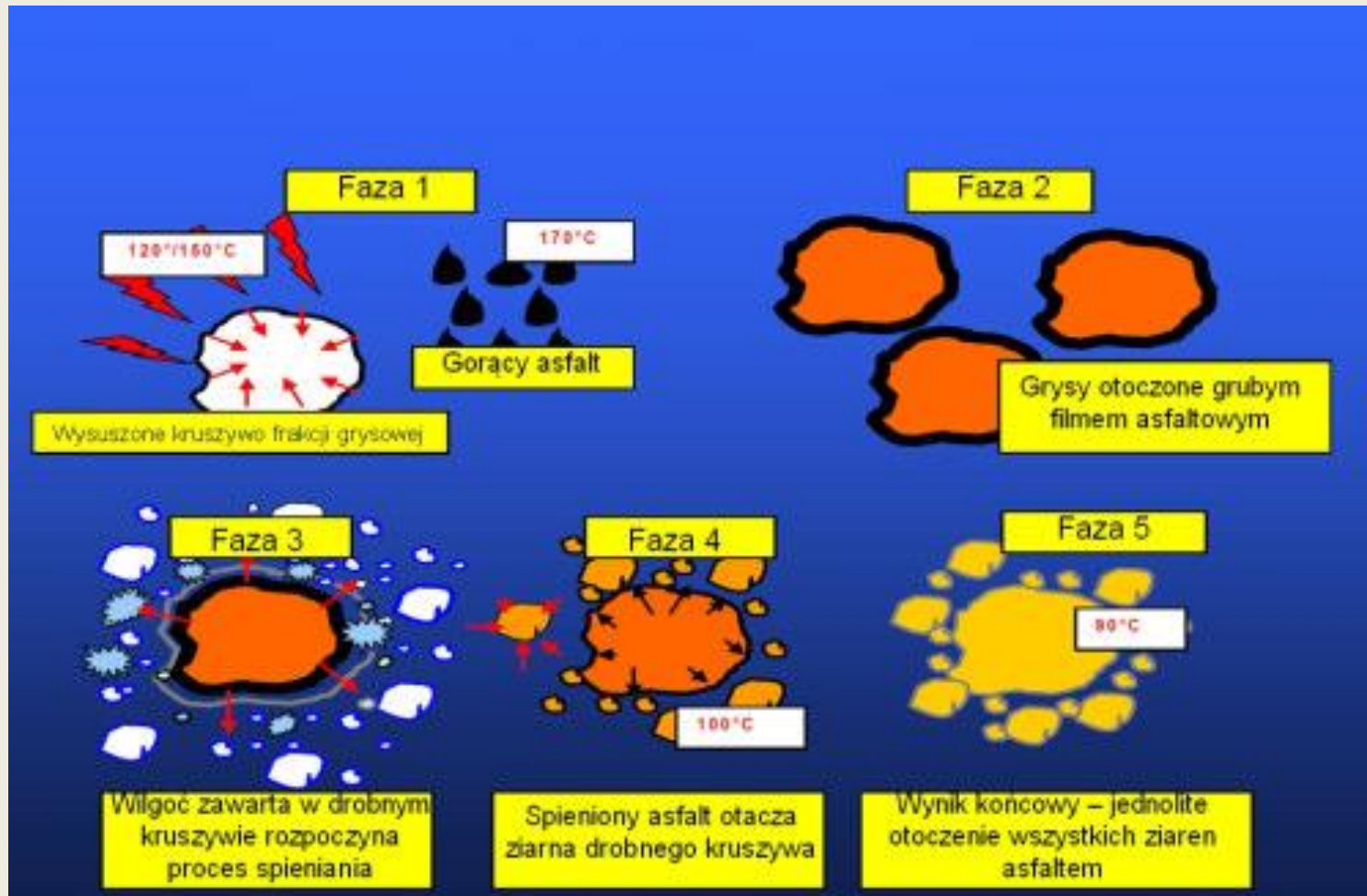


źródło: <http://www.shell.com>

źródło: <http://www.shell.com>



# Low-Energy Asphalt (LEA)



źródło: Judycki J., Badania mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze otaczania; projekt badawczy dla GDDKiA, 2011

## Double Barrel Green

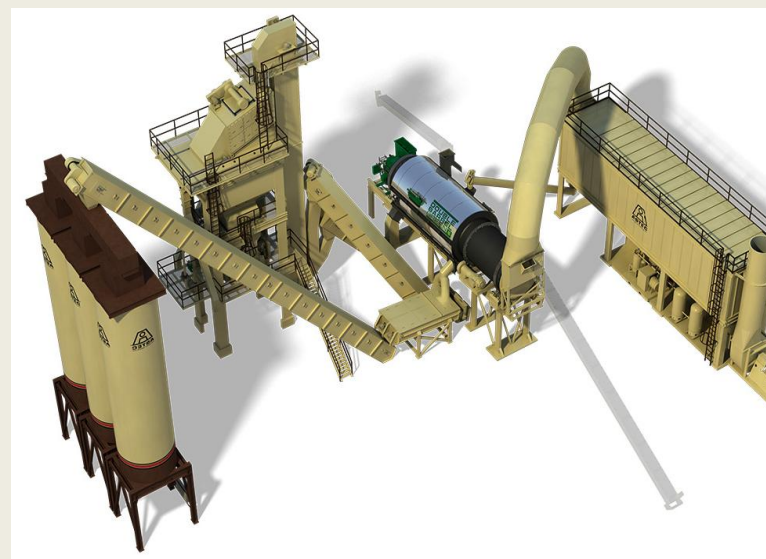
Spienienie asfaltu umożliwiającą zestawy dysz wtryskujących wodę do rozgrzanego bitumu. Firma ASTEC oferuje pełen zestaw instalacyjny składający się z zestawu dysz, zbiornika na wodę oraz urządzenia do sterowania wytwórnią.



źródło: <http://www.astecinc.com>



źródło: <http://www.rennsli.com>



źródło: <http://www.astecinc.com>

## Dodatki organiczne

---

**Dodatki organiczne** (woski), które po wymieszaniu z lepiszczem tworzą homogeniczną mieszaninę z bazowym asfaltem i obniżają jego lepkość w stanie płynnym.

Obecnie istniejące organiczne dodatki można przyporządkować do trzech grup:

- wosk Fischera-Tropscha (wosk F-T) np. Sasobit,
- amid kwasu tłuszczowego (wosk amidu)  
np. Licomont BS 100
- wosk Montana np. Asphaltan-B



## Dodatki organiczne

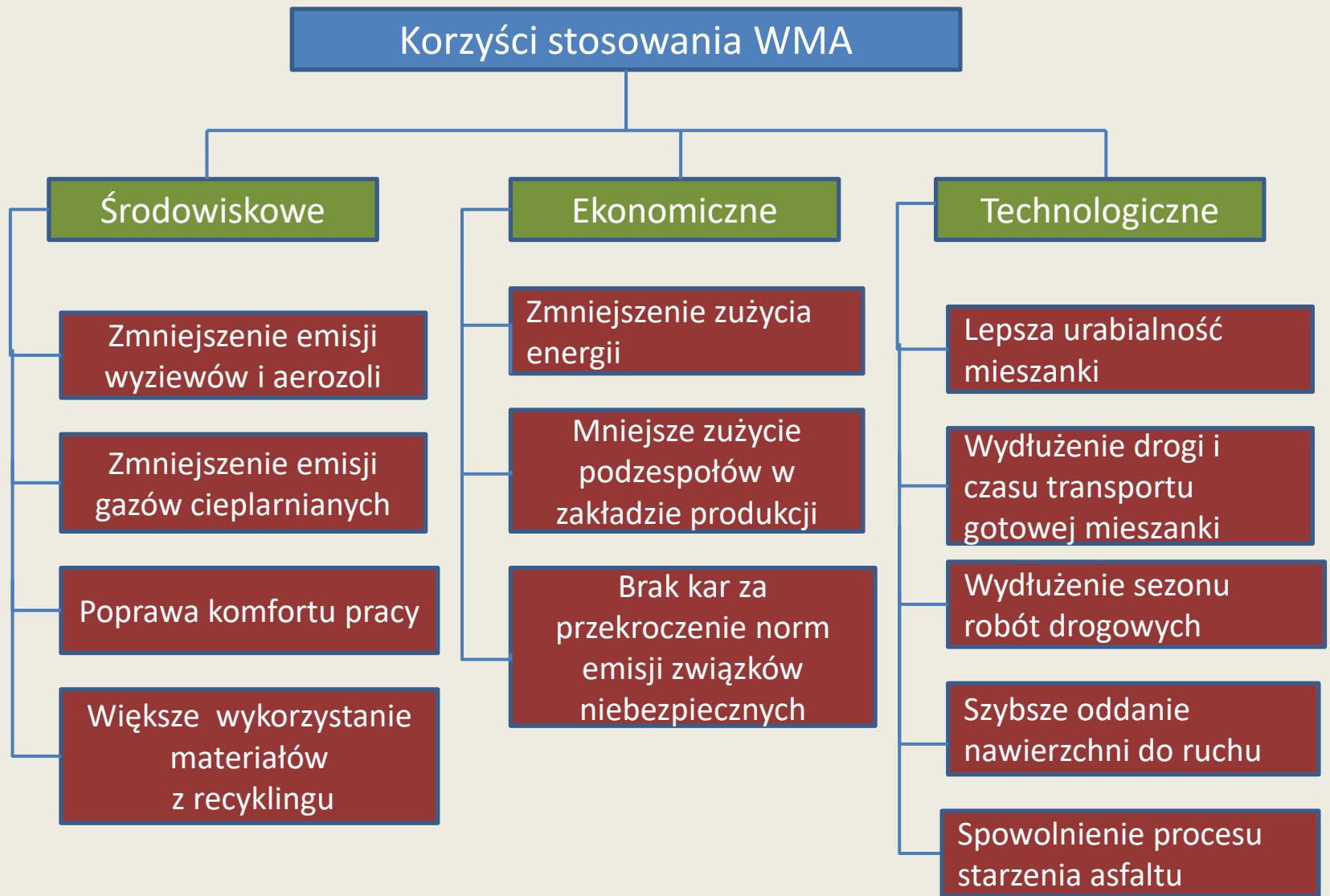
---

**Dodatki chemiczne** występujące zwykle jako środki powierzchniowo czynne. Zmniejszają siły tarcia między powierzchnią styku asfaltu i kruszywa poprawiają przyczepność asfaltu do kruszywa.

Dodatki te mają postać emulsji do bezpośredniego użycia lub dodawane są do lepiszcza podczas procesu wytwarzania MMA.

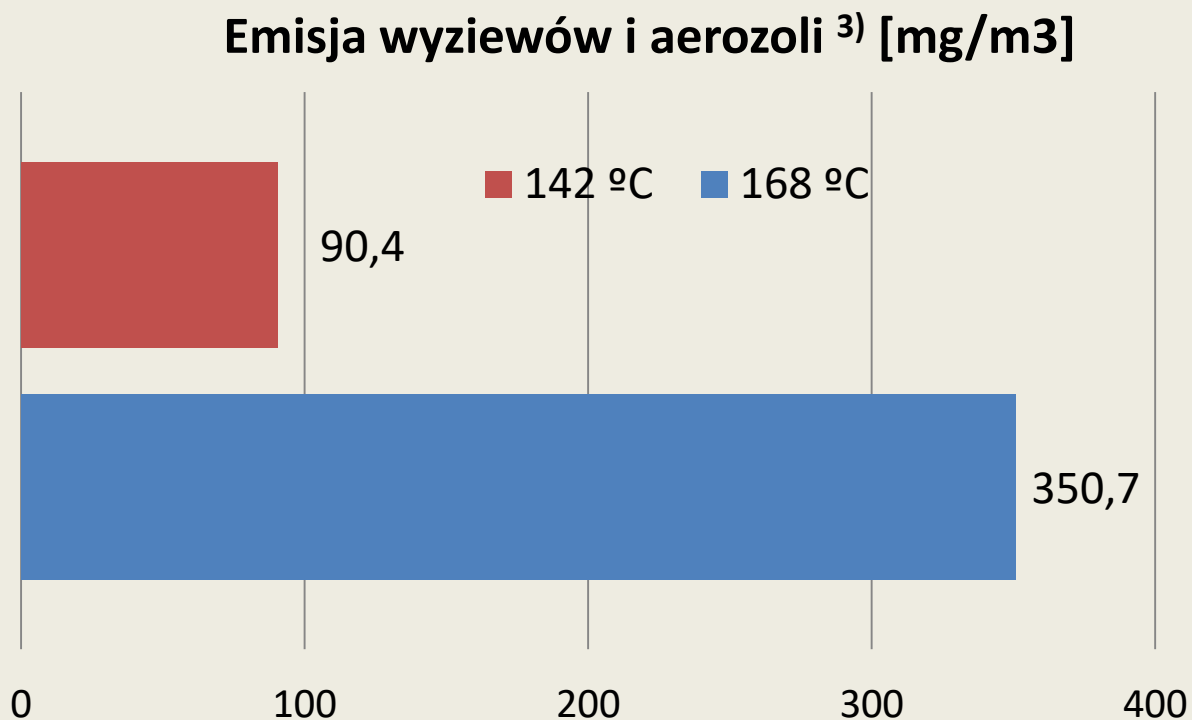
Evotherm ET jest zestawem związków chemicznych obejmujących kationowe środki emulsyjne, dodatki poprawiające urabialność i zagęszczanie MMA oraz zwiększające przyczepność asfaltu do kruszywa. Produkt ten ma postać emulsji pokrywającej gorące kruszywo. Zawartość asfaltu w emulsji wynosi 70%.

# Korzyści stosowania WMA



## Korzyści środowiskowe

---



<sup>3)</sup> Barthel, W., "Warm Mix Asphalt by Adding a Synthetic Zeolite," Proceedings of the Third Eurasphalt and Eurobitume Conference, 2004



# Korzyści środowiskowe

---

## Wbudowywanie HMA i WMA



Źródło: 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, Breukelen, The Netherlands, 2004



## Korzyści środowiskowe

---

Redukcja gazów cieplarnianych :

- CO<sub>2</sub> - 20-40%
- SO<sub>2</sub> - 20-35%
- CO - 10-30%
- NO<sub>x</sub> - 60-70%
- VOC - 50%



Źródło: 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, Breukelen, The Netherlands, 2004



## Korzyści ekonomiczne

Temperatura  
produkcji

↓ 30°C

Zużycie energii

↓ 9 kwh/  
tonę MMA

Energia do  
produkcji  
WMA

==

60%  
80%

Energii do  
produkcji  
HMA

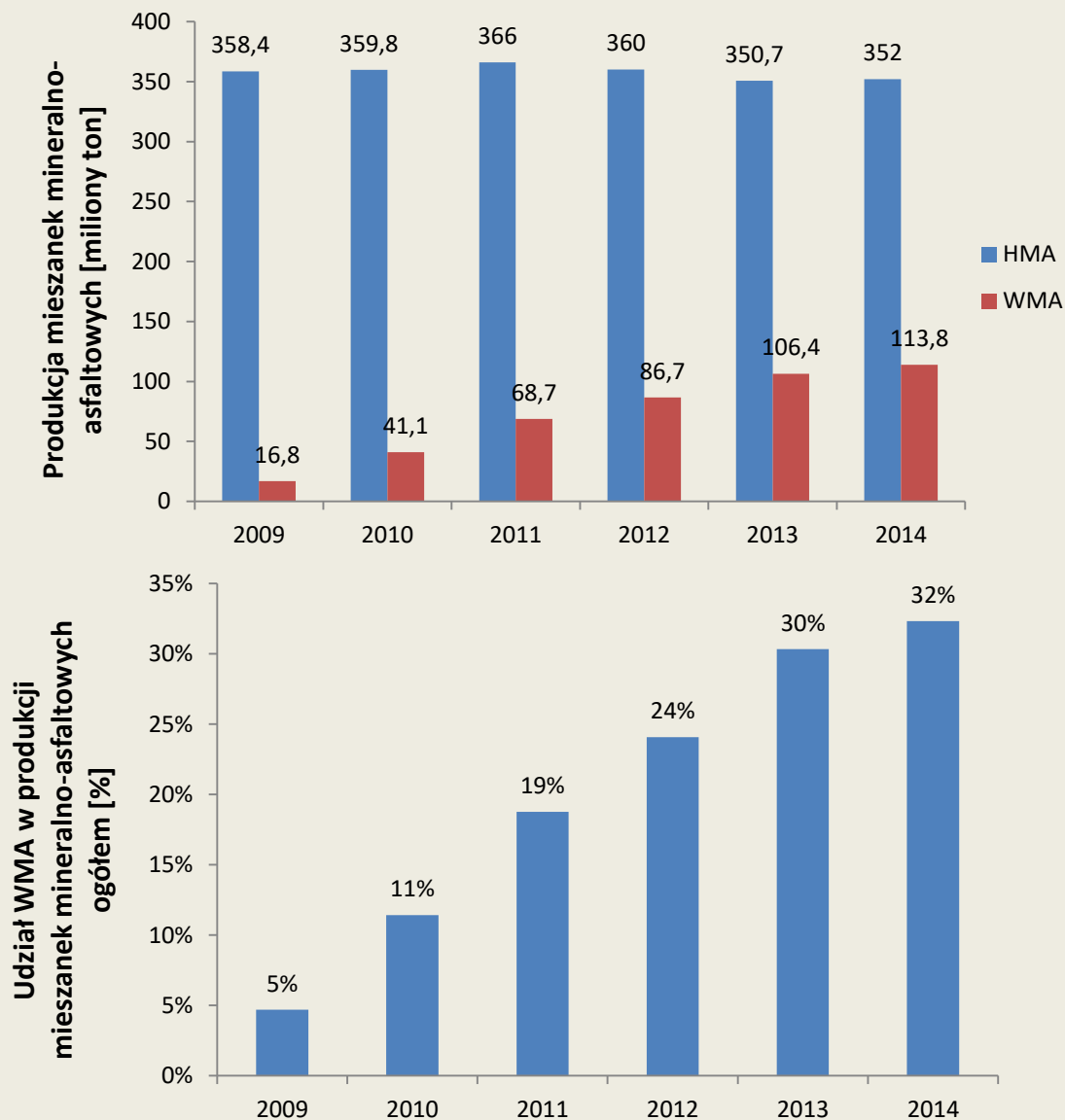
Koszty zastosowania mma na ciepło w różnych technologiach <sup>5)</sup>

Technologia WMA	WAM-Foam	Aspha-Min
Koszt modyfikacji wytwórni lub instalacji	\$30 000- \$70 000	\$0-\$40 000
Licencja	\$15.000 w pierwszym roku \$5000/wytwórnię/rocznie \$0,30/tonę mma	brak
Koszt materiałów	brak	\$ 1,30/kg

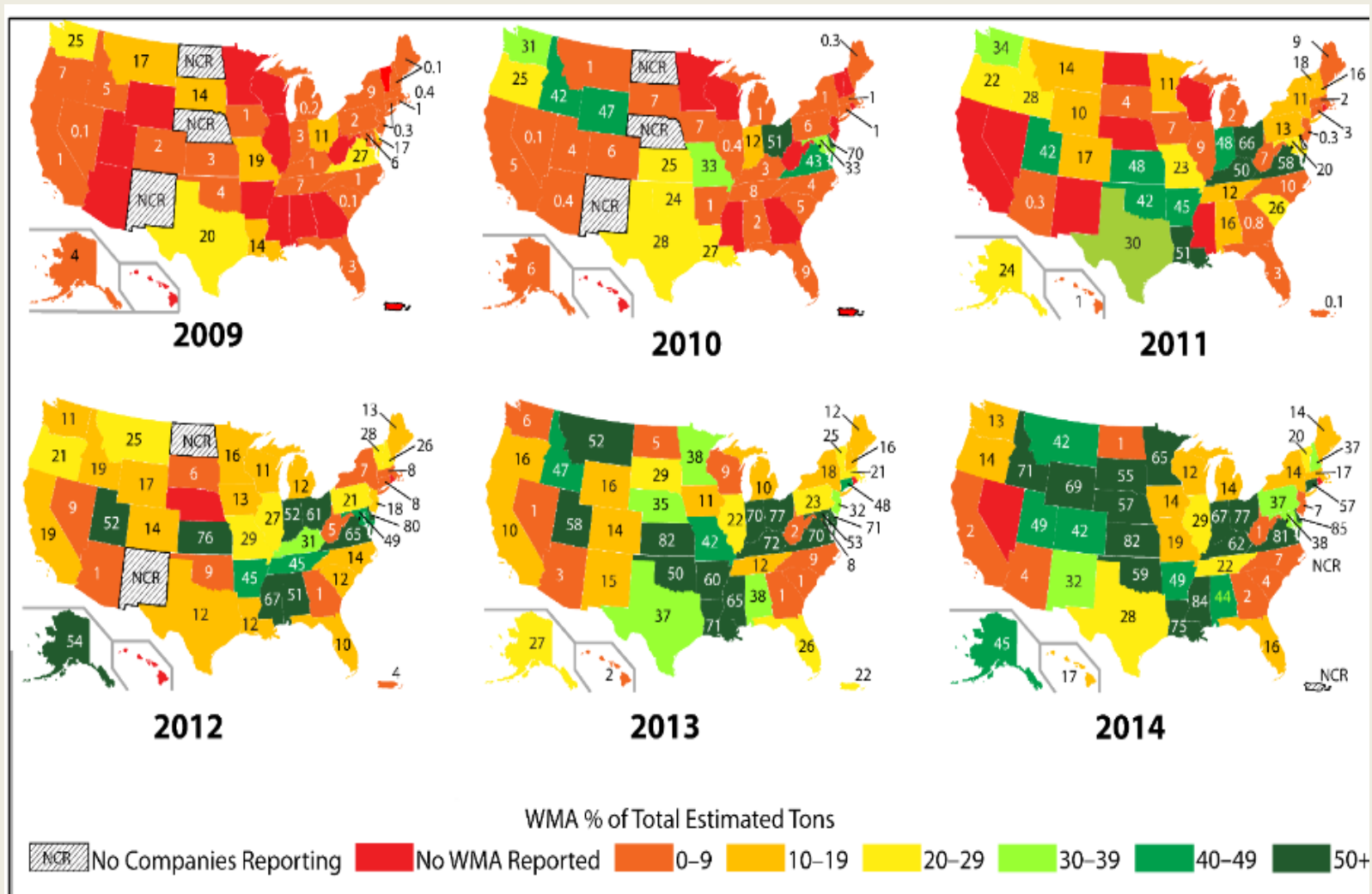
<sup>5)</sup> Rubio MC., Martínez G., Baena L., Moreno F.; Warm mix asphalt: an overview; Journal of Cleaner Production; 2012; 24, s.76–84.



# WMA w Stanach Zjednoczonych

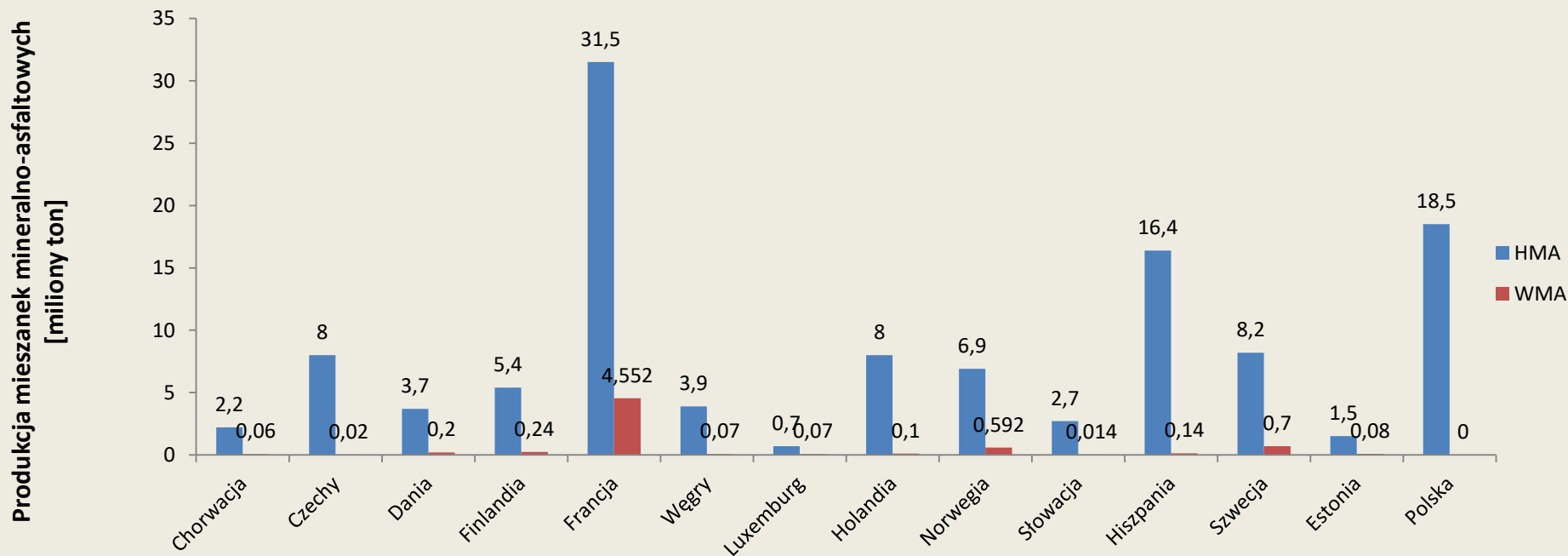


# WMA w Stanach Zjednoczonych



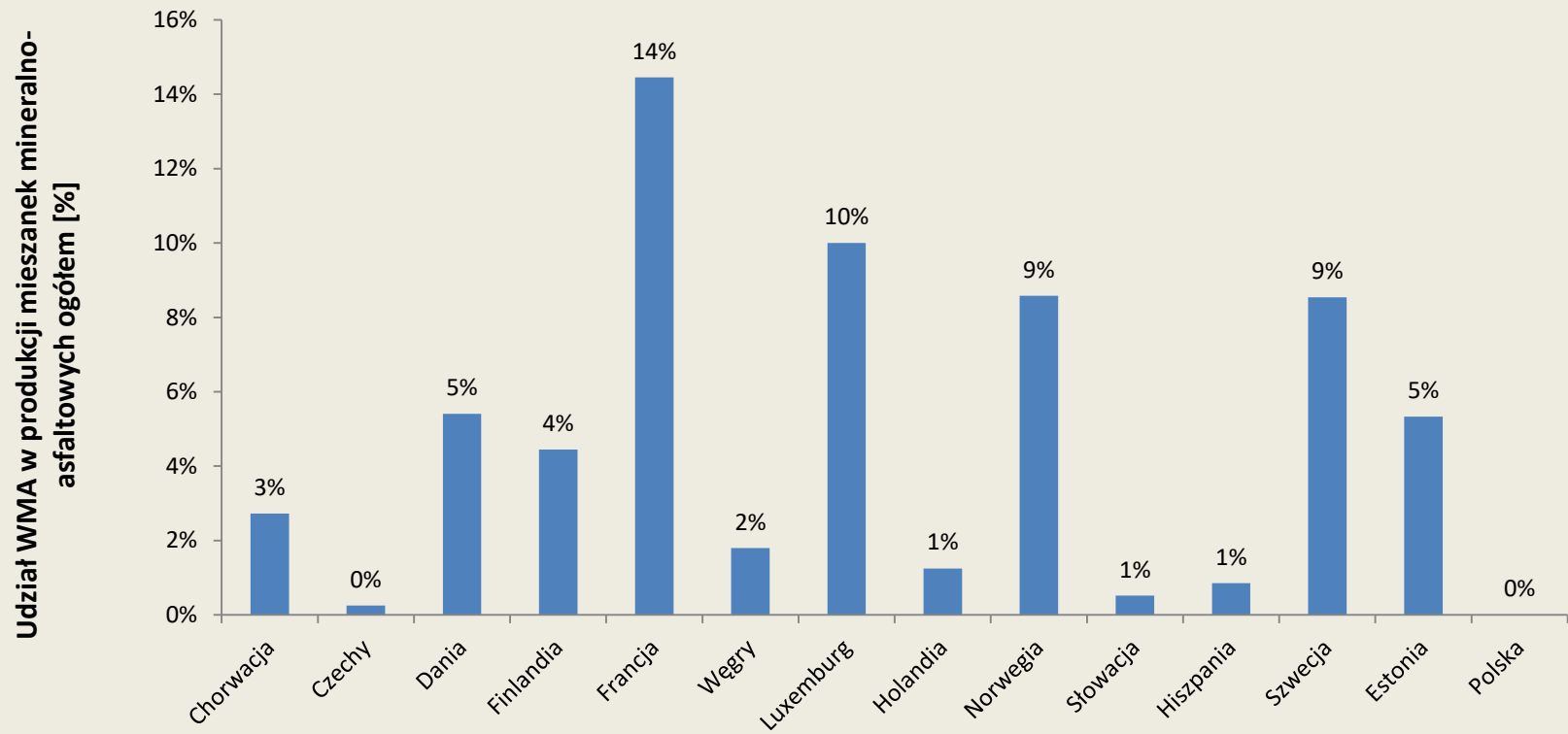
Dane źródłowe: Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage, NAPA, 2014

# WMA w Europie 2015r.



Dane źródłowe: <http://www.epa.org>

## WMA w Europie 2015r.



Dane źródłowe: <http://www.eapa.org>

## WMA w Polsce

---

- **Politechnika Świętokrzyska** - sposób wytwarzania betonu asfaltowego w technologii obniżonej temperatury, objęty ochroną patentową PL 219042.

Sposób ten charakteryzuje się tym, że asfalt przed spienieniem jest modyfikowany woskiem Fischera-Tropscha, co pozwala na obniżenie temperatur zagęszczania poniżej 100 °C.

- Politechnika Warszawska z Instytutem Badawczym Dróg i Mostów oraz z firmą Mostostal Warszawa S.A. realizowała projekt „**Przyjazne dla środowiska mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło jako nowoczesne rozwiązanie technologiczne zwiększające wydajność budowy nawierzchni asfaltowych**”.

Określano możliwości obniżenia temperatur technologicznych przy zastosowaniu 18 rodzajów „parafin nowej generacji

- Zespół **Politechniki Gdańskiej** wykonał obszerne badania WMA z zastosowaniem 5 rodzajów dodatków Wyniki badań były podstawą do opracowania „*Zaleceń dotyczących projektowania, produkcji i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych wałowanych o obniżonej temperaturze otaczania i wbudowania (WMA) z dodatkami obniżającymi temperaturę produkcji*”

- **Politechnika Lubelska** – badania WMA spienianych przez dodanie zeolitów

# Zeolity

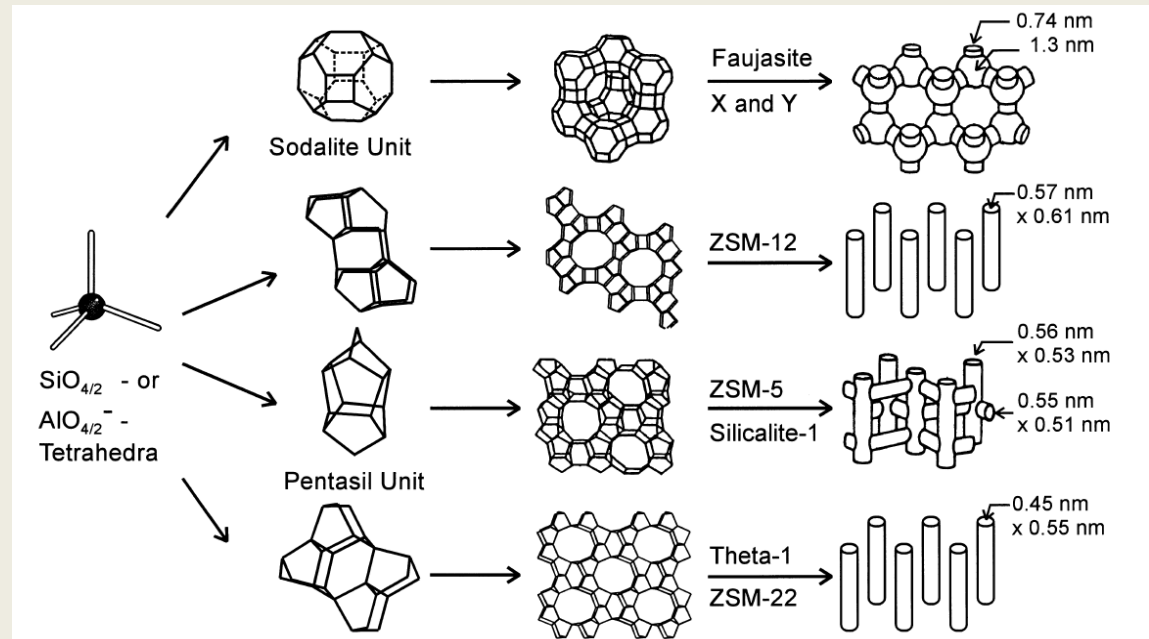
**Zeolity** - glinokrzemiany o strukturze szkieletowej zawierające wolne przestrzenie (kanały i komory) o wielkości kilku nm., nadające im szczególne właściwości:

- sorpcyjne,
- katalityczne
- molekularno-sitowe

**Cecha charakterystyczna zeolitów - zdolność gromadzenia w kanalikach struktury krystalicznej tzw. wody zeolitowej**

Podział zeolitów

- naturalne (około 100 minerałów)
- syntetyczne



# Aspha-Min

---

- Zeolit syntetyczny zawierający około 21 % wody wydzielanej w temperaturach 85-182°C
- Po dodaniu do mma woda zeolitowa paruje spieniając asfalt, co umożliwia otoczenie ziaren kruszywa w niższych temperaturach
- Dozowanie -0,3% w stosunku do masy mma
- W recepcie mma zeolit zastępuje wypełniacz





## Wyniki badań - zeolity

### Parametry teksturalne kinoptilolitu i NaP1

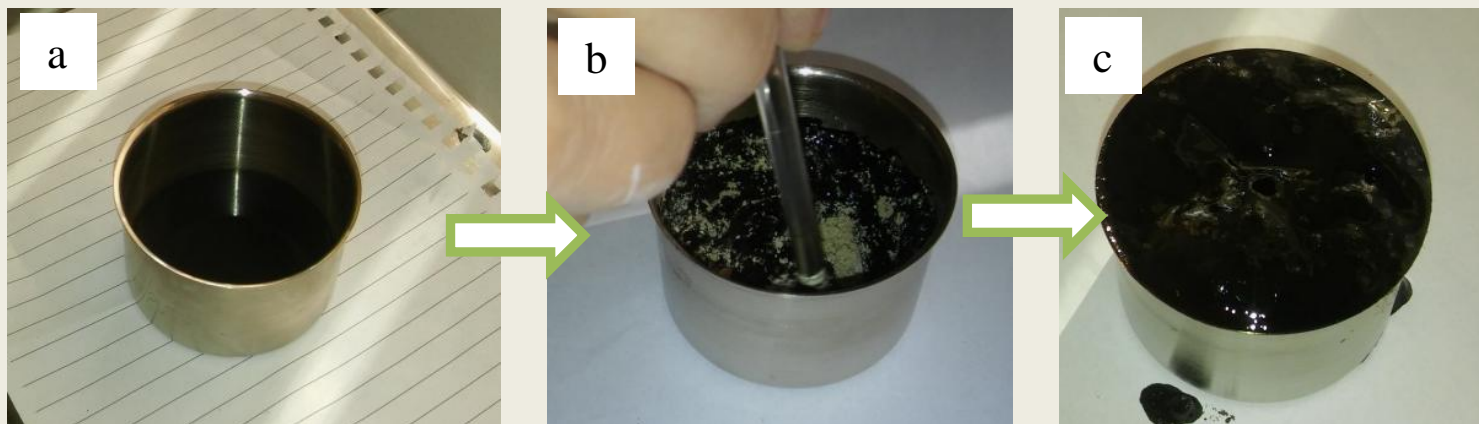
Materiał	$S_{\text{BET}} \text{m}^2/\text{g}$	$V_{\text{mic}} \text{cm}^3/\text{g}$	$S_{\text{mic}} \text{m}^2/\text{g}$	$V_{\text{mes}} \text{cm}^3/\text{g}$	$S_{\text{mes}} \text{m}^2/\text{g}$	$D_p \text{nm}$
Klinoptilolit	18,3	0,05	7,68	0,0046	10,65	10,5
Na-P1	86,8	0,32	32,84	0,0143	54,01	11,6

gdzie:  $S_{\text{BET}}$  – powierzchnia właściwa,  $V_{\text{mic}}/V_{\text{mes}}$  – objętość mikroporów/ objętość mezoporów,  
 $S_{\text{mic}}/S_{\text{mes}}$  – powierzchnia mikroporów/powierzchnia mezoporów,  $D_p$  – średni promień porów



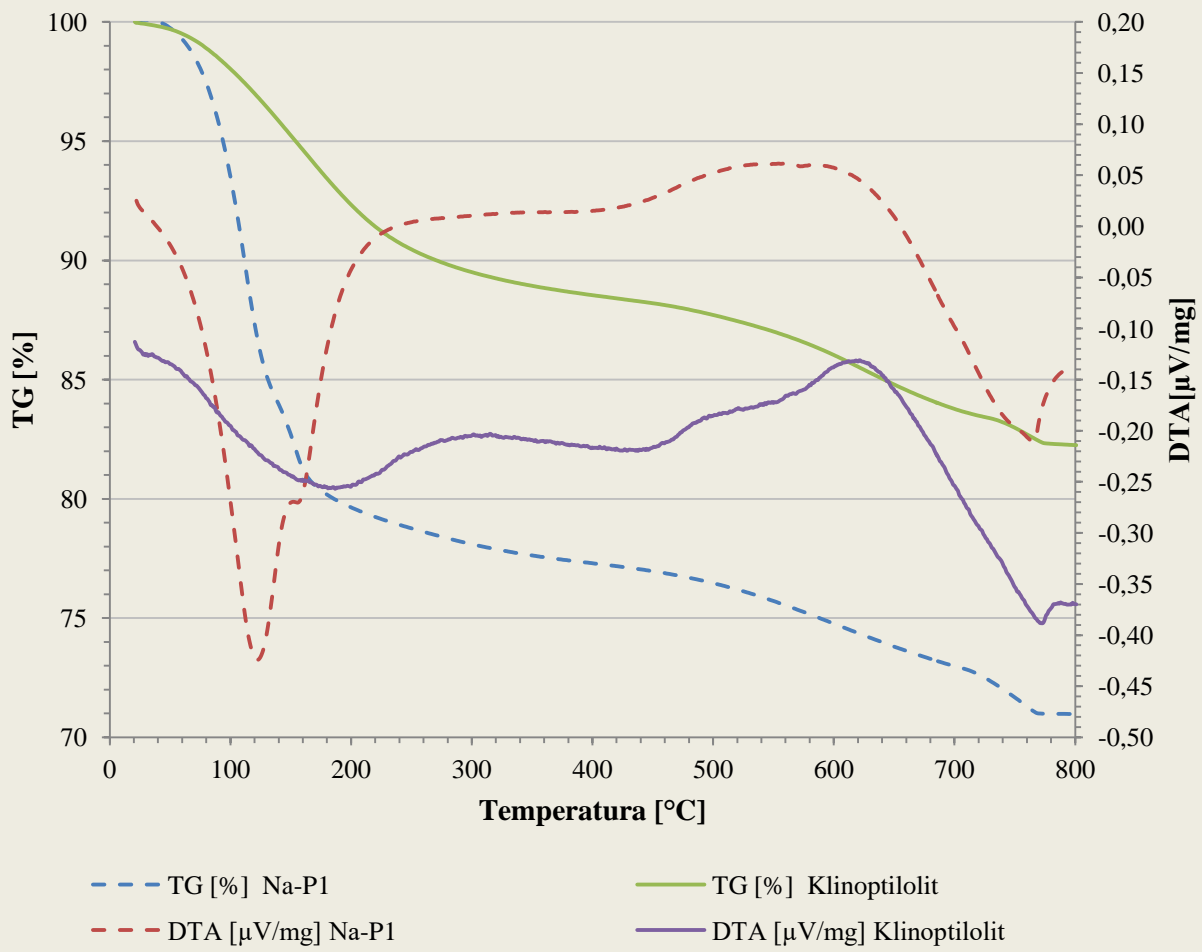
# Spienianie asfaltu przez dodanie zeolitu

---



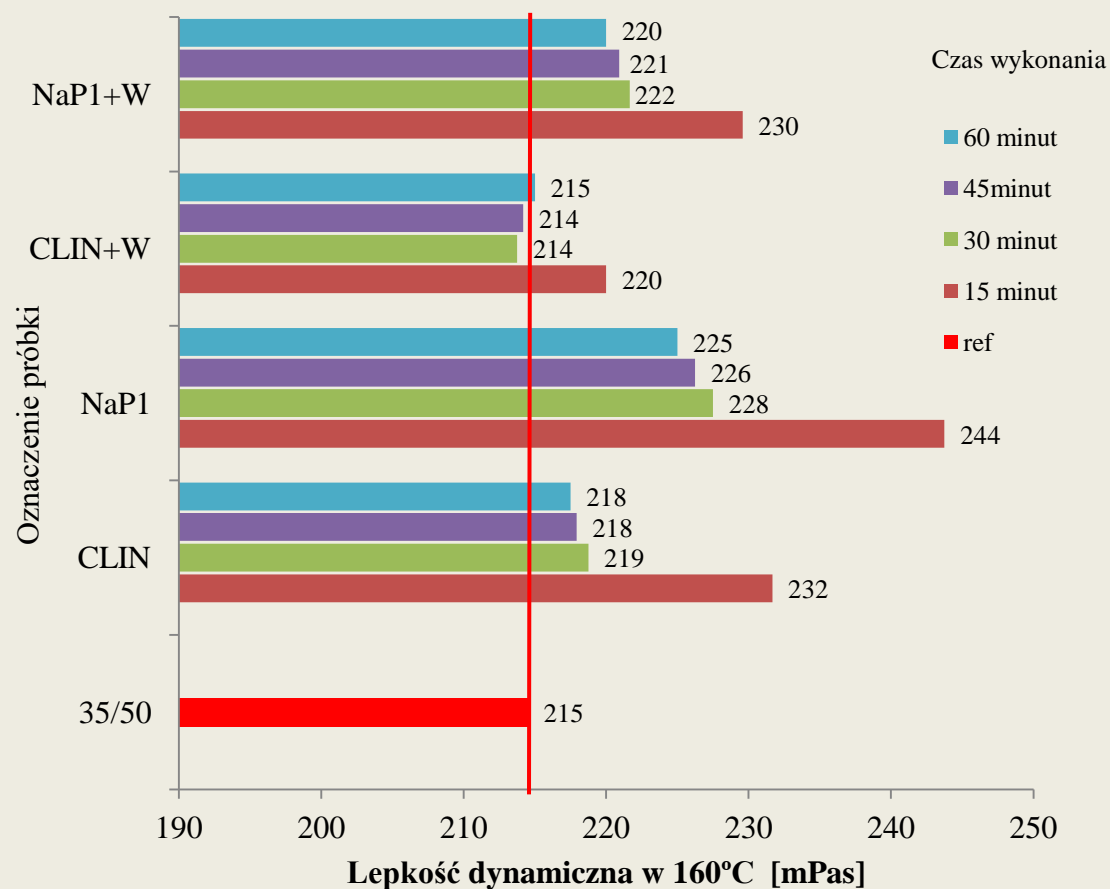
# Wyniki badań - zeolity

## Analiza termiczna



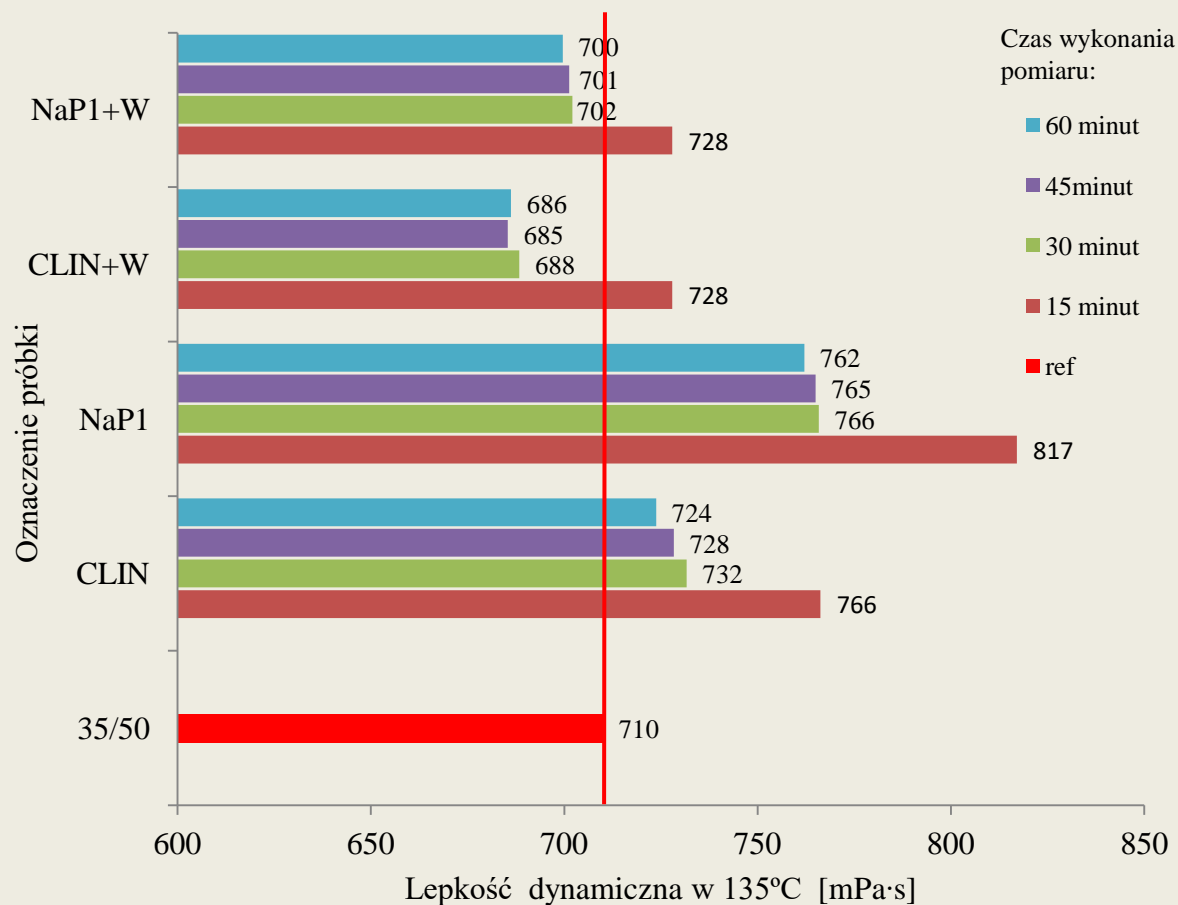
Rys. Derywatogramy klinoptilolitu i zeolitu typu NaP1

# Wyniki badań asfaltu z dodatkiem materiałów zeolitowych



Wyniki badań lepkości dynamicznej asfaltu 35/50 z dodatkiem materiałów zeolitowych oznaczona w temperaturze 160°C

# Wyniki badań asfaltu z dodatkiem materiałów zeolitowych



Wyniki badań lepkości dynamicznej asfaltu 35/50 z dodatkiem materiałów zeolitowych oznaczona w temperaturze 135°C

Optymalna ilość dodatku zeolitowego:

- **1% zeolitu naturalnego klinoptilolitu,**
- **0,5% zeolitu syntetycznego NaP1,**
- **0,4% zeolitu naturalnego klinoptilolitu  
modyfikowanego wodą,**
- **0,4% zeolitu syntetycznego NaP1 modyfikowanego  
wodą**

## Odcinek doświadczalny

---

Temperatury wytwarzania MMA wynosiły odpowiednio:

- temperatura asfaltu –  $140^{\circ}\text{C} \pm 3$ ,
- temperatura kruszywa –  $180^{\circ}\text{C} \pm 5$ ,
- temperatura mieszanki –  $160^{\circ}\text{C} \pm 5$ .

Temperatura WMA z zeolitem po wytworzeniu była niższa o  $35^{\circ}\text{C}$  od dopuszczalnej temperatury maksymalnej.



## Odcinek doświadczalny

---

Dozowanie zeolitu odbywało się ręcznie, po wcześniejszym przygotowaniu worków z zeolitem.



Nasączenie klinoptilolitu wodą



Ręczne dozowanie zeolitu



## Odcinek doświadczalny

---

Zagęszczanie rozłożonej warstwy rozpoczęto przy 120°C, zakończono w 95-105°C.

**Uzyskano obniżenie temperatury zagęszczania o 35-20°C w stosunku do minimalnej zalecanych temperatur wbudowywania HMA z asfaltem 35/50.**



## Odcinek doświadczalny

### Zagęszczalność warstwy nawierzchni na odcinku doświadczalnym

Właściwości	Wynik badania km 0+030		Wynik badania km 0+060		Wymagania
	P	L	P	L	
Gęstość objętościowa MMA [kg/m <sup>3</sup> ]	2300	2338	2301	2315	
Zawartość wolnych przestrzeni w warstwie [%]	8,2	7,1	8,2	8,0	$V_{\min 3}, V_{\max 8}$
Wskaźnik zagęszczenia warstwy [%]	98	99	98	98	98

### Odporności na deformacje trwałe próbek wyciętych z warstwy nawierzchni na odcinku doświadczalnym

Wyszczególnienie	Wynik badania	
	$PRD_{AIR}$	$WTS_{AIR}$
Wymagania według WT 2 2014	$PRD_{AIR 7,0}$	$WTS_{AIR 0,15}$
AC 16 W+ 1% CLIN	4,4	0,09
AC 16 W+0,4% CLIN+W	5,1	0,1

## Wnioski

---

Proces stopniowego uwalniania wody poprawia urabialność WMA z zeolitami zarówno podczas wytwarzania jak i wbudowywania tych mieszanek. Przy czym, do spieniania asfaltu podczas procesu produkcji WMA wykorzystywana jest jedynie ta ilość wody zeolitowej, która jest wydzielana w temperaturach wytwarzania WMA.

Charakter i intensywność oddawania wody zeolitowej można zaobserwować na krzywych termicznych.

Badania lepkości dynamicznej pozwalają ocenić działanie danej struktury zeolitowej na efekt spienienia asfaltu.

Niezależnie od rodzaju dodatku zeolitowego spadek lepkości następował po 45 minutach od wprowadzenia zeolitu do lepiszcza asfaltowego. Jest to czas potrzebny do uwolnienia wody w ilości umożliwiającej efektywne spienienie lepiszcza.



Dziękuję za uwagę