

KONFERENCJA - Nowoczesne nawierzchnie drogowe

Recykling w konstrukcjach nawierzchni drogowych

CONFERENCE - Modern Road Pavements

Recycling in road pavement structures



mrp23.ibdim.edu.pl

Warsaw, 18 October 2023

MRP'23

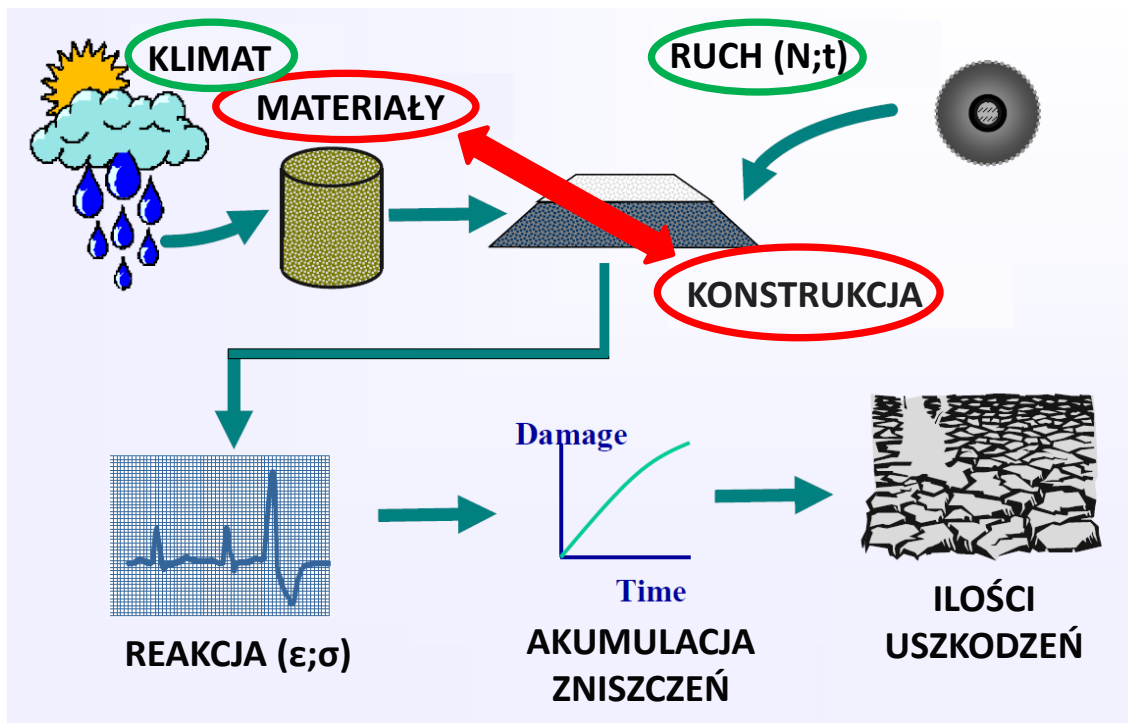
ZASTOSOWANIE KRZYWYCH WIODĄCYCH MODUŁU SZTYWNOŚCI MMA
Z MATERIAŁAMI Z RECYKLINGU PRZY MECHANISTYCZNO-EMPIRYCZNYM
PROJEKTOWANIU KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGOWYCH

dr inż. ALEKSANDER ZBOROWSKI

mgr inż. KAMIL OTKAŁO



PROCES MECHANISTYCZNO-EMPIRYCZNEGO PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI



Źródło: Mechanistic Pavement Design – Sigudur Erlingsson, Reykjavik 2007

AKTUALNE WYZWANIA W PROJEKTOWANIU NAWIERZCHNI DROGOWYCH

ZMIANY KLIMATYCZNE

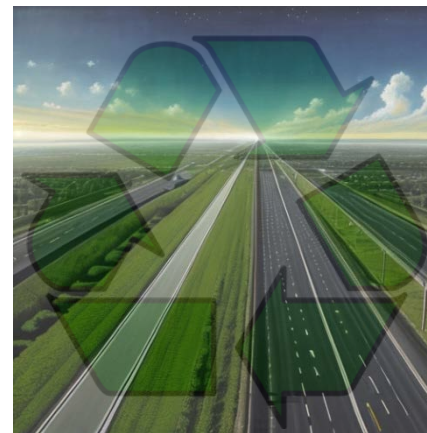


Fot. www.programczystapolska.pl

WZROST NATĘŻENIA RUCHU



GOSPODARKA CYRKULARNA





PRZYKŁADOWE MATERIAŁY Z RECYKLINGU DODAWANE DO MMA



SKOMPLIKOWANY CHARAKTER WPŁYWU TYCH
MATERIAŁÓW NA WŁAŚCIWOŚCI MMA



SPOSÓB UWZGLĘDNIANIA PARAMETRÓW MMA W PROJEKTOWANIU KONSTRUKCJI

PARAMETRY MMA PRZY
STANDARDOWYM
PODEJŚCIU DO
PROJEKTOWANIA

-
WOLUMETRYKA ORAZ
SZTYWNOŚĆ OKREŚLONA
W JEDNEJ
TEMPERATURZE I JEDNEJ
CZĘSTOTLIWOŚCI

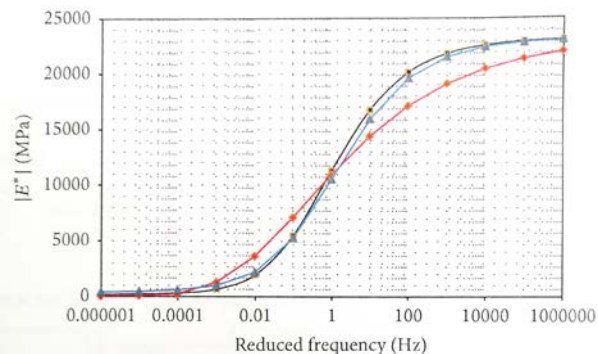


SKOMPLIKOWANY CHARAKTER WPŁYWU
MATERIAŁÓW ODPADOWYCH NA PARAMETRY
MMA



PROPONOWANE ROZWIĄZANIE

CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI MMA Z
WYKORZYSTANIEM KRZYWYCH WIODĄCYCH



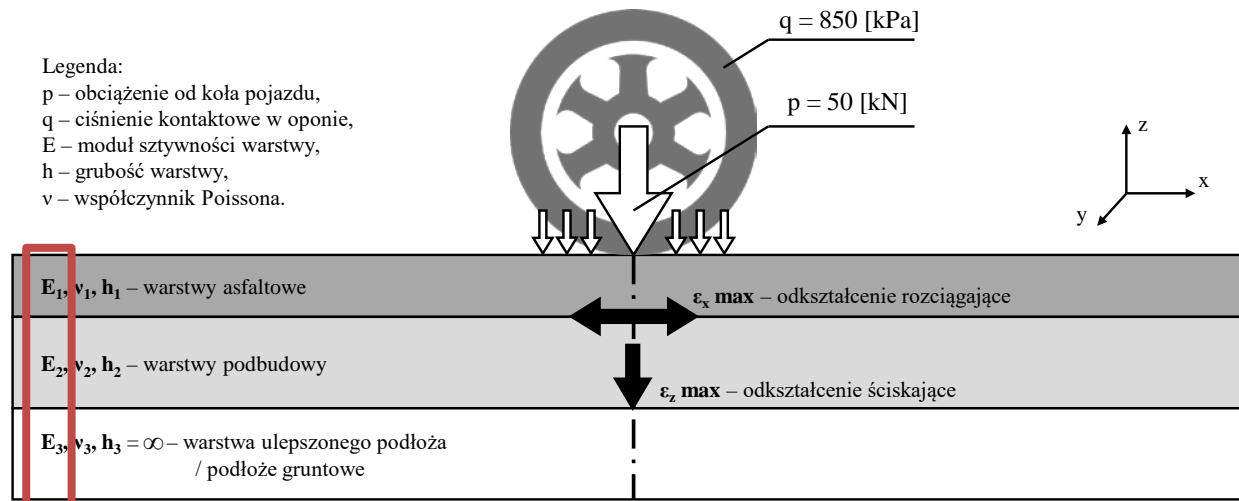
ZAAWANSOWANA METODYKA
PROJEKTOWANIA

MECHANISTYCZNO-EMPIRYCZNE
PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI Z
UWZGLĘDNIENIEM ZMIENNEJ
TEMPERATURY I PRĘDKOŚCI RUCHU
POJAZDÓW

SCHEMAT OBLICZENIOWY

Legenda:

p – obciążenie od koła pojazdu,
 q – ciśnienie kontaktowe w oponie,
 E – moduł sztywności warstwy,
 h – grubość warstwy,
 ν – współczynnik Poissona.



Obliczenia stanu odkształceń i naprężeń wykonane przy użyciu programu WinJULEA.

Kryteria zniszczenia nawierzchni:

- kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych (AASHTO 2004),
- kryterium deformacji strukturalnych podłoża nawierzchni (Instytut Asfaltowy)

OZNACZENIE SZTYWNOŚCI



Metoda opracowana w ramach programu NCHRP 9-19



Zespolony moduł dynamiczny E^* [MPa]



Haversinusoidalne osiowe ściskanie



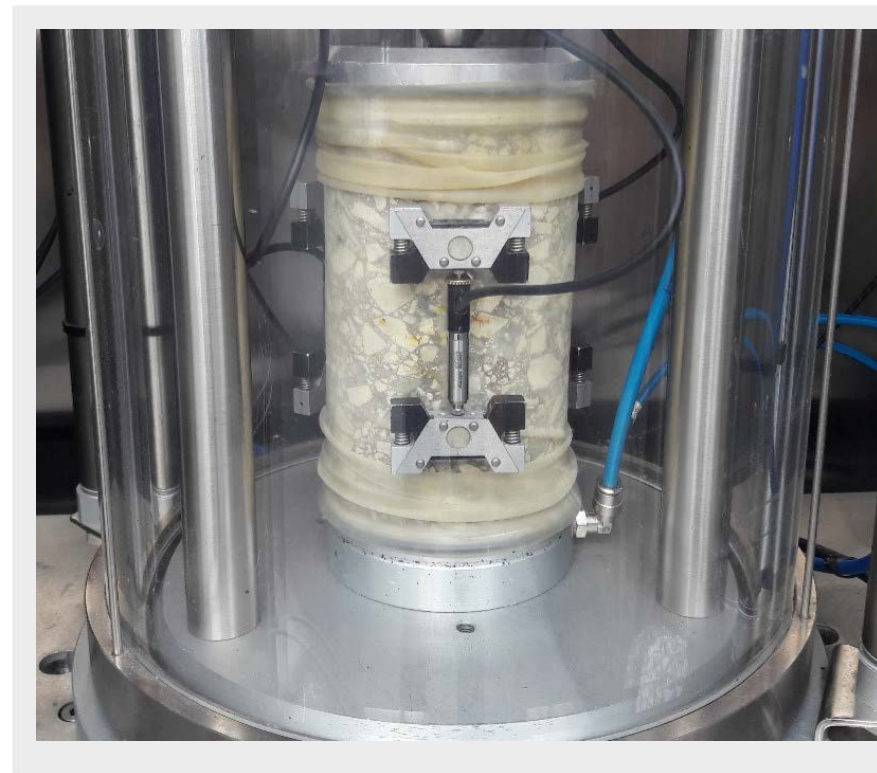
T [°C] : -10°C, 4°C, 20°C, 40°C, 55°C
F [Hz] : 25, 10, 5, 1, 0,5, 0,1 oraz 0,01



Skrepowanie boczne: 138 kPa

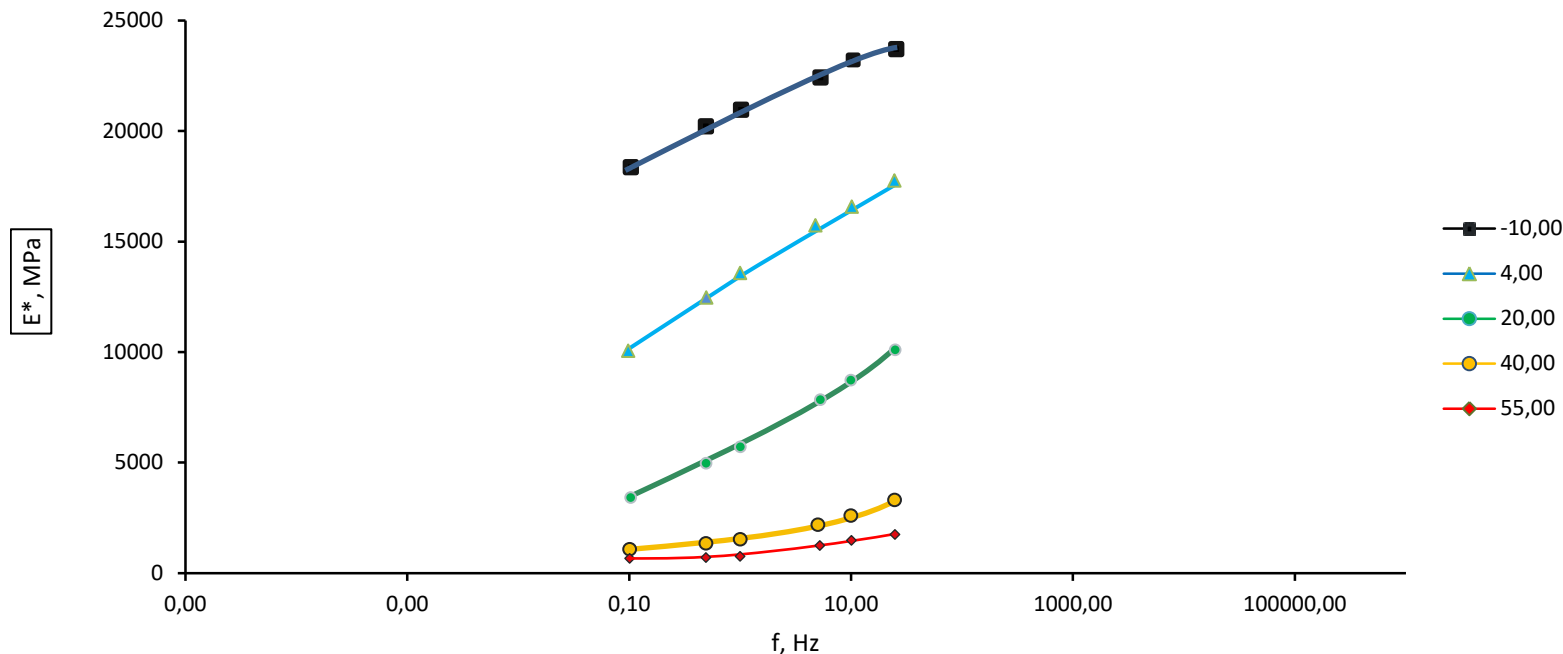


Liczba próbek: 6 szt.



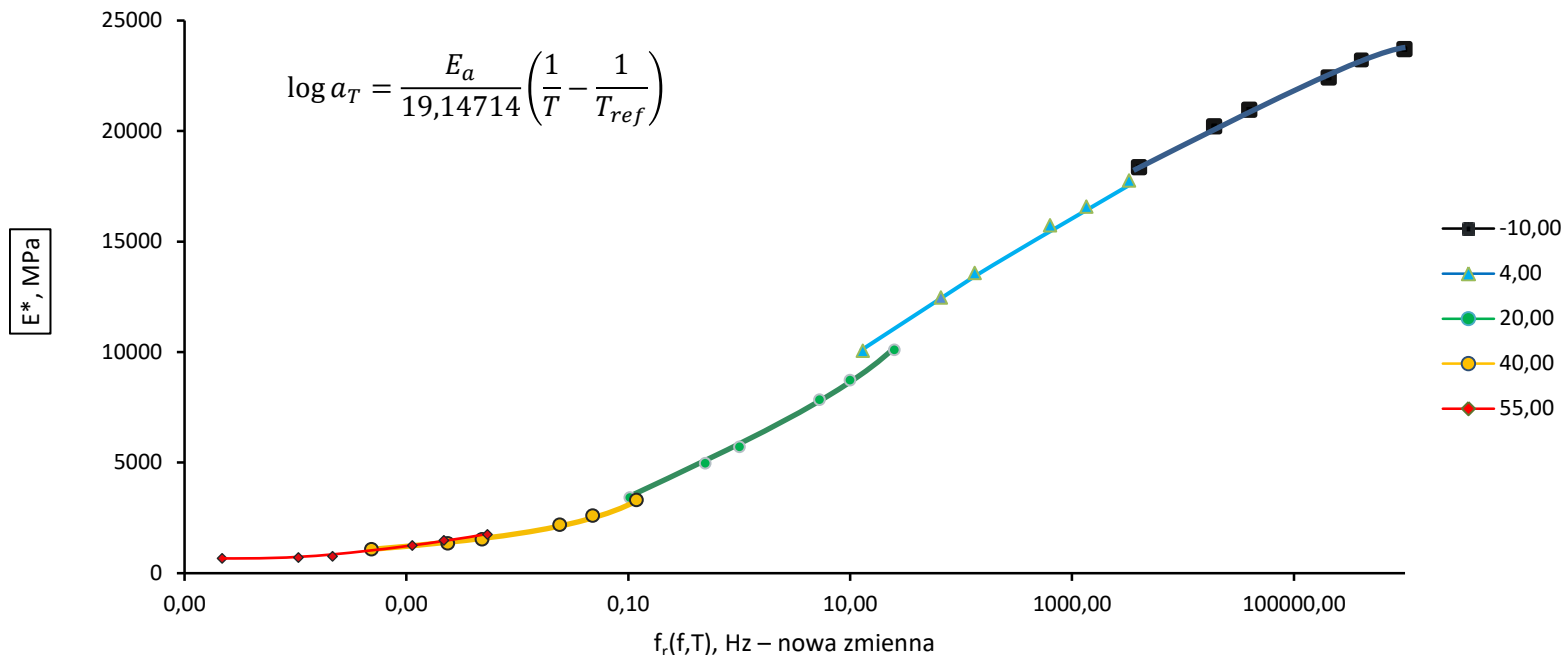
TWORZENIE KRZYWEJ WIODĄCEJ ZESPOLONEGO MODUŁU SZTYWNOŚCI DYNAMICZNEJ

Zespolony moduł sztywności dynamicznej w funkcji częstotliwości.



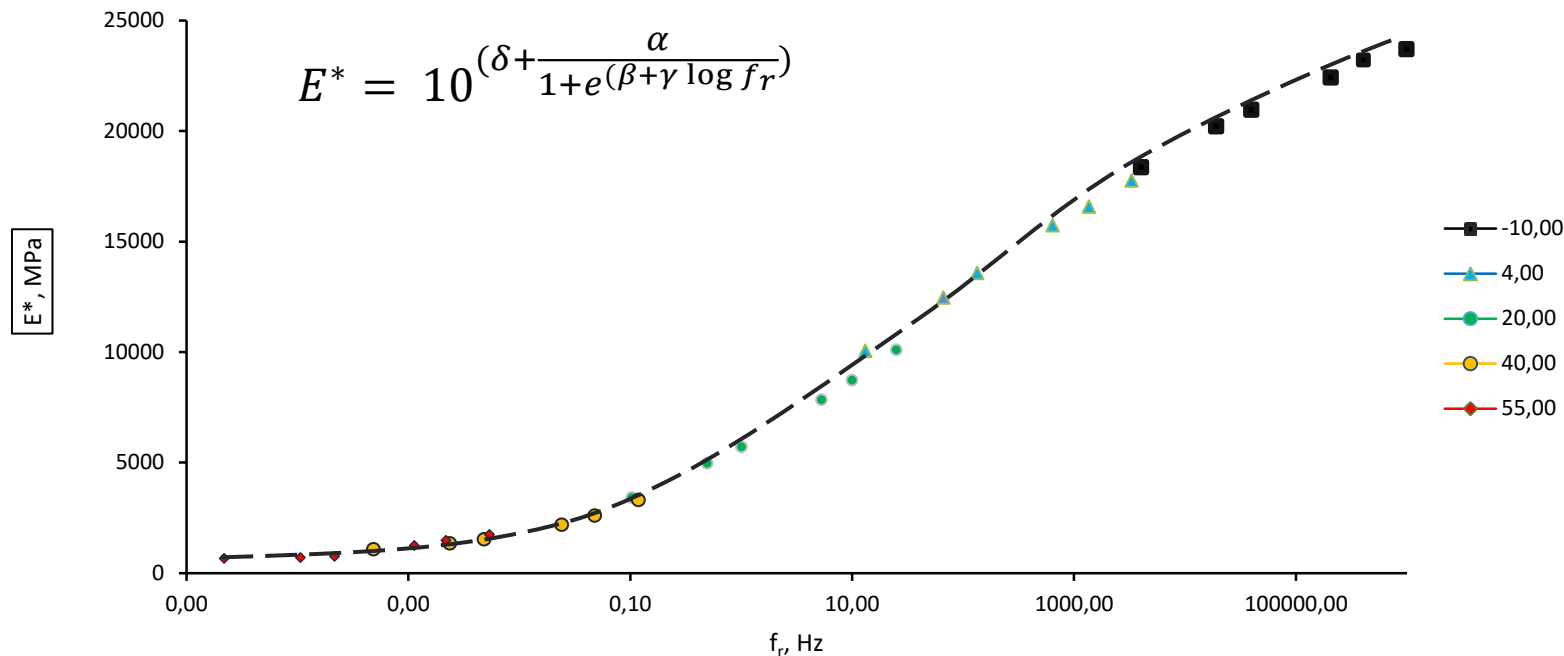
TWORZENIE KRZYWEJ WIODĄCEJ ZESPOLONEGO MODUŁU SZTYWNOŚCI DYNAMICZNEJ

Zespolony moduł sztywności dynamicznej w funkcji częstotliwości zredukowanej.

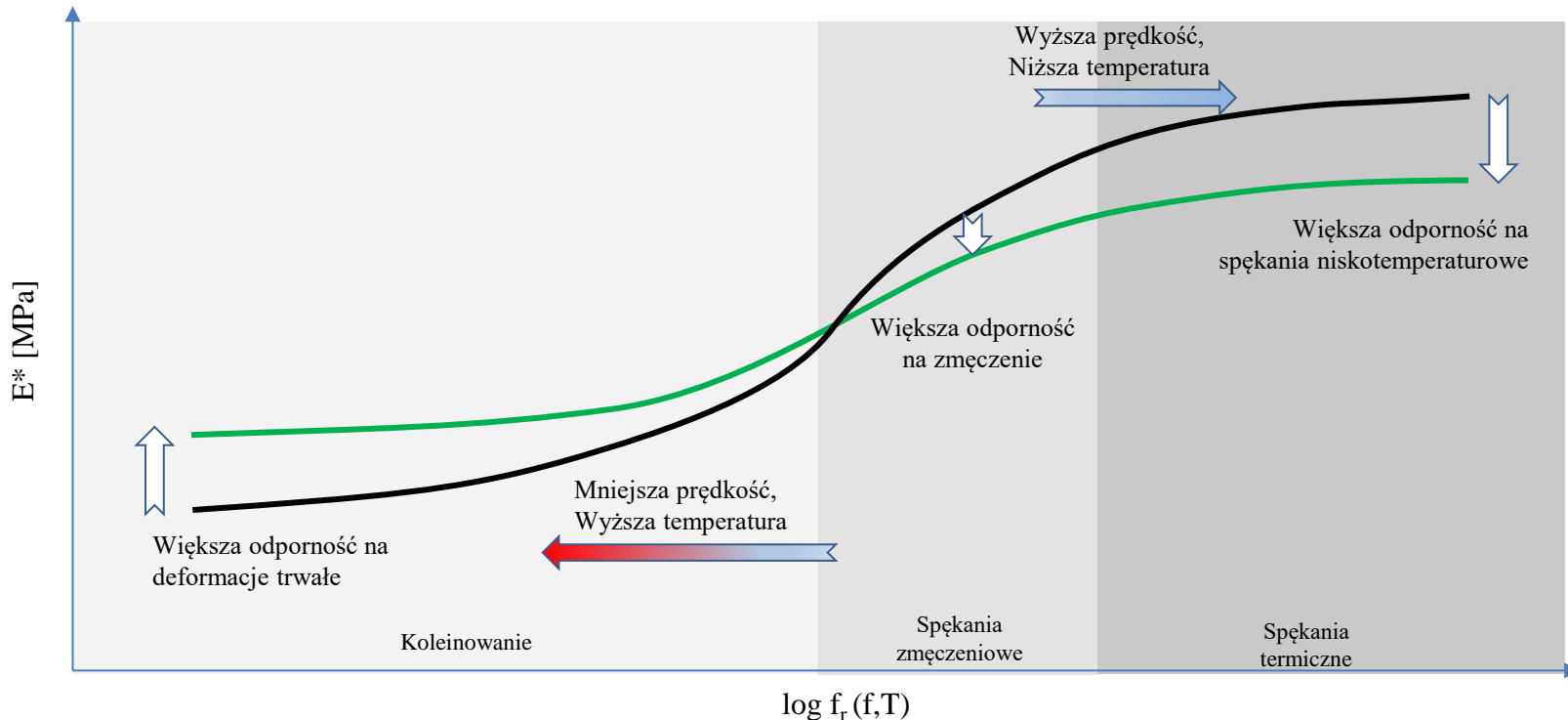


TWORZENIE KRZYWEJ WIODĄCEJ ZESPOLONEGO MODUŁU SZTYWNOŚCI DYNAMICZNEJ

Krzywa wiodąca



PORÓWNANIE KRZYWYCH WIODĄCYCH SZTYWNOŚCI MMA

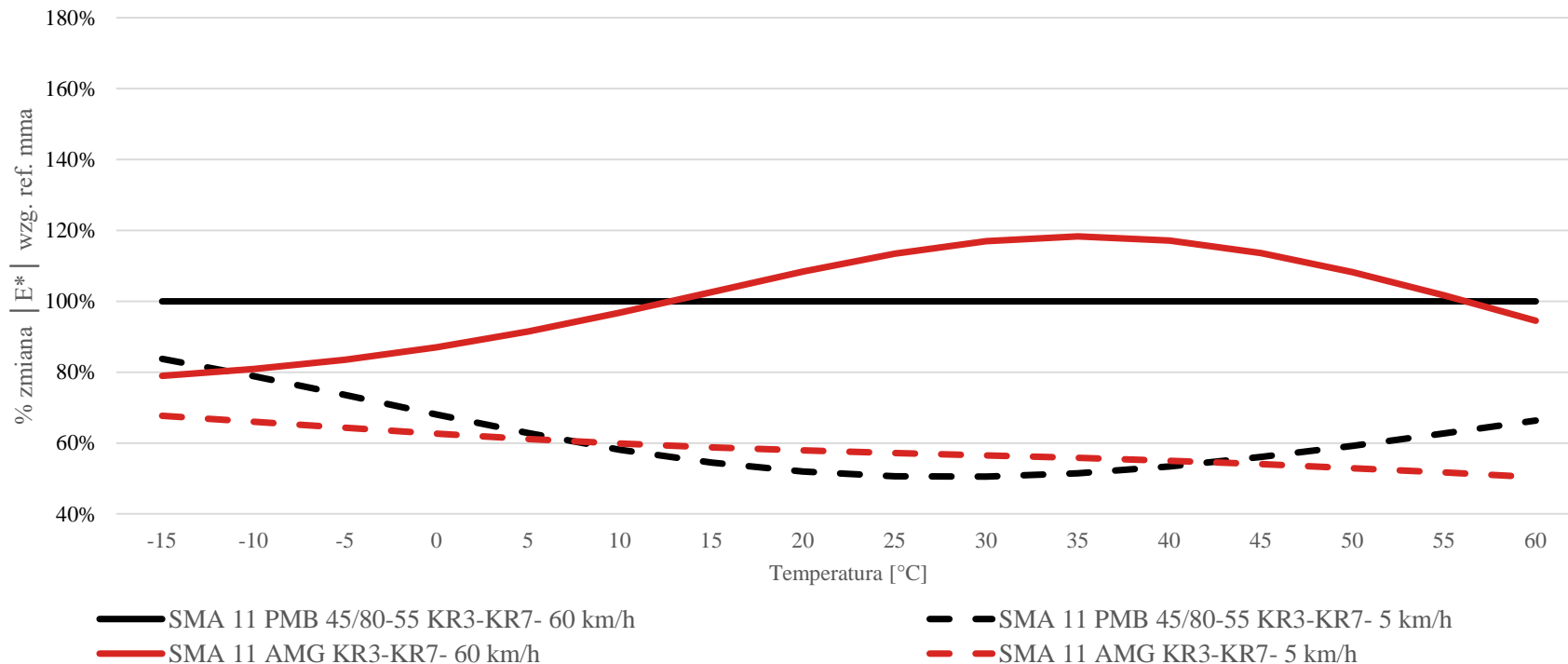


MATERIAŁY WYKORZYSTANE W ANALIZIE

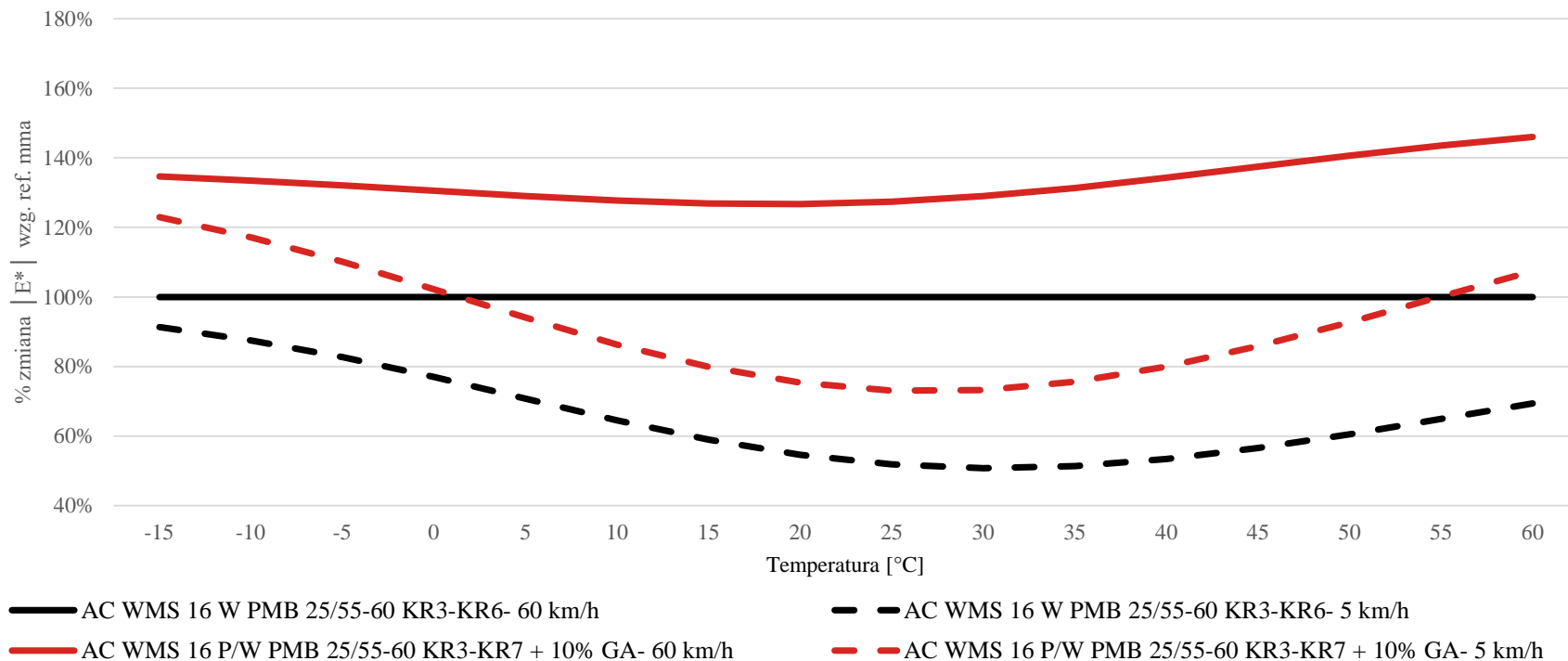
Lp.	Warstwa mma	Rodzaj mma	Rodzaj kruszywa	Rodzaj materiału z recyklingu
1	Ścieralna	SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	Melafir	-
2		SMA 11 AMG KR3-KR7	Melafir	Asfalt Modyfikowany Gumą
3	Wiążąca	AC WMS 16 W PMB 25/55-60 KR3-KR6	Melafir	-
4		AC WMS 16 W PMB 25/55-60 KR3-KR6 +0,5% WS	Melafir	Włókna syntetyczne 0,5%*
5		AC WMS 16 P/W PMB 25/55-60 KR3-KR7 + 10% GA	Wapień	Granulat asfaltowy 10%*
6	Podbudowa	AC 22 P 35/50 KR3-KR7	Dolomit	-
7		AC 22 P 35/50 KR3-KR7 + 20% GA	Dolomit	Granulat asfaltowy 20%*

* udział procentowy w masie mieszanki mineralno-asfaltowej

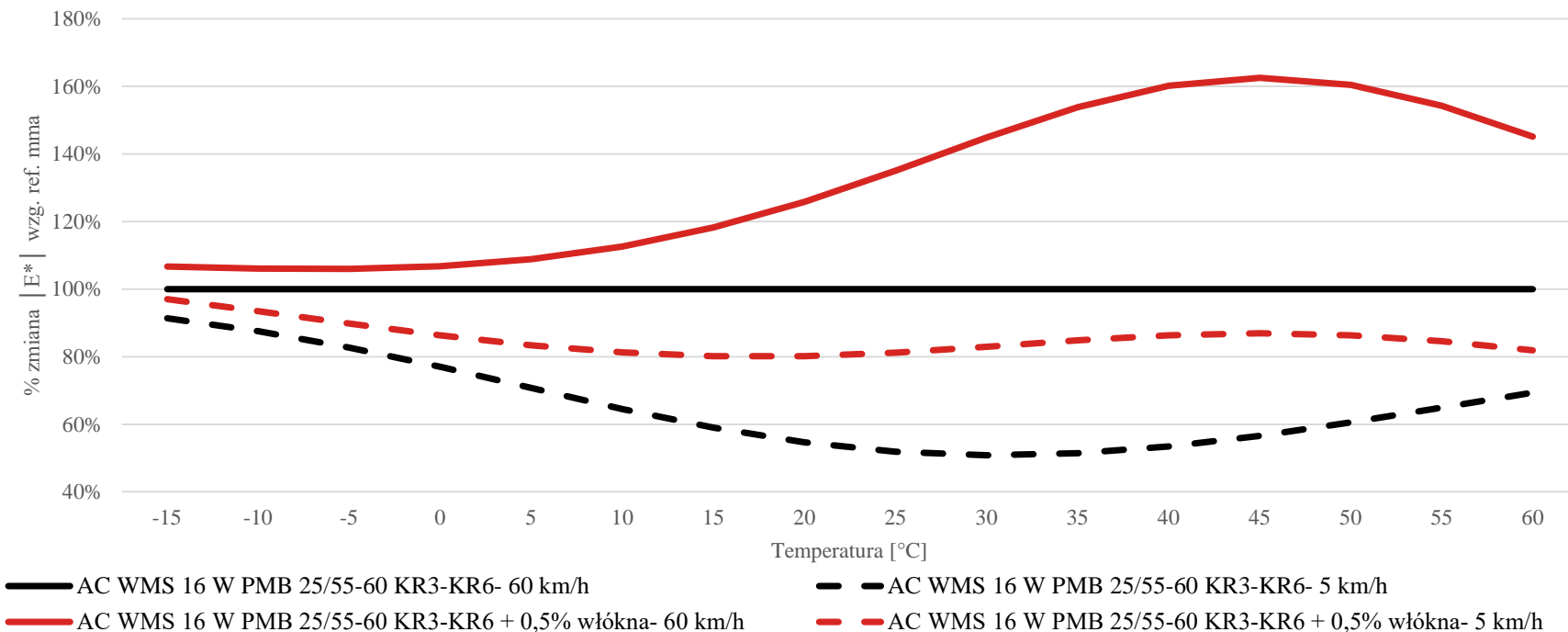
SZTYWNOŚĆ MMA – WARSTWY ŚCIERALNE



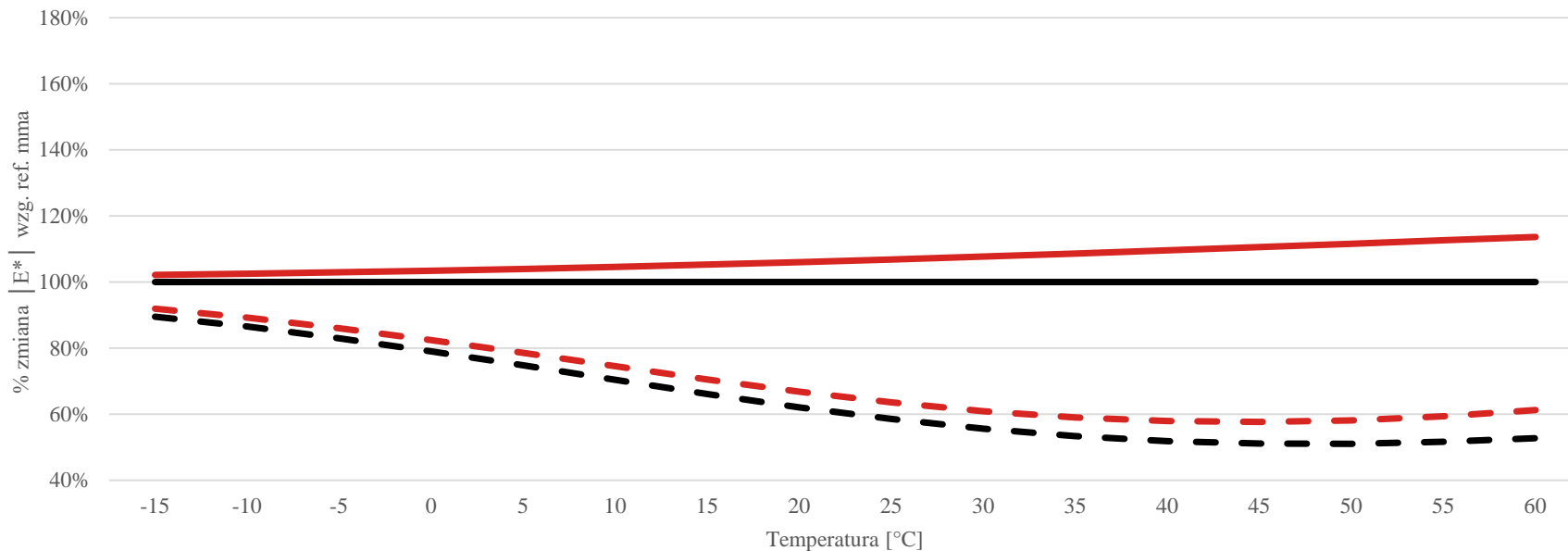
SZTYWNOŚĆ MMA – WARSTWY WIĄŻĄCE I



SZTYWNOŚĆ MMA – WARSTWY WIĄŻĄCE II



SZTYWNOŚĆ MMA – WARSTWY PODBUDOWY



— AC 22 P 35/50 KR3-KR7- 60 km/h
— AC 22 P 35/50 KR3-KR7 + 20% GA- 60 km/h

--- AC 22 P 35/50 KR3-KR7- 5 km/h
--- AC 22 P 35/50 KR3-KR7 + 20% GA- 5 km/h



TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI

Wariant konstrukcji nawierzchni KR 6		Moduły mma wg. Tab. B1 KTKNPIp T= 13°C V= 60km/h
Wariant 1	h [cm]	100%
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4	
AC 16 W 35/50 KR3-KR7	8	
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16	



TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI

Wariant konstrukcji nawierzchni KR 6		Moduły mma wg. Tab. B1 KTKNPIp T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T= 13°C V= 60km/h
Wariant 1	h [cm]	100%	147%
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4		
AC 16 W 35/50 KR3-KR7	8		
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16		

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI

Wariant konstrukcji nawierzchni KR 6		Moduły mma wg. Tab. B1 KTKNPIp T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T = -2, 10, 23°C V= 60km/h
Wariant 1	h [cm]			
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4	100%	147%	113%
AC 16 W 35/50 KR3-KR7	8			
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16			

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI

Wariant konstrukcji nawierzchni KR 6		Moduły mma wg. Tab. B1 KTKNPIp T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T = -2, 10, 23°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T = -2, 10, 23°C V= 5km/h
Wariant 1	h [cm]	100%	147%	113%	59%
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4				
AC 16 W 35/50 KR3-KR7	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16				

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI

Wariant konstrukcji nawierzchni KR 6		Moduły mma wg. Tab. B1 KTKNPiP T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T = -2, 10, 23°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T = -2, 10, 23°C V= 5km/h
Wariant 1	h [cm]	100%	147%	113%	59%
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4				
AC 16 W 35/50 KR3-KR7	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16				
Wariant 2	h [cm]	-	137%	105%	52%
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4				
AC WMS 16 W PMB 25/55-60 KR 3-6	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16				

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI

Wariant konstrukcji nawierzchni KR 6		Moduły mma wg. Tab. B1 KTKNPiP T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T = -2, 10, 23°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T = -2, 10, 23°C V= 5km/h
Wariant 1	h [cm]	100%	147%	113%	59%
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4				
AC 16 W 35/50 KR3-KR7	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16				
Wariant 2	h [cm]	-	137%	105%	52%
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4				
AC WMS 16 W PMB 25/55-60 KR 3-6	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16				
Wariant 3	h [cm]	-	143%	110%	55%
SMA 11 AMG KR3-KR7	4				
AC WMS 16 W PMB 25/55-60 KR 3-6	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7 + 20% GA	16				

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI

Wariant konstrukcji nawierzchni KR 6		Moduły mma wg. Tab. B1 KTKNPiP T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T= 13°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T = -2, 10, 23°C V= 60km/h	Moduły mma z Krzywych wiodących T = -2, 10, 23°C V= 5km/h
Wariant 1	h [cm]	100%	147%	113%	59%
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4				
AC 16 W 35/50 KR3-KR7	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16				
Wariant 2	h [cm]	-	137%	105%	52%
SMA 11 PMB 45/80-55 KR3-KR7	4				
AC WMS 16 W PMB 25/55-60 KR 3-6	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7	16				
Wariant 3	h [cm]	-	143%	110%	55%
SMA 11 AMG KR3-KR7	4				
AC WMS 16 W PMB 25/55-60 KR 3-6	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7 + 20% GA	16				
Wariant 4	h [cm]	-	154%	119%	63%
SMA 11 AMG KR3-KR7	4				
AC WMS 16 W PMB 25/55-60 KR 3-6 + 0,5% WS	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7 + 20% GA	16				
Wariant 5	h [cm]	-	160%	122%	62%
SMA 11 AMG KR3-KR7	4				
AC WMS 16 P/W PMB 25/55-60 KR3-KR7 +10% GA	8				
AC 22 P 35/50 KR3-KR7 + 20% GA	16				

PODSUMOWANIE

1. Zaobserwowano znaczące zróżnicowanie wartości zespolonego modułu sztywności dynamicznej mma w zależności od temperatury i czasu obciążenia jak również rodzaju oraz ilości zastosowanego materiału odpadowego.
2. Zmiany kluczowego parametru mma jakim jest moduł sztywności przekładają się na istotne różnice trwałości analizowanych wariantów konstrukcji nawierzchni.
3. Obserwowane zmiany oraz ich wielkość wskazują, iż dokładniejsze charakteryzowanie modułów sztywności mma oraz indywidualne projektowanie konstrukcji nawierzchni oparte na tych wynikach jest racjonalnym i wręcz niezbędnym podejściem w przypadku stosowania materiałów pochodzących z recyklingu.

WNIOSKI

- Stosowanie zaawansowanych metod badań mieszanek asfaltowych i świadome wykorzystanie ich wyników umożliwi prawidłowy dobór materiałów do warstw konstrukcyjnych ze względu na ich funkcję w nawierzchni oraz specyficzne uwarunkowania zewnętrzne (klimat, ruch, podłoże)
- Prawidłowa implementacja indywidualnego podejścia w mechanistyczno-empirycznym projektowaniu konstrukcji nawierzchni pozwala na właściwe i odpowiedzialne zastosowanie materiałów z recyklingu, co przyczynia się do ochrony środowiska naturalnego poprzez ograniczenie zużycia surowców naturalnych, ale może również wpłynąć na zwiększenie trwałości nawierzchni drogowych, a w rezultacie obniżenie kosztów budowy i utrzymania dróg w całym cyklu życia.



Zastosowanie krzywych wiodących modułu sztywności mma z materiałami z recyklingu przy mechaniczno-empirycznym projektowaniu konstrukcji nawierzchni drogowych



Warsaw, 18 October 2023

MRP'23

aleksander.zborowski@tpaqi.com
kamil.otkallo@tpaqi.com

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

