

Warsaw, 22 - 23 October 2025

II MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA

Nowoczesne nawierzchnie drogowe - recykling i dekarbonizacja

II INTERNATIONAL CONFERENCE

Modern road pavements - recycling and decarbonization

Analiza wpływu uziarnienia destruktu asfaltowego na możliwości recyklingu mieszanek SMA

Adam Liphardt

Piotr Radziszewski

Michał Sarnowski

Laura Janusz

Jan Król

Piotr Pokorski

Karol Kowalski

Projekt rSMA²

rSMA²: Opracowanie wytycznych powtórnego wykorzystania destruktu asfaltowego z warstw SMA do nowych warstw ścieralnych układanych w tej samej technologii

Konsorcjum naukowe w składzie:

- ☐ Instytut Badawczy Dróg i Mostów (Lider)
- ☐ Politechnika Gdańska
- ☐ Politechnika Warszawska



Wstęp:

Wysoki potencjał mieszanek typu SMA do ich recyklingu:

- Szczególne, nieciągłe uziarnienie
- Kruszywa o wysokiej wytrzymałości
- Lepiszczka o najlepszych właściwościach

Decydujący wpływ właściwości destruktu na możliwości jego użycia do mieszanek SMA:

- Właściwości lepiszcza – po starzeniu
- Uziarnienie kruszywa – rozdrobnienie po frezowaniu

Potrzeba przewidywania właściwości i potencjalnego zakresu stosowania destruktu:

- Planowanie prac remontowych przez zarządców dróg
 - Szacowanie kosztów prac
- Dobór odpowiedniej technologii recyklingu

Projekt rSMA² - zakres wybranych analiz:

- analiza krajowych i zagranicznych doświadczeń w zakresie pozyskiwania i przetwarzania destruktyw
- analiza właściwości mieszanek SMA wbudowanych na sieci dróg krajowych
- analiza właściwości destruktyw z warstw SMA pozyskanych z sieci dróg krajowych
- teoretyczne projektowanie mieszanek SMA z granulatem asfaltowym z warstw SMA



→ Standardowe warunki frezowania, frezowanie selektywne
→ Zbliżone właściwości mieszanek przeznaczonych do frezowania

Przewidywać właściwości
i zastosowanie ?

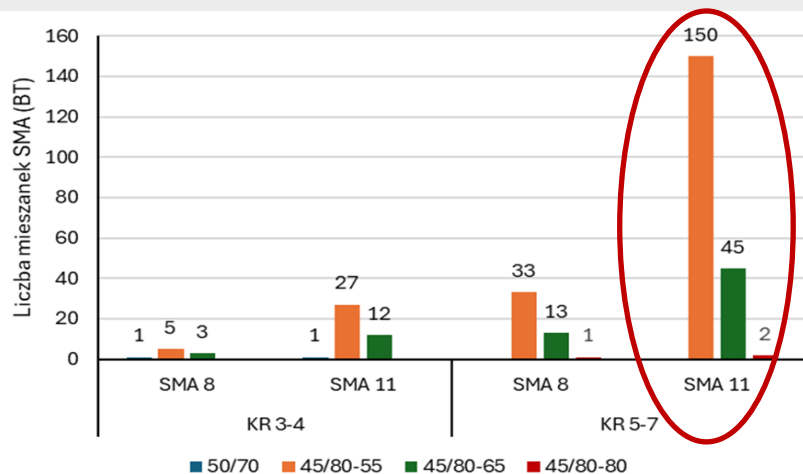
Tylko oceniać
właściwości ?



Analiza wpływu uziarnienia destruktu asfaltowego na możliwości recyklingu mieszanek SMA

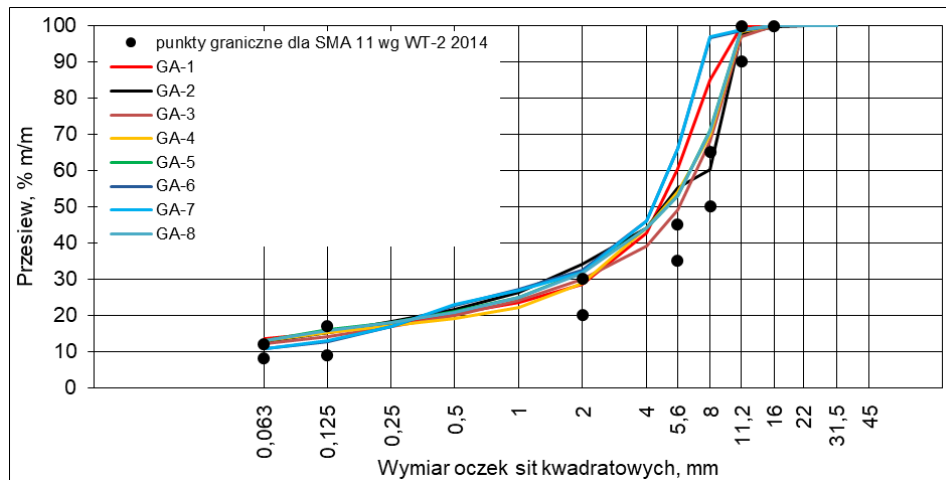
Analizowane materiały:

- 237 mieszanki SMA 11 z lat 2010-2023
- 8 destruktyw z mieszanek SMA 11



Pierwotne mieszanki SMA

Dane uzyskane od GDDKiA z
sieci dróg krajowych:



Destrukty SMA 11

Analiza wpływu uziarnienia destruktu asfaltowego na możliwości recyklingu mieszanek SMA

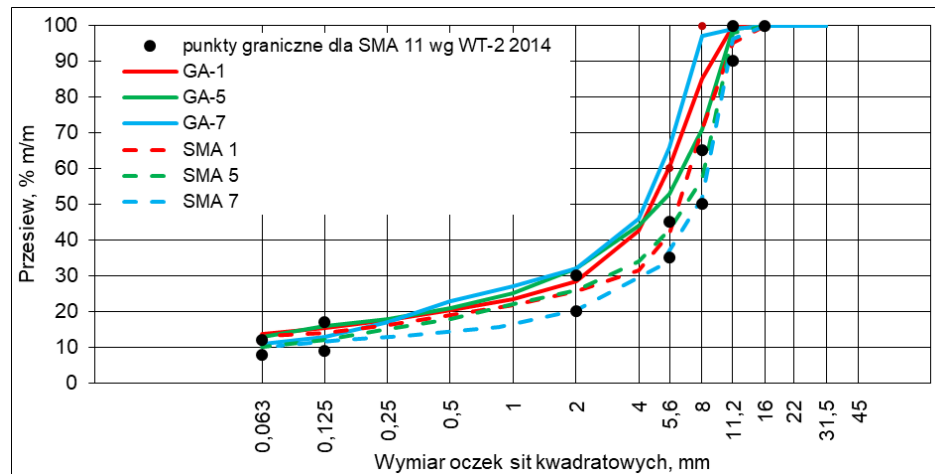
Analiza zmian uziarnienia:

3 kompletne zestawy danych mieszanek SMA 11
i pozyskanych z nich destruktyw:

- ☐ uziarnienie pierwotnej mieszanki mineralnej
- ☐ uziarnienie mieszanki mineralnej destruktu

- Wyznaczenie indeksów przekruszenia BI
- Wyznaczenie indeksów wzrostu zawartości
wypełniacza FII

Według: [Zaumanis, M. i inni, Three indexes to characterise crushing and screening of reclaimed asphalt pavement]. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(14)]



Analiza wpływu uziarnienia destruktu asfaltowego na możliwości recyklingu mieszanek SMA

Analiza zmian uziarnienia:

Indeks przekruszenia **BI** (Breakdown Index):

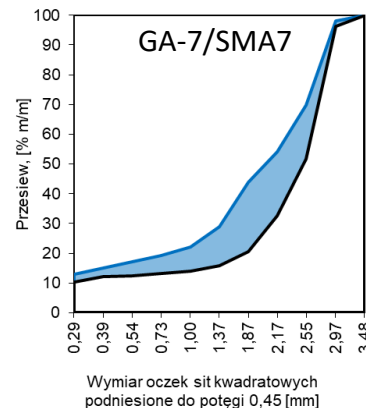
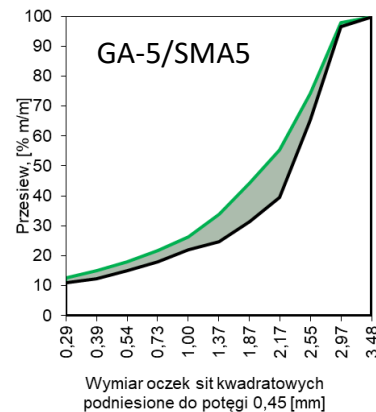
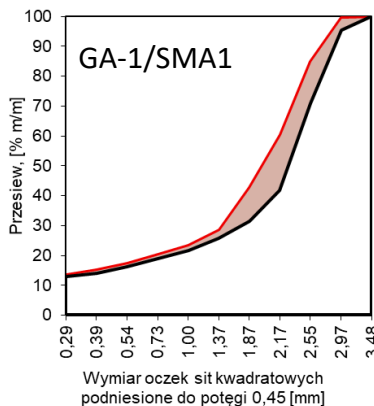
$$BI = APW - ASW$$

gdzie:

APW - wielkość powierzchni poniżej białej krzywej uziarnienia mieszanki mineralnej kruszyw odzyskanych

ASW - wielkość powierzchni poniżej białej krzywej uziarnienia pierwotnej mieszanki mineralnej

Oznaczenie destruktu asfaltowego/ mieszanki SMA	Indeks przekruszenia BI	Indeks wzrostu zawartości wypełniacza FII
GA-1/ SMA 1	21,2	0,6
GA-5 / SMA 5	22,0	2,7
GA-7 / SMA 7	28,2	2,3



Analiza wpływu uziarnienia destruktu asfaltowego na możliwości recyklingu mieszanek SMA

Analiza zmian uziarnienia:

Indeks wzrostu zawartości wypełniacza **FII** (Filler increase index):

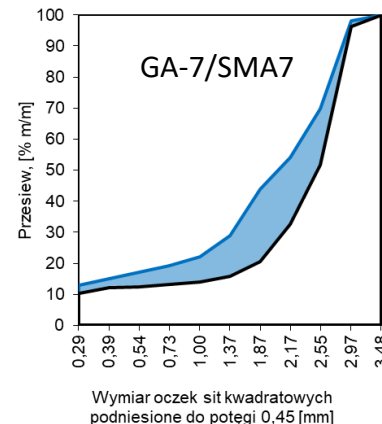
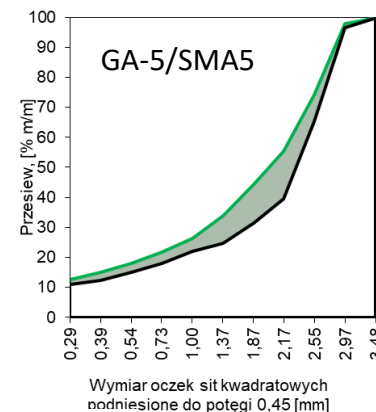
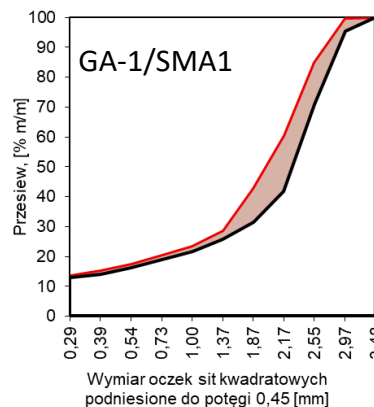
$$FII = PW_{\min} - SW_{\min}$$

gdzie:

PW_{min} – ilość ziaren wypełniaczowych przechodzących przez sito 0,063 mm otrzymanych w wyniku ekstrakcji mieszanki mineralno-asfaltowej RAP po procesie frezowania;

SW_{min} - oznacza ilość ziaren wypełniaczowych przechodzących przez sito 0,063 mm w pierwotnej mieszance mineralnej (przed frezowaniem)

Oznaczenie destruktu asfaltowego/ mieszanki SMA	Indeks przekruszenia BI	Indeks wzrostu zawartości wypełniacza FII
GA-1/ SMA 1	21,2	0,6
GA-5 / SMA 5	22,0	2,7
GA-7 / SMA 7	28,2	2,3



Analiza zmian uziarnienia:

❑ Określenie wskaźnika zmiany uziarnienia na podstawie:

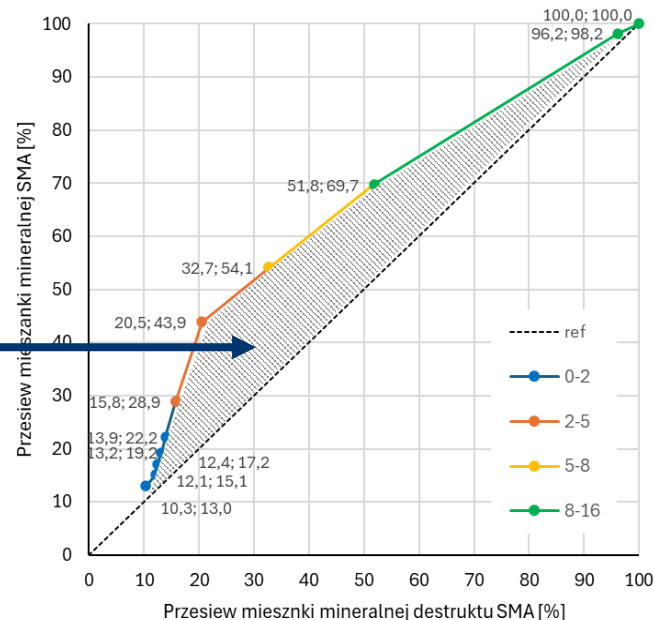
- przesiewu mieszanki mineralnej SMA
- przesiewu mieszanki mineralnej destruktu SMA

$$I_{RG} = A_{CG} - A_{RG}$$

gdzie:

A_{RG} – wielkość powierzchni poniżej prostej referencyjnej reprezentującej brak zmian w uziarnieniu między mieszanką pierwotną i destruktem asfaltowym

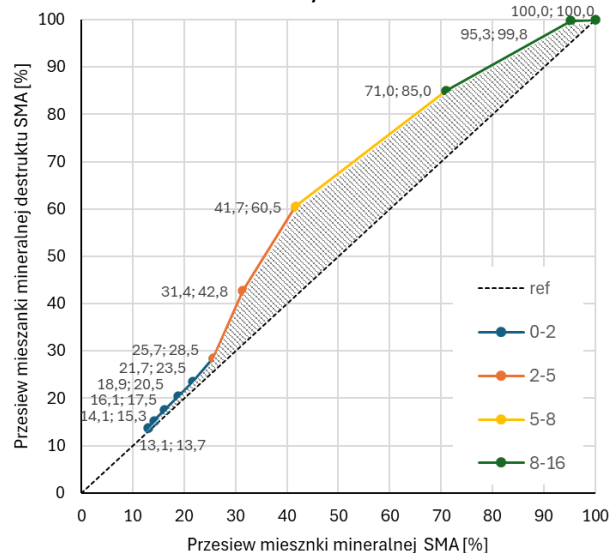
A_{CG} – wielkość powierzchni poniżej krzywej reprezentującej zależność uziarnienia mieszanki pierwotnej i destruktu asfaltowego



Analiza zmian uziarnienia:

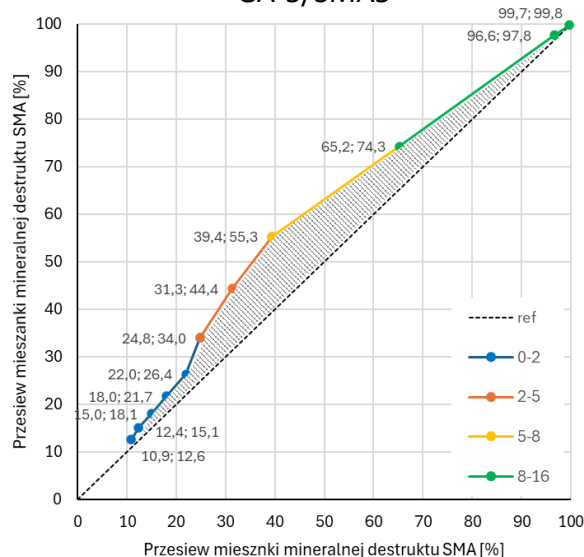
❑ Wskaźnik zmiany uziarnienia

GA-1/SMA1



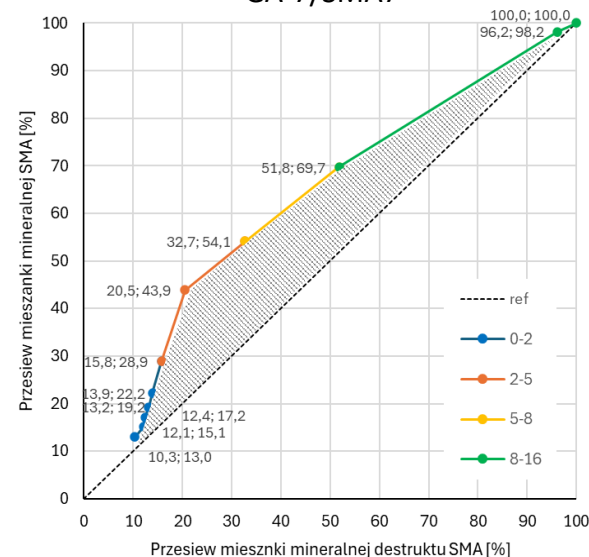
$I_{RG}=863$

GA-5/SMA5

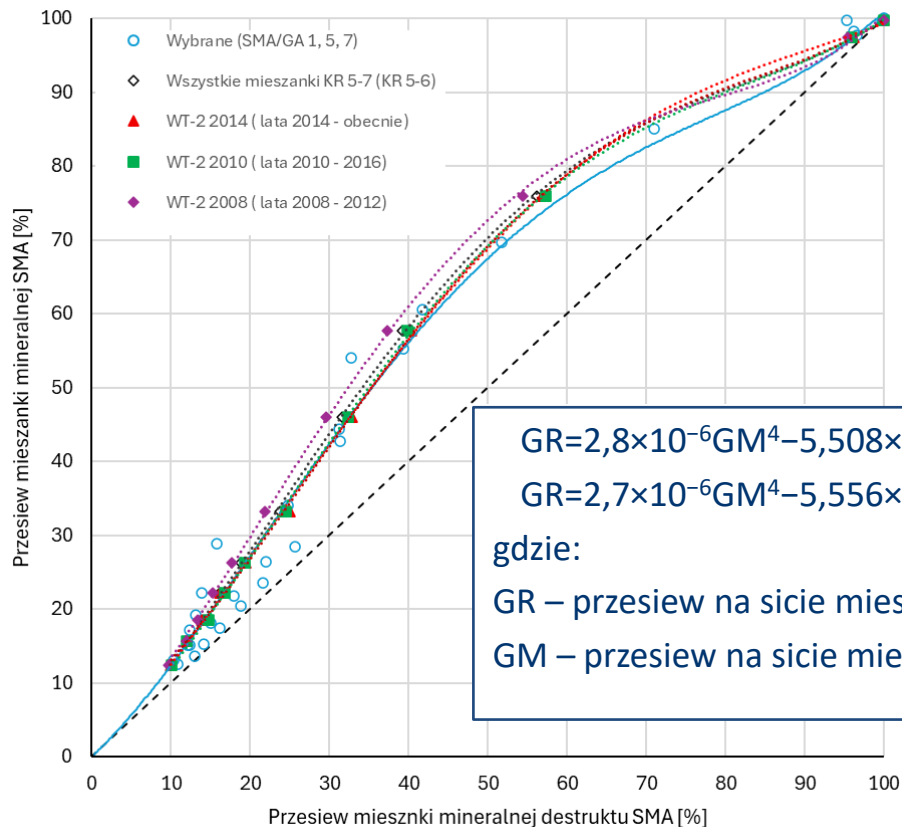


$I_{RG}=699$

GA-7/SMA7



$I_{RG}=1138$



Wyznaczenie zależności uziarnienia mieszanki mineralnej destruktu SMA od uziarnienia pierwotnej mieszanki mineralnej SMA:

- ☐ Zależność (4) – dla 3 par destruktu SMA 11 i mieszanek SMA 11,
- ☐ Zależność (5) – dla całego zakresu analizowanych destruktu SMA 11 i mieszanek SMA 11.

$$GR = 2,8 \times 10^{-6} GM^4 - 5,508 \times 10^{-4} GM^3 + 27,4095 \times 10^{-3} GM^2 + 1,0105379 GM \quad (4)$$

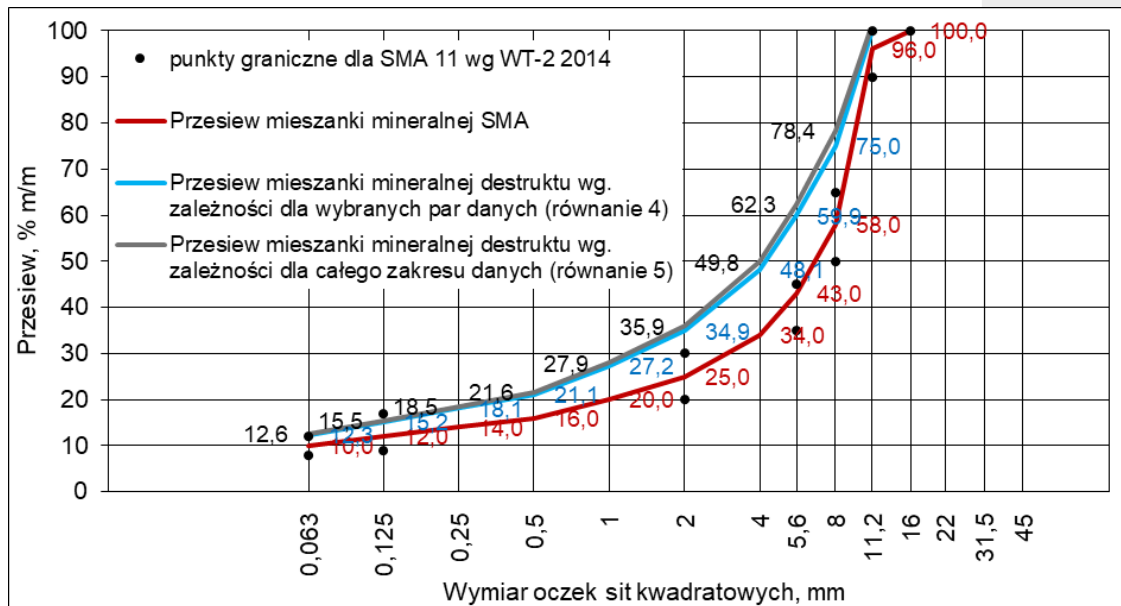
$$GR = 2,7 \times 10^{-6} GM^4 - 5,556 \times 10^{-4} GM^3 + 28,8355 \times 10^{-3} GM^2 + 1,0211385 GM \quad (5)$$

gdzie:

GR – przesiew na sicie mieszanki mineralnej destruktu asfaltowego z SMA [%]

GM – przesiew na sicie mieszanki mineralno-asfaltowej SMA [%]

Zastosowanie wyznaczonych zależności do określenia uziarnienia „przyszłego” destruktu:



Referencyjna SMA 11 KR5-7

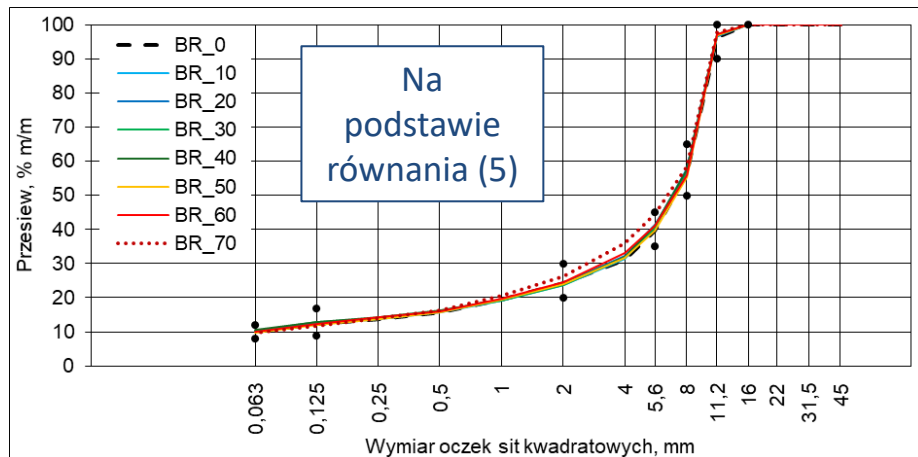
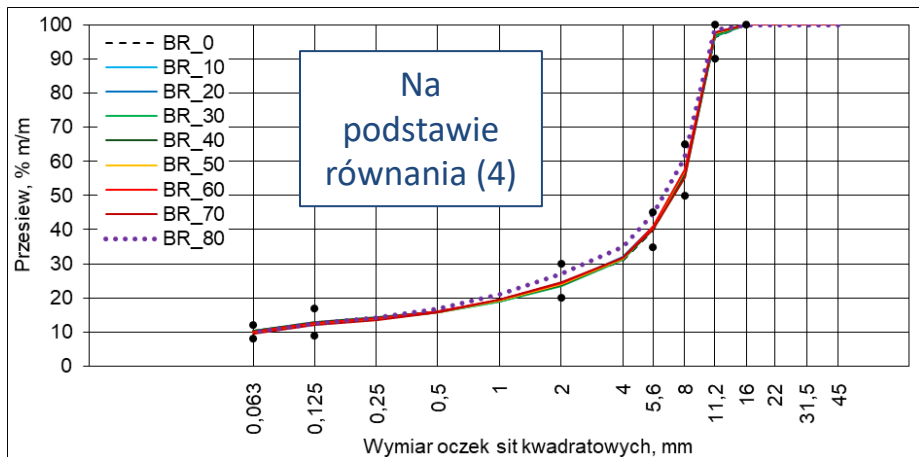
Składnik mieszanki SMA	Zawartość w MM [%]	Zawartość w MMA [%]
wypełniacz	10,0	9.4
Kruszywo drobne 0/2	14,0	13.2
Kruszywo grube 2/5	11,0	10.4
Kruszywo grube 4/8	18,0	17.0
Kruszywo grube 8/11	47,0	44.3
Asfalt	-	5,9

Właściwość mieszanki SMA	Wynik
Gęstość	2,662 [Mg/m ³]
Gęstość objętościowa	2,550 [Mg/m ³]
Zawartość wolnych przestrzeni	2,7 [%]
Odporność na deformacje trwałe WTS	0,06 [mm/1000]
Odporność na deformacje trwałe PRD	5,8 [%]
Odporność na działanie wody	99,1 [%]

Teoretyczne projektowanie składu nowej mieszanki mineralnej i określenie wskaźnika BR mieszanki SMA z udziałem „przyszłego” destruktu:

Założenia:

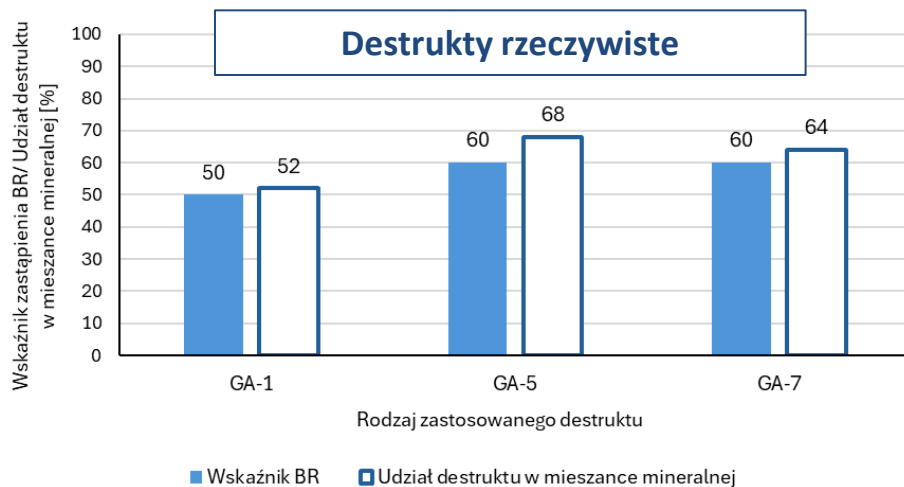
- ☐ Uziarnienie projektowanej mieszanki mineralnej jak najbardziej zbliżone do uziarnienia mieszanki referencyjnej (BR=0), dopuszczalna odchyłka 2%, zmiana BR co 10%
- ☐ BR_0 → Referencyjna SMA 11 KR 5-7 – odtworzenie składu mieszanki pierwotnej



Teoretyczne projektowanie składu nowej mieszanki mineralnej i określenie wskaźnika BR mieszanki SMA z udziałem rzeczywistych destruktyw:

Założenia:

- ☐ Uziarnienie projektowanej mieszanki mineralnej jak najbardziej zbliżone do uziarnienia mieszanki referencyjnej (BR=0), dopuszczalna odchyłka 2%,
- ☐ BR_0 → Referencyjna SMA 11 KR 5-7



Podsumowanie:

- ☐ Istnieje możliwość prognozowania zmian uziarnienia mieszanki mineralnej zachodzących na skutek frezowania selektywnego warstw SMA;
- ☐ Zaproponowany wskaźnik zmiany uziarnienia pozwala ilościowo ocenić zmiany w uziarnieniu mieszanki po frezowaniu i jest on zbieżny z innymi wskaźnikami znanymi z literatury;
- ☐ Zaproponowane zależności pozwalają prognozować przebieg krzywej uziarnienia mieszanki mineralnej odzyskanej z destruktu asfaltowego na podstawie danych o uziarnieniu mieszanki pierwotnej;
- ☐ Dzięki prognozowaniu uziarnienia mieszanki mineralnej „przyszłego” destruktu, można na podstawie danych o pierwotnej mieszance mineralno-asfaltowej lub na podstawie danych z odwiertów przewidzieć możliwy do osiągnięcia poziom dozowania (wskaźnik BR);
- ☐ Konieczne jest rozszerzenie bazy danych destruktyw SMA i ponowna weryfikacja zależności na większej próbie.

Dziękuję za uwagę



mrp25.ibdim.edu.pl

dr inż. Adam Liphardt
adam.liphardt@pw.edu.pl