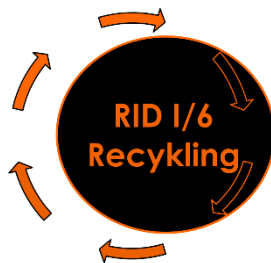




INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW

ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE



„RECYKLING NA GORĄCO: WŁAŚCIWOŚCI GRANULATÓW I MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH”

dr inż. Wojciech Bańkowski

**KOŁOKWIUM: DESTRUKT ASFALTOWY W
BUDOWNICTWIE DROGOWYM**

15.02.2018



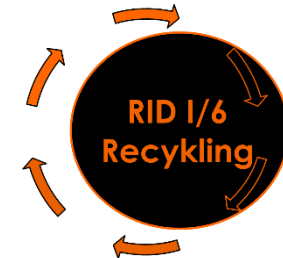
Plan prezentacji

1. Informacja o projektach
2. Warunki stosowania GA
3. Projektowanie mma – właściwości podstawowe i funkcjonalne
4. Badania destruktyw i granulatów
5. Projektowanie i badania AC22P z granulem
6. Ocena właściwości funkcjonalnych mma z granulem asfaltowym (SMA11 i AC16W)
7. Ocena trwałości konstrukcji drogowych z zastosowaniem mma z granulem asfaltowym

Projekt RID I/6



- RID I/6: „Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu” (2016-2018)
- Finansowanie ze środków GDDKiA i NCBiR
- **Zadanie 2: Recykling na gorąco**
 - Instytut Badawczy Dróg i Mostów
 - Politechnika Gdańska



Cele:

1. Wytyczne w zakresie pozyskania oraz oceny przydatności granulatu asfaltowego.
2. Zalecenia w zakresie produkcji MMA z granulatem na otaczarkach cyklicznych.
3. Wytyczne cząstkowe w zakresie wymagań i projektowania MMA z granulatem asfaltowym

Projekt InnGA

„Destrukt: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej”

- III edycja programu InnoTech
 - ścieżka programowa In-Tech
- Finansowanie ze środków NCBiR
- Realizacja 2015-2018



INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



DOTACJE NA INNOWACJE



INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE



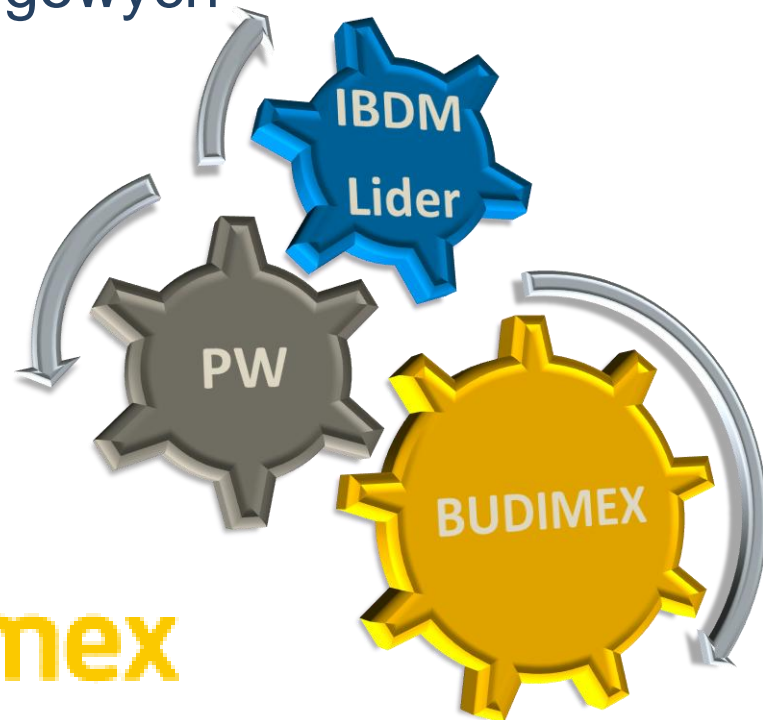
Projekt InnGA

→ Konsorcjum:

→ Instytut Badawczy Dróg i Mostów

→ Politechnika Warszawska, Zespół Technologii Materiałów i Nawierzchni Drogowych

→ BUDIMEX S.A.



budimex



Warunki stosowania granulatu asfaltowego

Warunki stosowania MMA z granulem asfaltowym wg WT-2 2014:

- Granulat spełnia wymagania w zakresie jednorodności i jakości
- Dopuszczona zawartość wg WT -2 w mieszankach typu AC:
 - 0% - zakaz do warstwy ścieralnej
 - do 20% - metodą dozowania na zimno
 - do 30 % - metodą dozowania na gorąco
- MMA z GA spełnia wymagania jak dla mieszanki ze „świeżych” materiałów
- Stosowanie GA nie może obniżać właściwości MMA
- Nie dopuszcza się środków obniżających lepkość

Wymagania wg WT-2

Tabela 3. Wymagania dotyczące granulatu asfaltowego

Wymagania		Warstwa nawierzchni
		Podbudowa Wiążąca
Zawartość materiałów obcych		Kategoria FM _{1/0,1}
Właściwości lepiscza odzyskanego w granulacie asfaltowym ^{a)}	PIK	Kategoria S ₇₀ Wartość średnia temperatury mięknięcia nie może być wyższa niż 70°C. Pojedyncze wartości temperatury mięknięcia nie mogą przekraczać 77°C.
	Pen.	Kategoria P ₁₅ Wartość średnia nie może być mniejsza niż 15x0,1mm. Pojedyncze wartości penetracji nie mogą być mniejsze niż 10x0,1mm.
Jednorodność		wg tabeli 4
^{a)} do sklasyfikowania lepiscza odzyskanego w granulacie asfaltowym wystarcza oznaczenie temperatury mięknięcia PIK. Tylko w szczególnych przypadkach należy wykonać oznaczenie penetracji. Oceny właściwości lepiscza należy dokonać wg pkt 4.2.2 normy PN-EN 13108-8.		

Tabela 3a. Zawartość materiałów obcych w granulacie asfaltowym

Materiały obce*		Kategoria
grupa 1 [% (m/m)]	grupa 2 [% (m/m)]	FM
< 1	< 0,1	FM _{1/0,1}
< 5	< 0,1	FM _{5/0,1}
> 5	> 0,1	FM _{dec}
*materiały obce grupy 1 i 2 zgodnie z pkt 4.1 normy PN-EN 13108-8		

Wymagania wg WT-2

Wymiar D kruszywa zawartego w granulacie asfaltowym nie może być większy od wymiaru D mieszanki mineralnej wchodzącej w skład mieszanki mineralno-asfaltowej.

W „metodzie na gorąco” asfalt wynikowy odzyskany z wyprodukowanej mieszanki mineralno-asfaltowej w zakresie temperatury mięknięcia T_{PIKmix} powinien spełniać oczekiwane wymagania według dokumentacji projektowej.

Właściwości kruszywa z granulatu asfaltowego powinny spełniać wymagania określone dla kruszywa w danej mieszance mineralno-asfaltowej.

Dopuszcza się deklarowanie właściwości kruszywa mineralnego w granulacie asfaltowym na podstawie udokumentowanego wcześniejszego zastosowania.

Wymagania wg WT-2

Tabela 4. Dopuszczalny rozstęp wyników badań właściwości

Właściwość	Dopuszczalny rozstęp wyników badań (T_{roz}) partii granulatu asfaltowego do zastosowania w mieszance mineralno-asfaltowej przeznaczonej do:	
	warstwy wiążącej	warstwy podbudowy
Temperatura mięknięcia lepiscza odzyskanego, [°C]	8,0	8,0
Zawartość lepiscza, [% (m/m)]	1,0	1,2
Kruszywo o uziarnieniu poniżej 0,063 mm, [% (m/m)]	6,0	10,0
Kruszywo o uziarnieniu od 0,063 do 2 mm, [% (m/m)]	16,0	16,0
Kruszywo o uziarnieniu powyżej 2 mm, [% (m/m)]	16,0	18,0

Tabela 5. Materiały do betonu asfaltowego do warstwy podbudowy

Materiał	Kategoria ruchu							
	KR1÷2		KR3÷4			KR5÷7		
Mieszanka mineralno-asfaltowa o wymiarze D , [mm]	16	22	16	22	32	16	22	32
Granulat asfaltowy GRA o wymiarze U , [mm]	22,4	31,5	22,4	31,5	45	22,4	31,5	45

Warunki stosowania granulatu asfaltowego

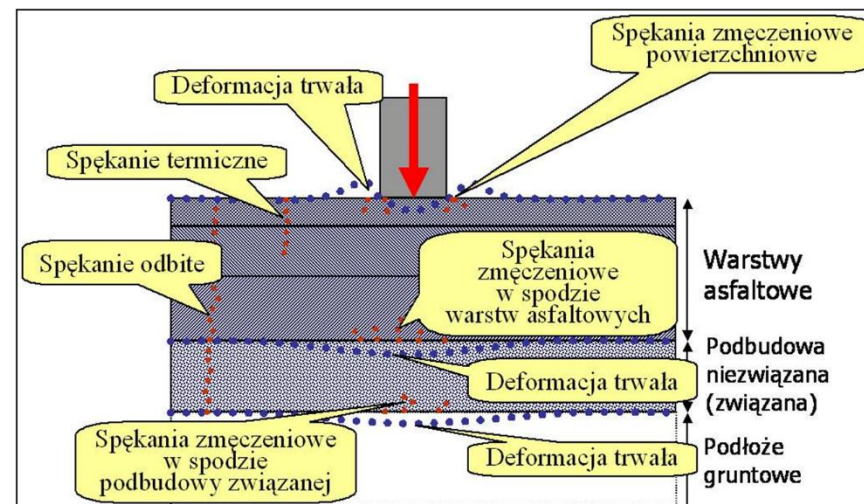
- MMA z GA spełnia wymagania jak dla mieszanki ze „świeżych” materiałów
- Stosowanie GA nie może obniżać właściwości MMA
- Zakładając, że spełniamy wymagania WT-2, to jakie są jeszcze obawy?
 - Większa sztywność na skutek udziału „starego” asfaltu, który podlega procesom starzeniowym
 - Większa podatność na pękanie niskotemperaturowe
 - Mniejsza trwałość zmęczeniowa MMA i konstrukcji

Projektowanie MMA

Projektowanie i wymagania mieszanek SMA i betonu asfaltowego AC

- Uziarnienie mieszanki mineralnej
- Zawartość asfaltu
- Zawartość wolnych przestrzeni
- Odporność na działanie wody i mrozu
- Odporność na koleinowanie

Kiedy taki zestaw jest wystarczający?



Właściwości funkcjonalne MMA

PN-EN 13108-1

wymaganie funkcjonalne

wymaganie dotyczące podstawowej właściwości materiałowej (np. sztywności, zmęczenia), która wyraża zachowanie się materiału i pozwala prognozować jego zachowanie podczas eksploatacji

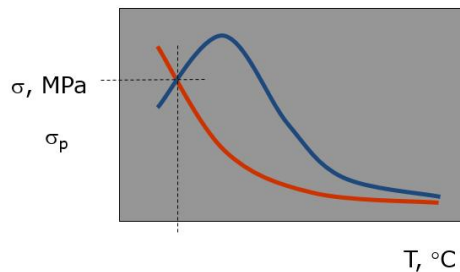
Właściwości funkcjonalne:

- Odporność na pękanie niskotemperaturowe
- Odporność na zmęczenie
- Zespolony moduł sztywności (sztywność)

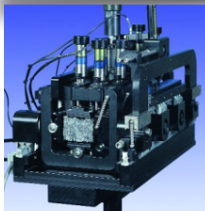
Dodatkowo w badaniach do projektu uwzględniono:

Wpływ starzenia technologicznego (STOA) i eksploatacyjnego (LTOA)

Odporność na pękanie niskotemperaturowe w badaniu TSRST



$$T_p^{TSRST} = T_p^{Naw} + 4^{\circ}C$$



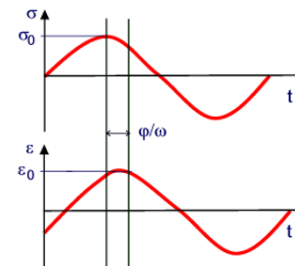
$$E^* = E' + jE''$$

E' - faza pracy sprężystej

E'' - faza pracy lepkiej

$$E' = |E^*| \times \cos\varphi$$

$$E'' = |E^*| \times \sin\varphi$$



Zastosowanie:

→ Ocena właściwości lepkosprężystych MMA

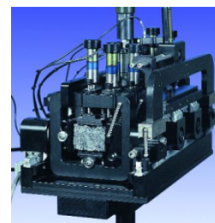
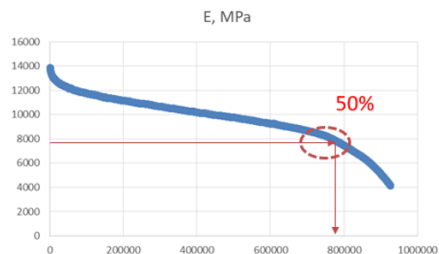
→ Wartość modułu znajduje zastosowanie w projektowaniu konstrukcji nawierzchni

13



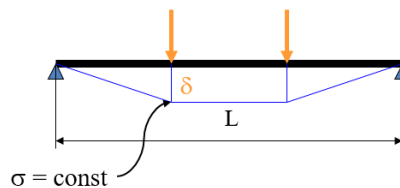
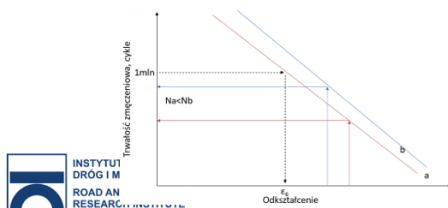
14

Trwałość zmęczeniowa



P/2

P/2



13

13

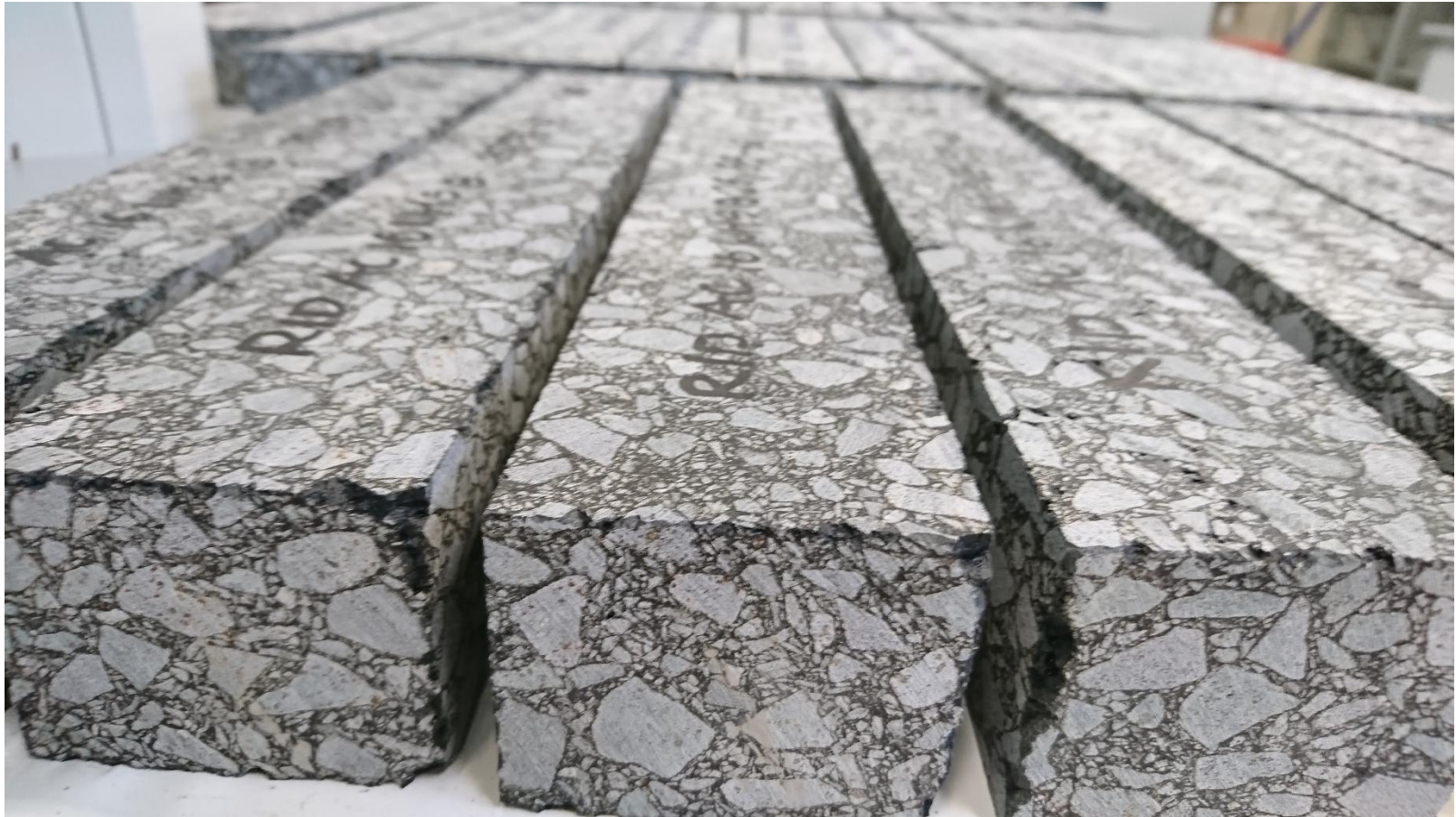


Recykling na gorąco

Potencjalne bariery stosowania recyklingu na gorąco

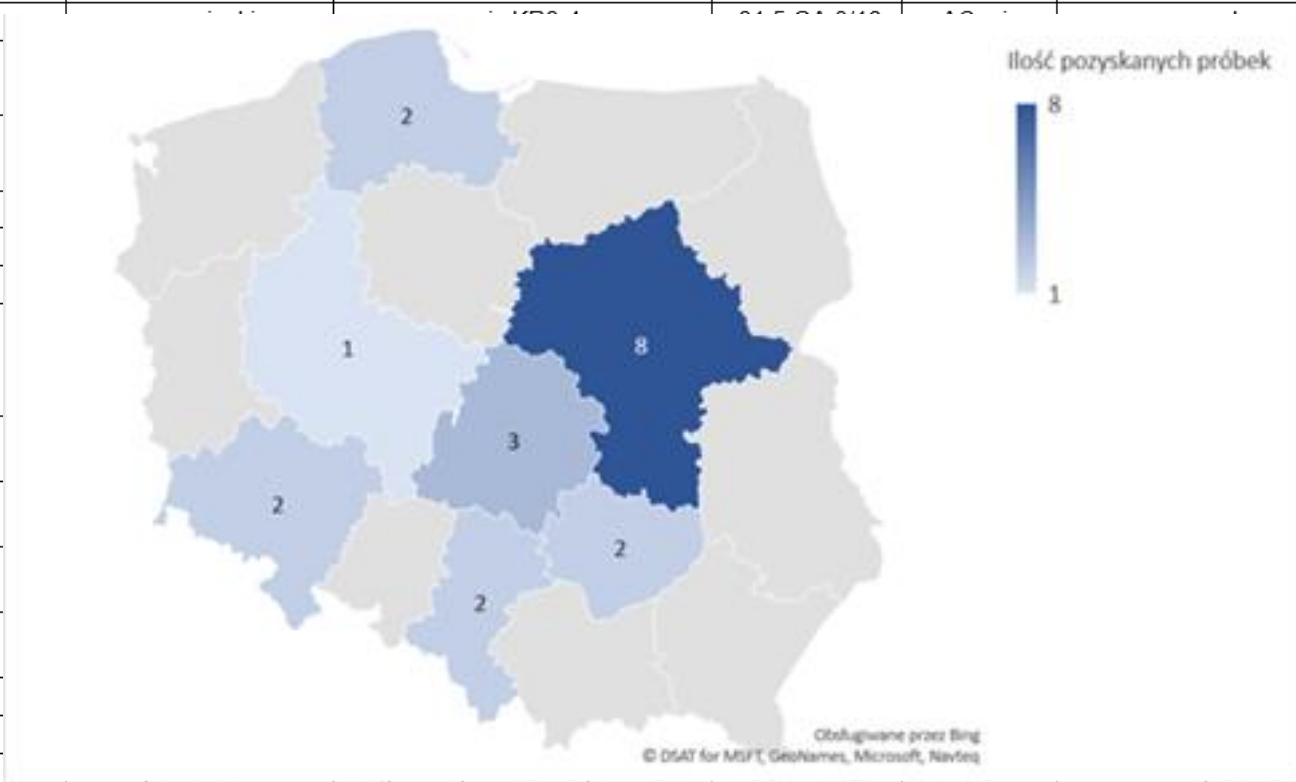
- Brak wyposażenia wytwórni
- Wysoki koszt „czarnego bębna”
- Brak lub mało doświadczeń
- Brak szczegółowych krajowych wytycznych stosowania
- Ograniczenia ilościowe wg WT-2
- Brak zezwolenia od Inwestora (zaufanie)
- Dostępność destruktu/granulatu
- Obawa o jakość i jednorodność destruktu
- Obawa o jakość mieszanek mineralno-asfaltowych i trwałość nawierzchni

Doświadczenia z projektu RID I/6



Materiały do badań

Nr materiału	Nr lab.	Nr asfaltu odzyskanego i kompozycji	Pochodzenie próbek (województwo)	Dodatkowe informacje o próbce	Oznaczenie, U RA d/D, mm	Informacja o rodzaju mieszanki	Stan próbki
1	161003WK1.1	1	mazowieckie	mix KR3-4	16 GA 0/8	AC mix	granulowany
2	161003WK1.2	2					
3	161012WK2.2	3					
4	161012WK2.3						
5	161017RR1.1	4					
6	161017RR1.2						
7	161109DJ1.1	5					
8	161109DJ1.2	6					
9	161117JB1.4	7					
10	161117JB1.1						
11	161117JB1.2	8					
12	161117JB1.3						
13	150217AC1.1	9					wnie,
14	150217AC2.1	10					wnie,
15	170309WB1.1	11					wnie,
16	170309WB1.2	12					wnie,
17	170309WB1.3	13					granulowany
18	170309WB1.4	14					granulowany
19	170410DJ1.1	15					
20	170410DJ1.2	16	pomorskie	drogi w województwie pomorskim	31 RA 0/16	AC	przesiany



Materiały do badań



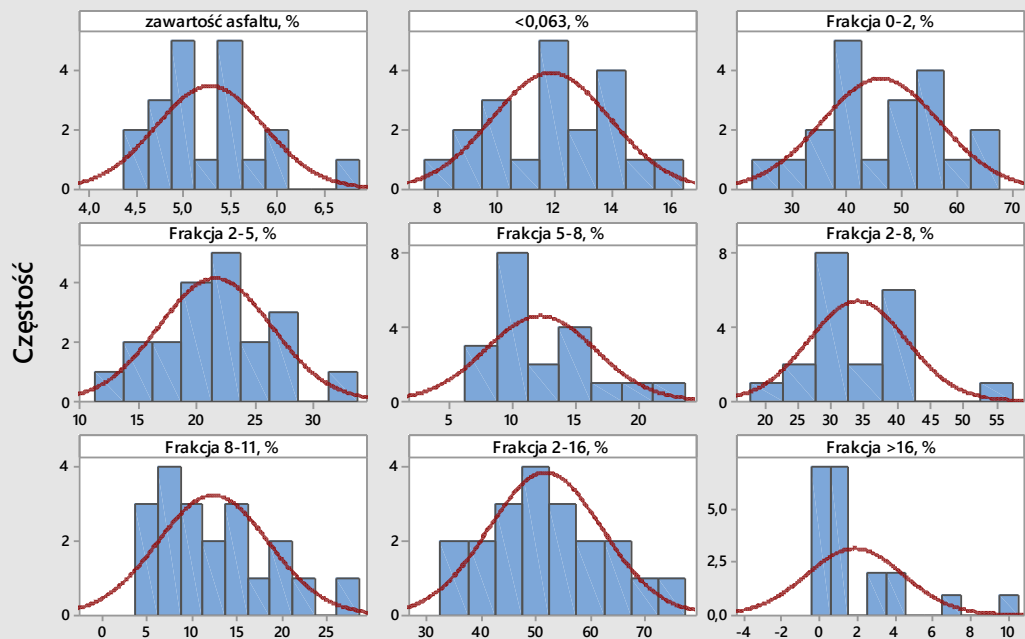
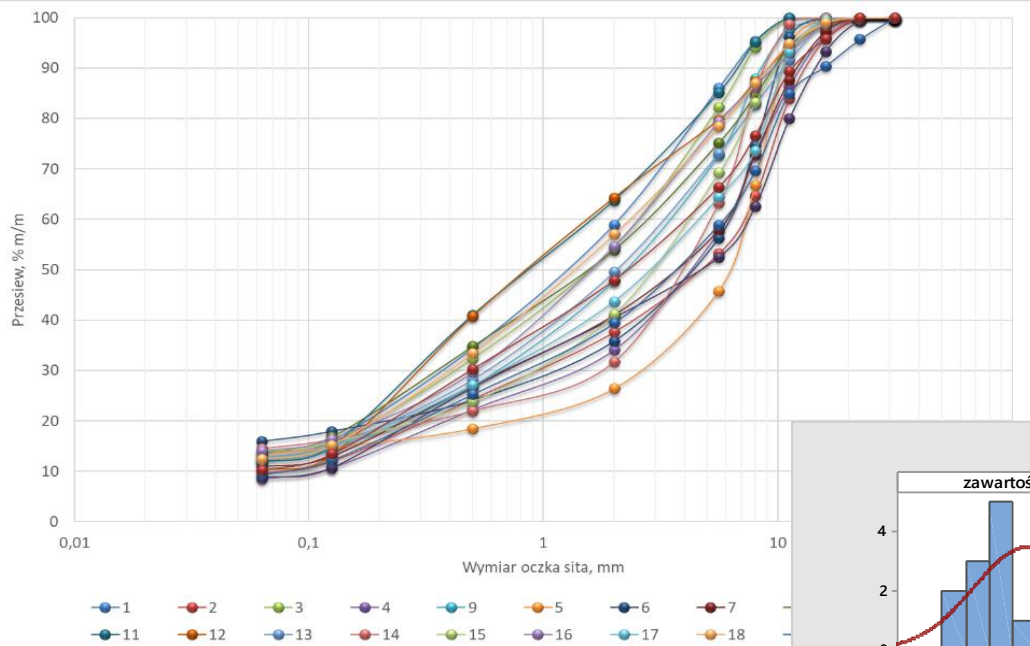
Fotografia 1 Przykładowy destrukcyjny materiał pochodzący z frezowania warstwy asfaltowej



Fotografia 2 Przykładowy granul. 0/16

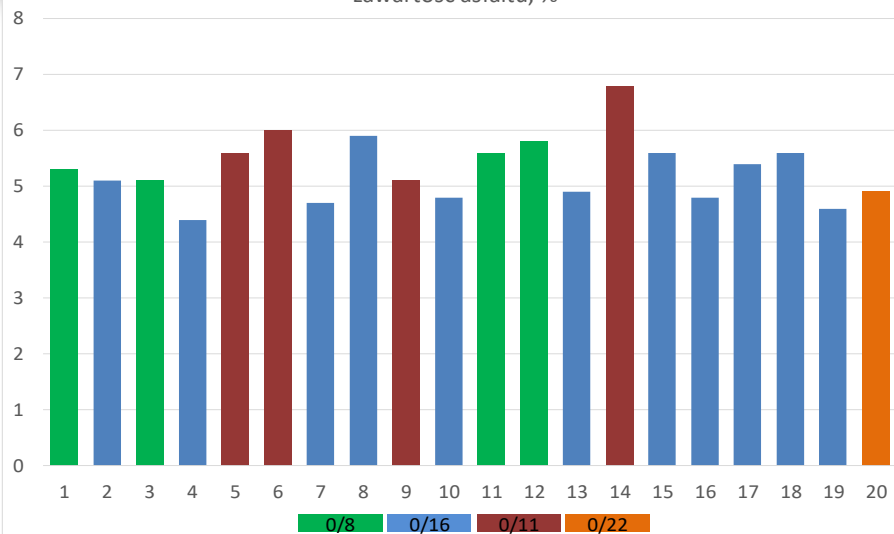


Skład i uziarnienie

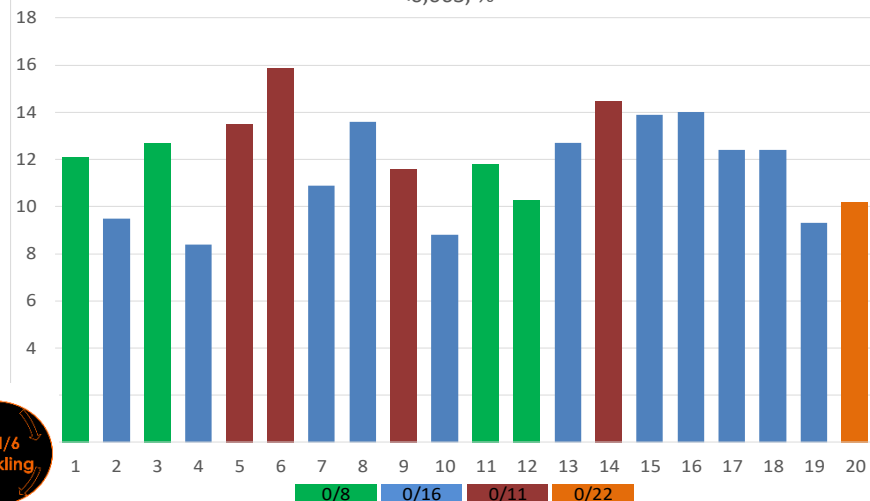


Skład i uziarnienie

zawartość asfaltu, %

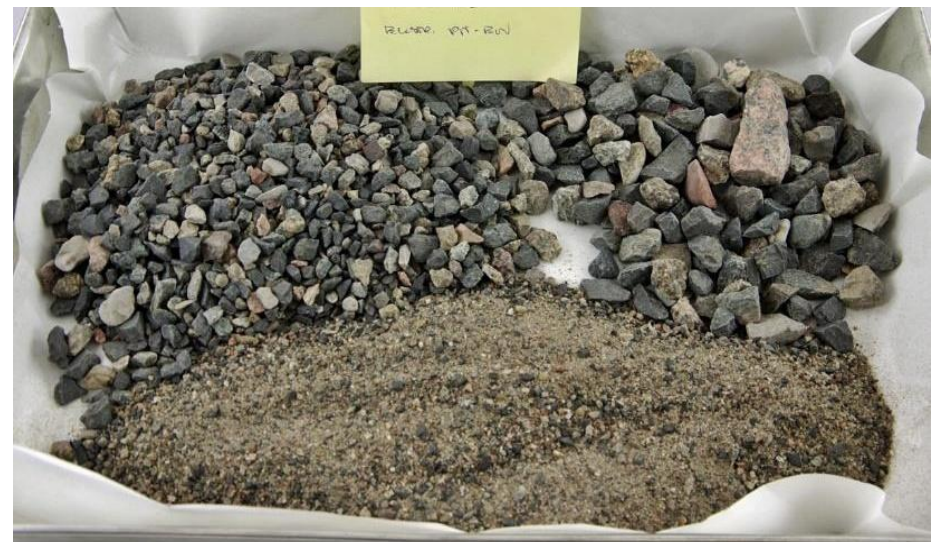
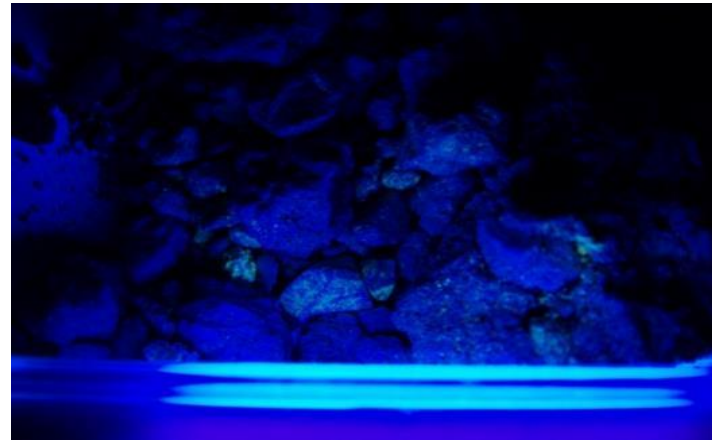


<0,063, %

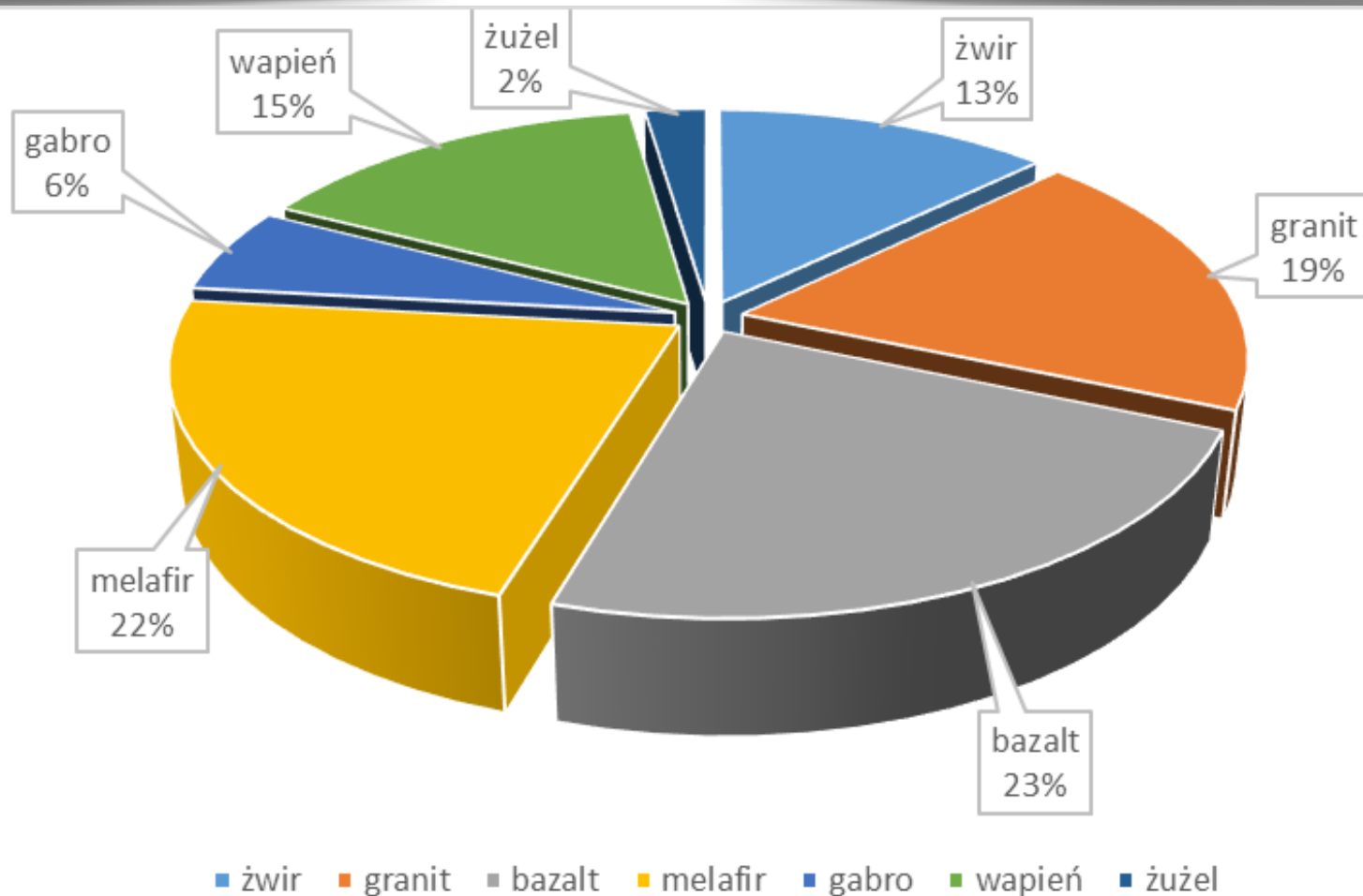


Obecność smoły, materiały obce

- ...śladowe smoły
ilości w jednym
materiale
- ...brak
zanieczyszczeń,
materiałów obcych

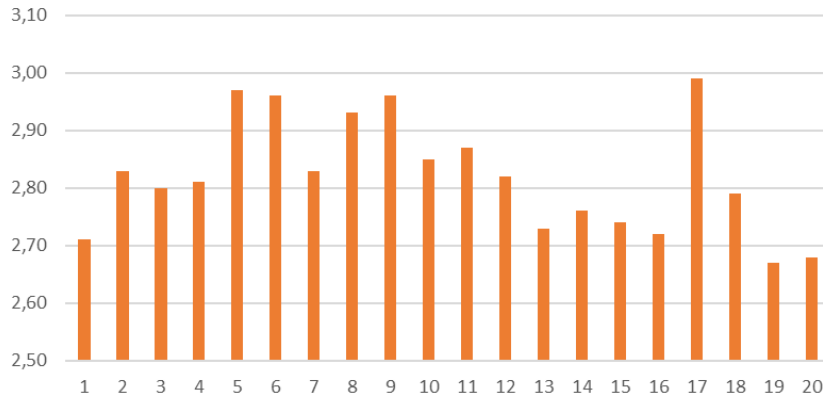


Rozpoznanie kruszyw

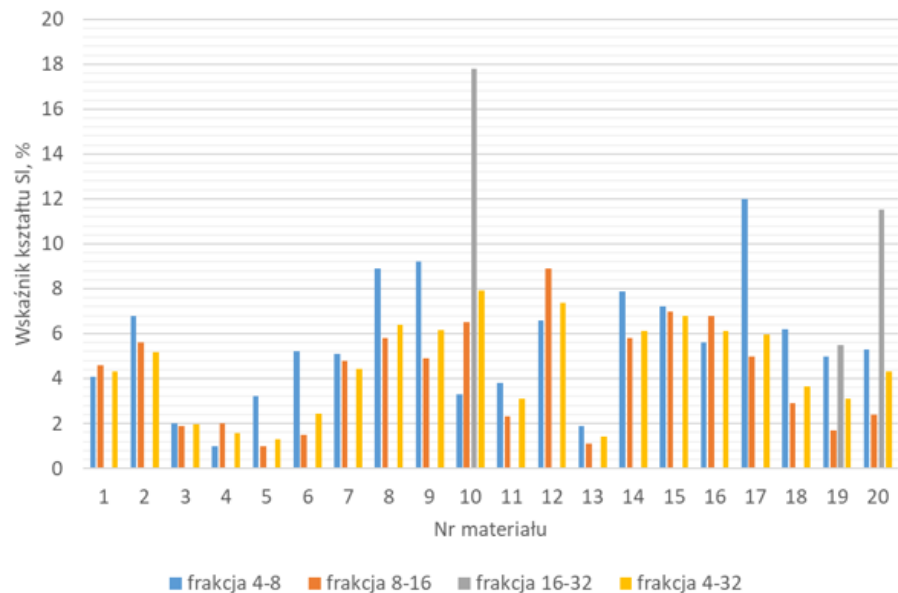
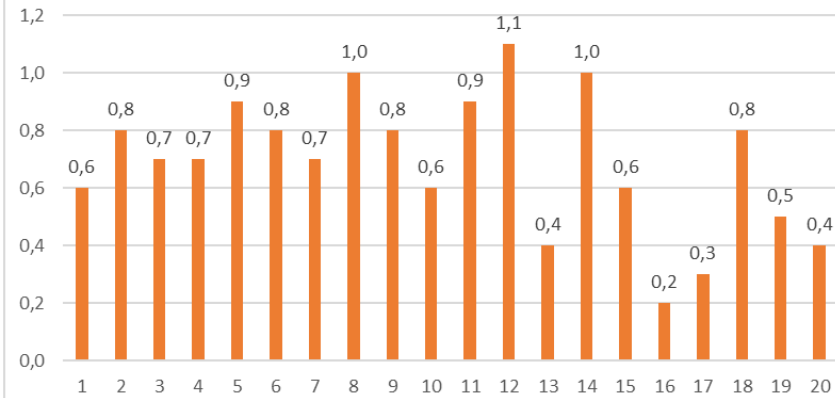


Badania kruszyw

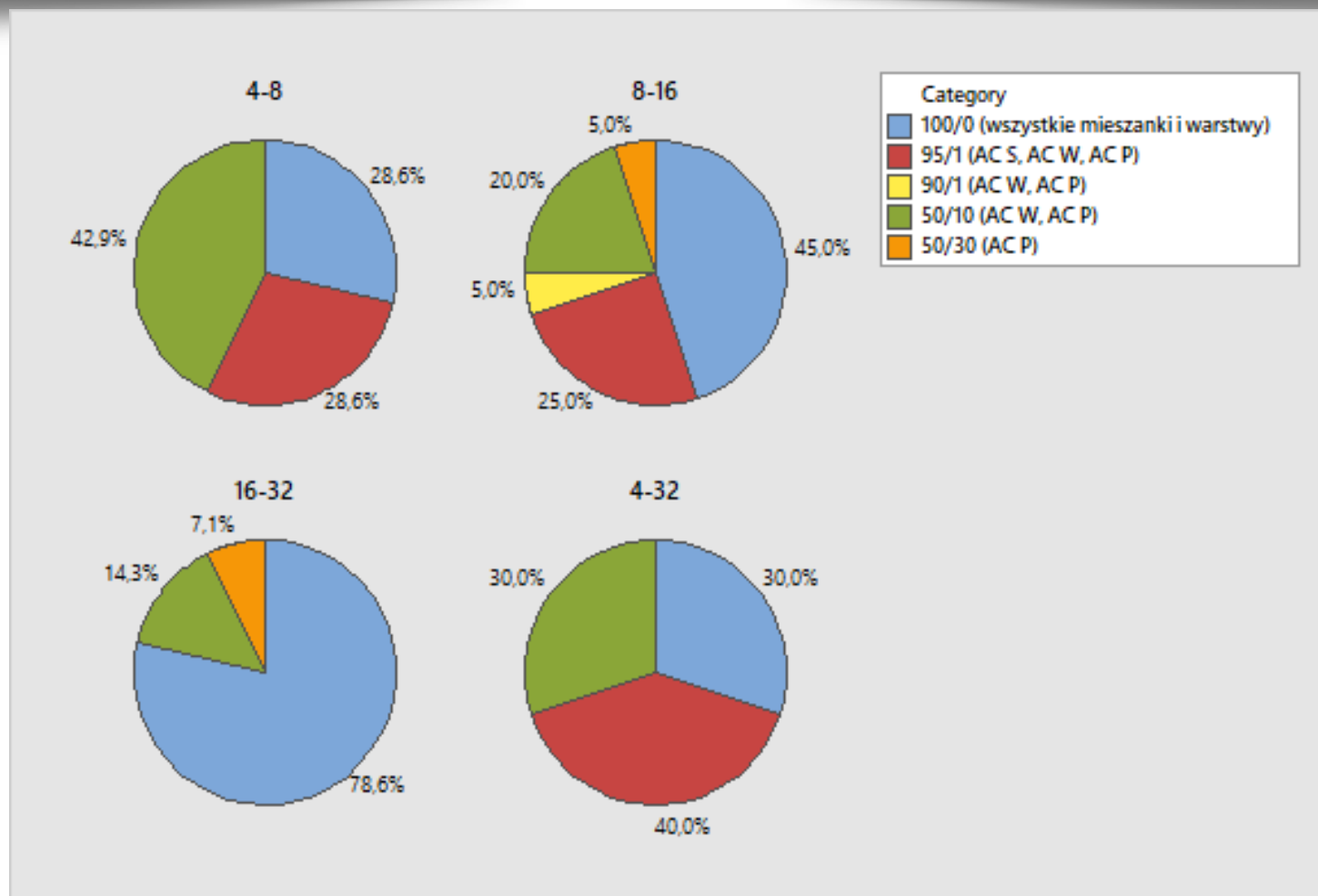
gęstość, Mg/m³



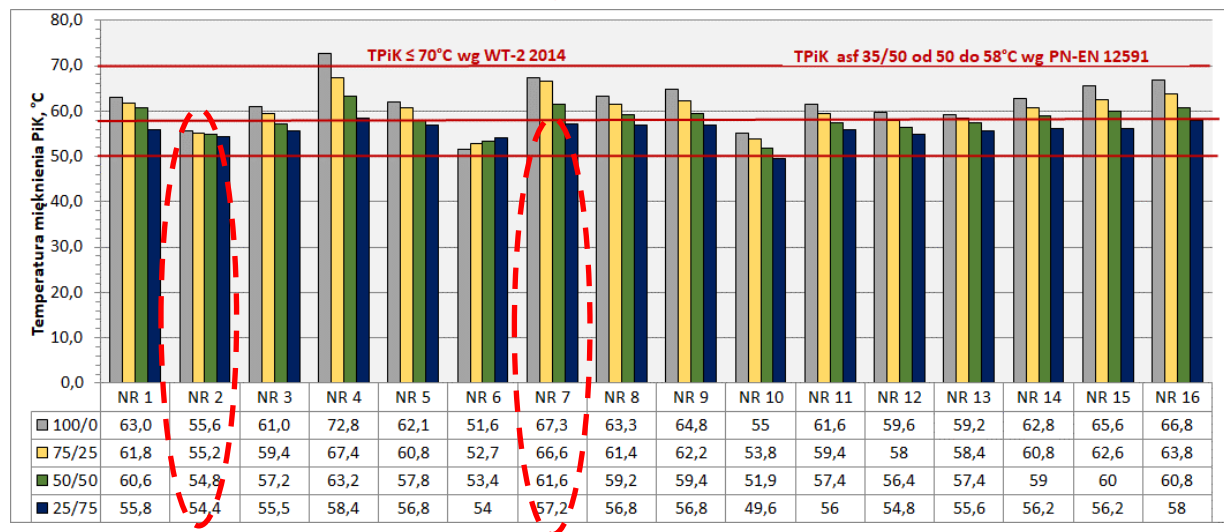
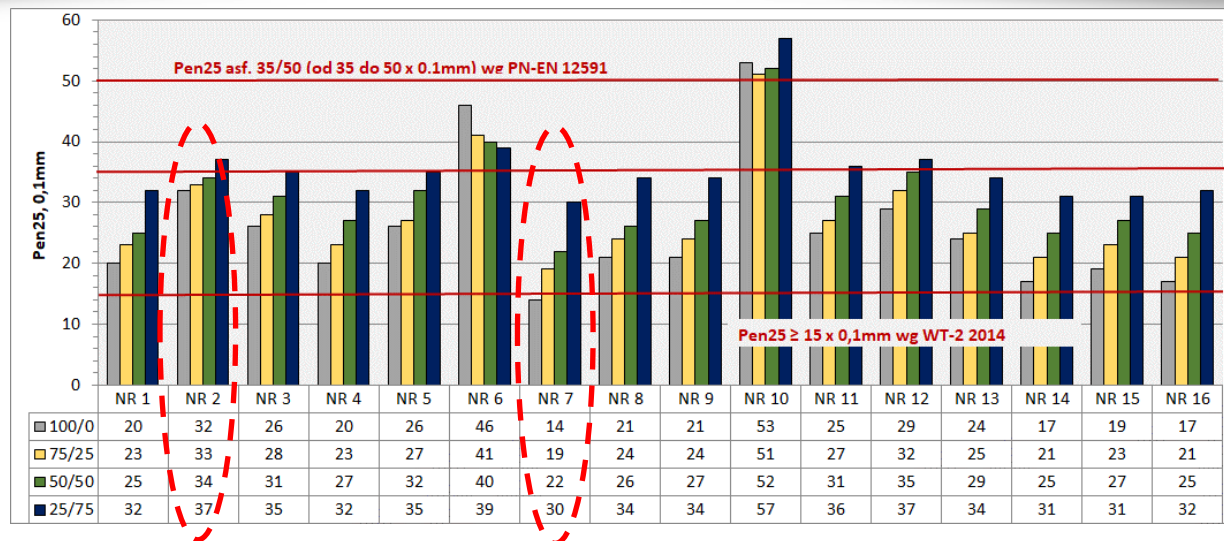
nasiąkliwość WA₂₄, %



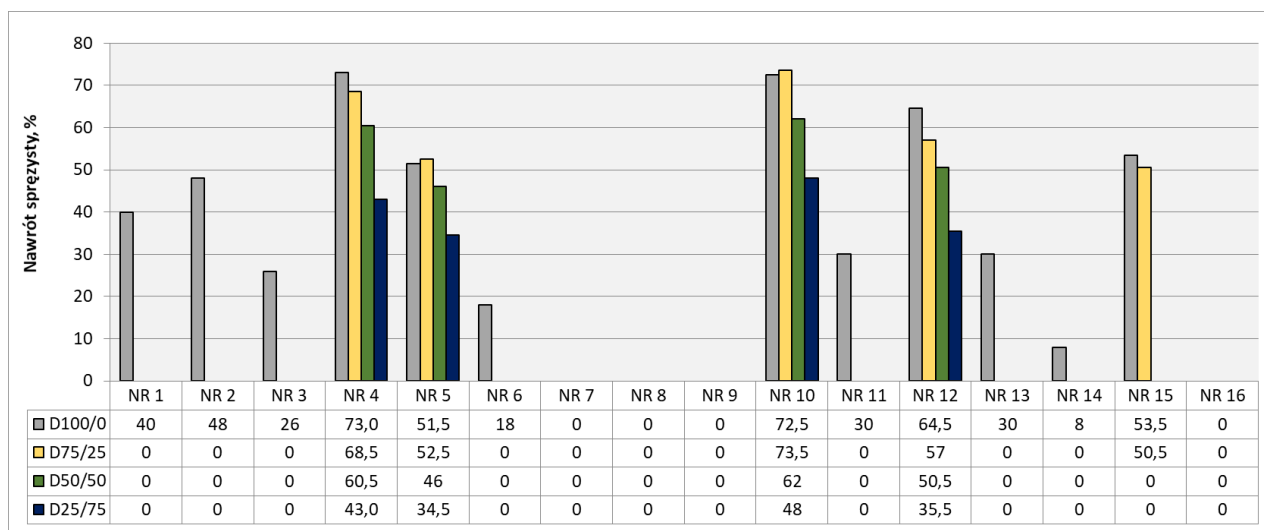
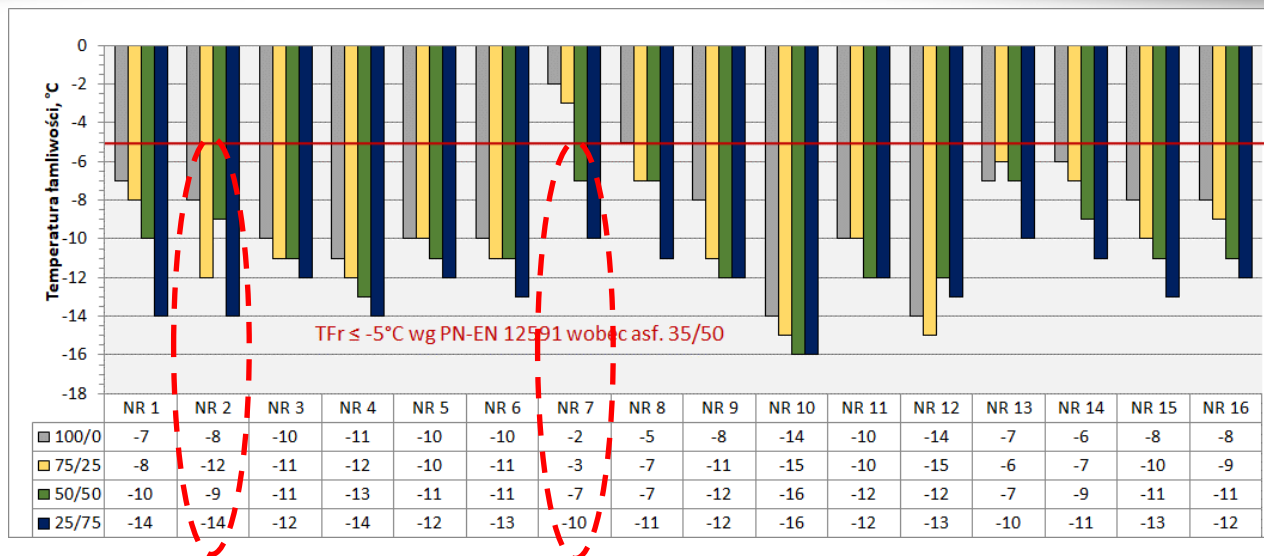
Badania kruszyw – geometria ziaren, przekruszenie



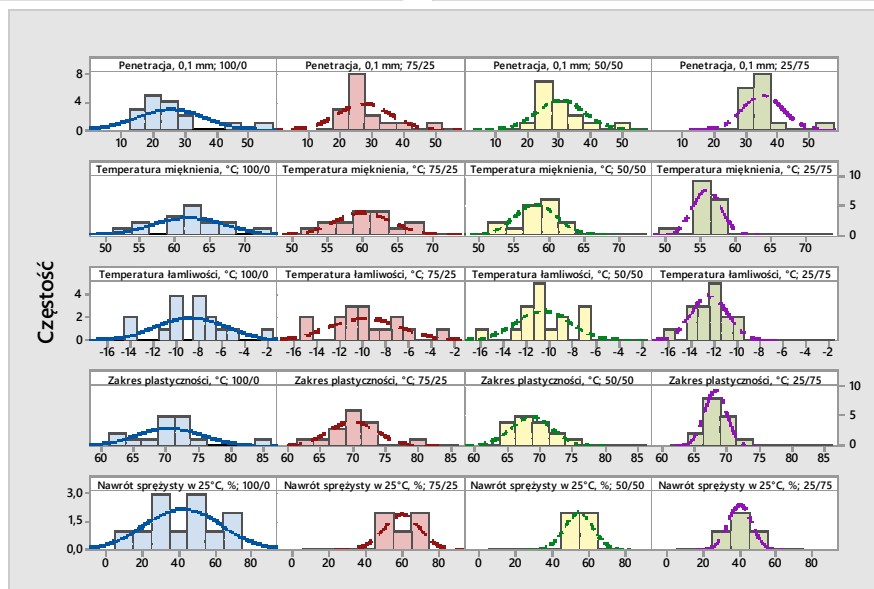
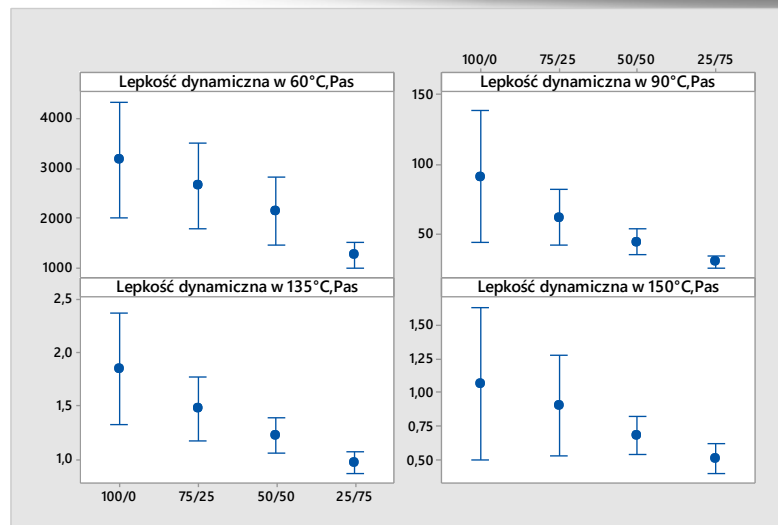
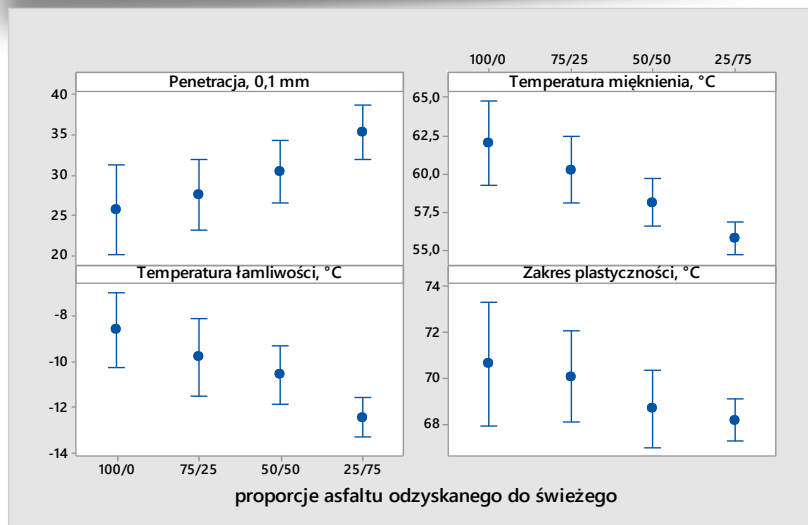
Badania asfaltów odzyskanych i kompozycji



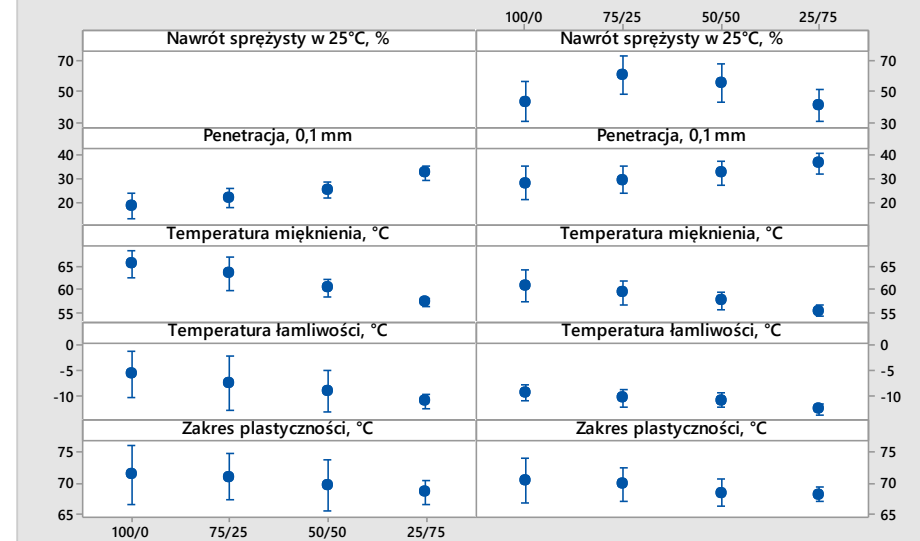
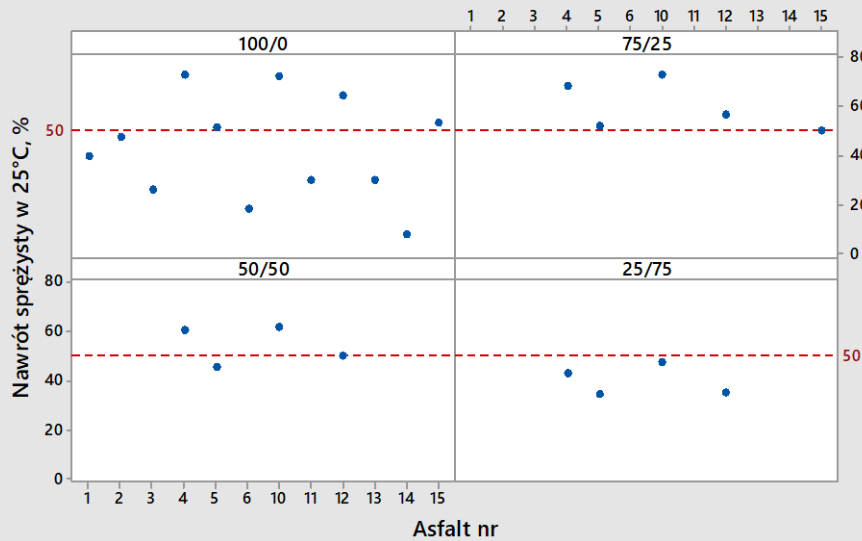
Badania asfaltów odzyskanych i kompozycji



Badania asfaltów odzyskanych i kompozycji



Nawrót sprężysty



Obliczenia Pen i PiK dla kompozycji asfaltów

A.2 Obliczenia penetracji lepiscza w mieszance

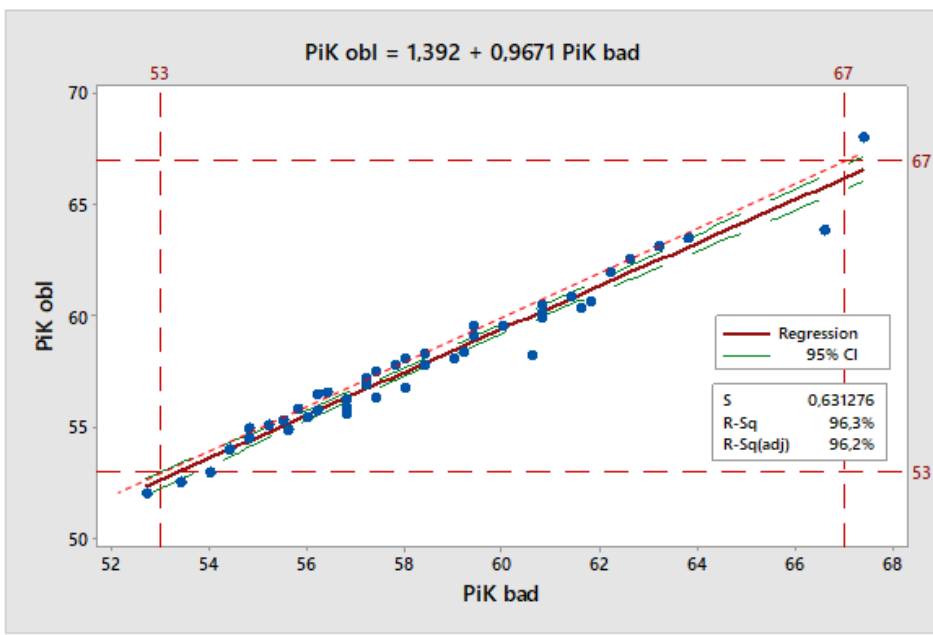
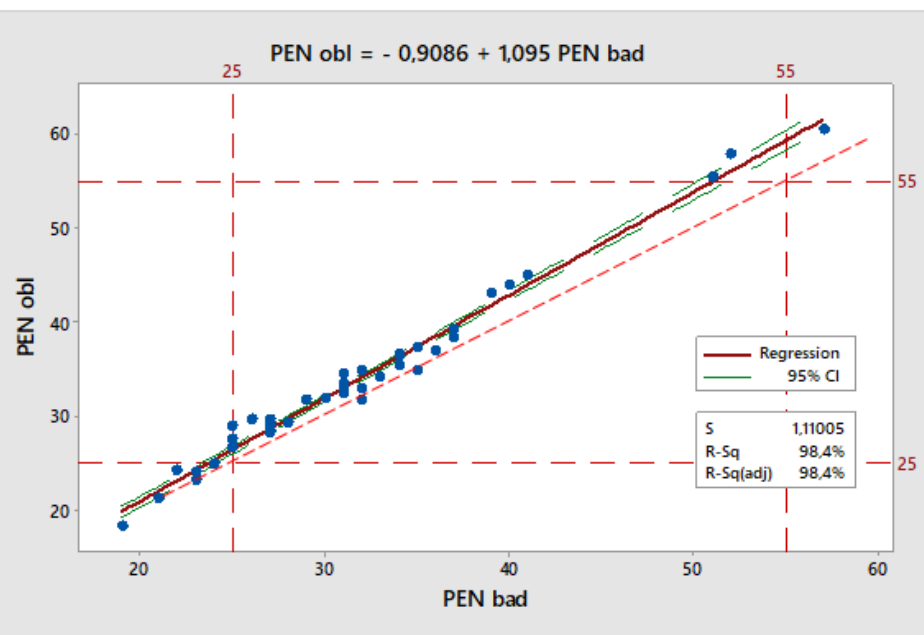
Zastosować następujące równanie:

$$a \lg pen_1 + b \lg pen_2 = (a + b) \lg pen_{mix}$$

A.3 Obliczenie temperatury mięknienia lepiscza w mieszance

Zastosować następujące równanie:

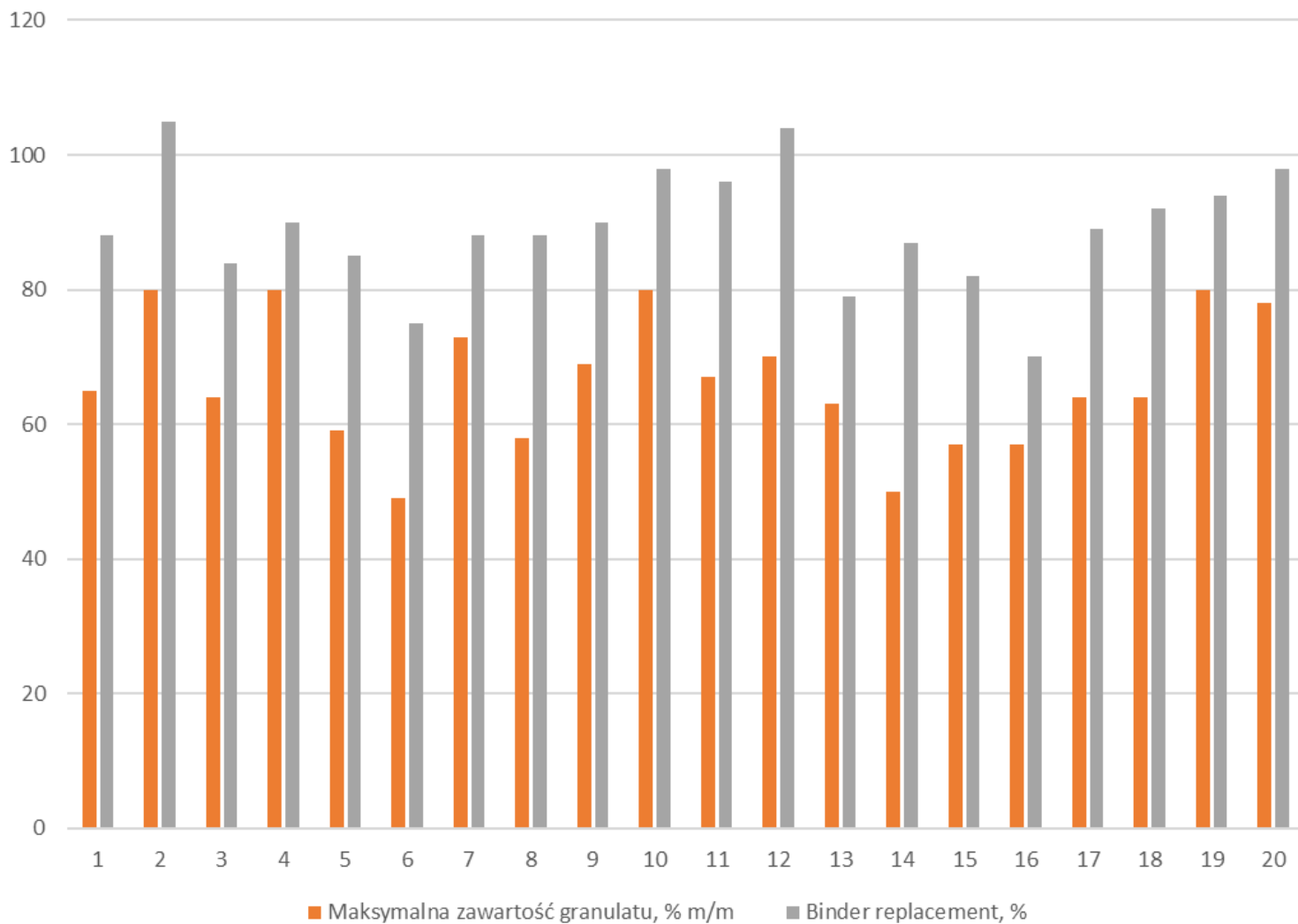
$$T_{R\&B\ mix} = a \times T_{R\&B\ 1} + b \times T_{R\&B\ 2}$$



Projektowanie składu MMA z GA wg uziarnienia (teoretyczne)

- Wykonano „teoretyczne” projektowanie składu mma z różnymi zawartościami GA i DA
- Projektowanie do maksymalnej zawartości lub 80%
- Mieszanki AC11S, AC16W, AC22P
- Określono wskaźnik zastąpienia

Wyniki analiz dla AC22P

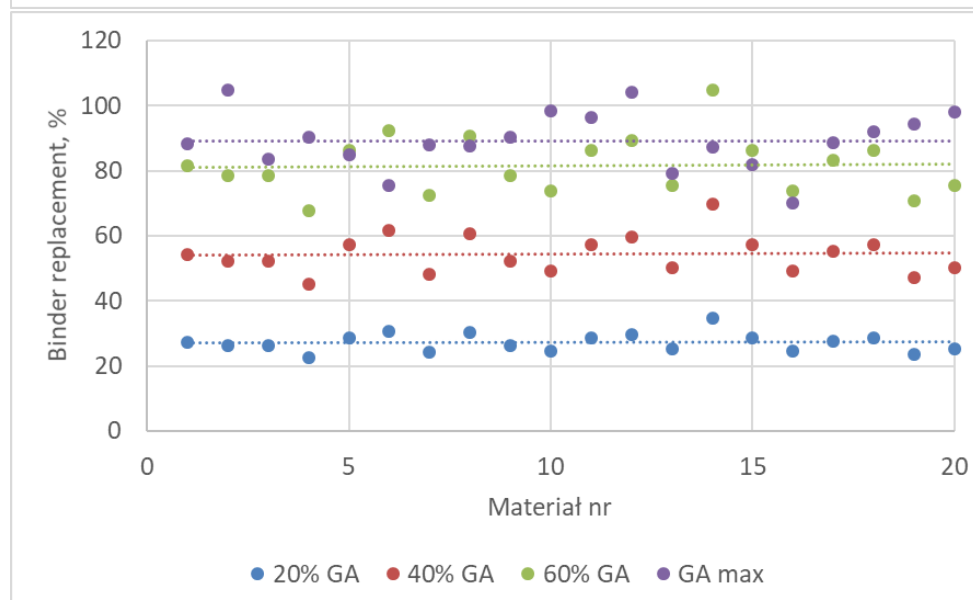
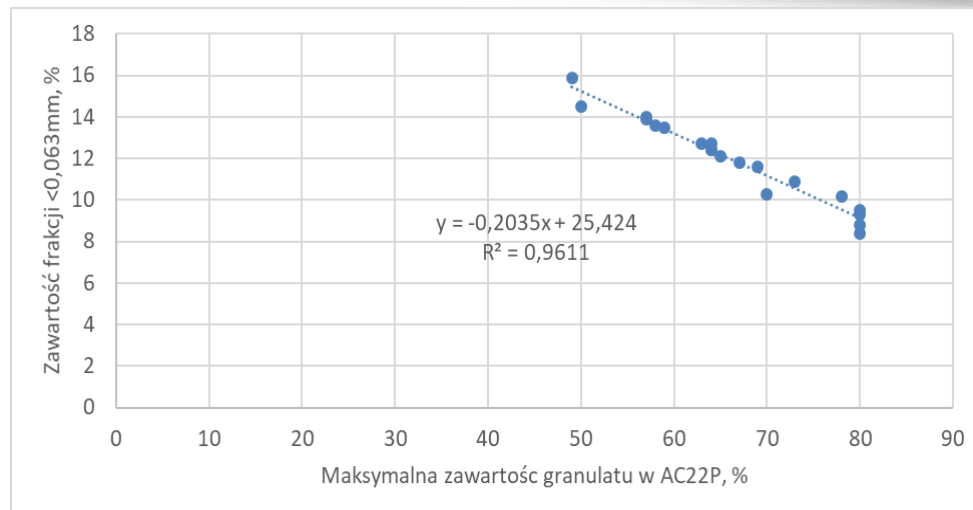


Ograniczenia w projektowaniu uziarnienia

→ Zawartość frakcji do 0,063mm

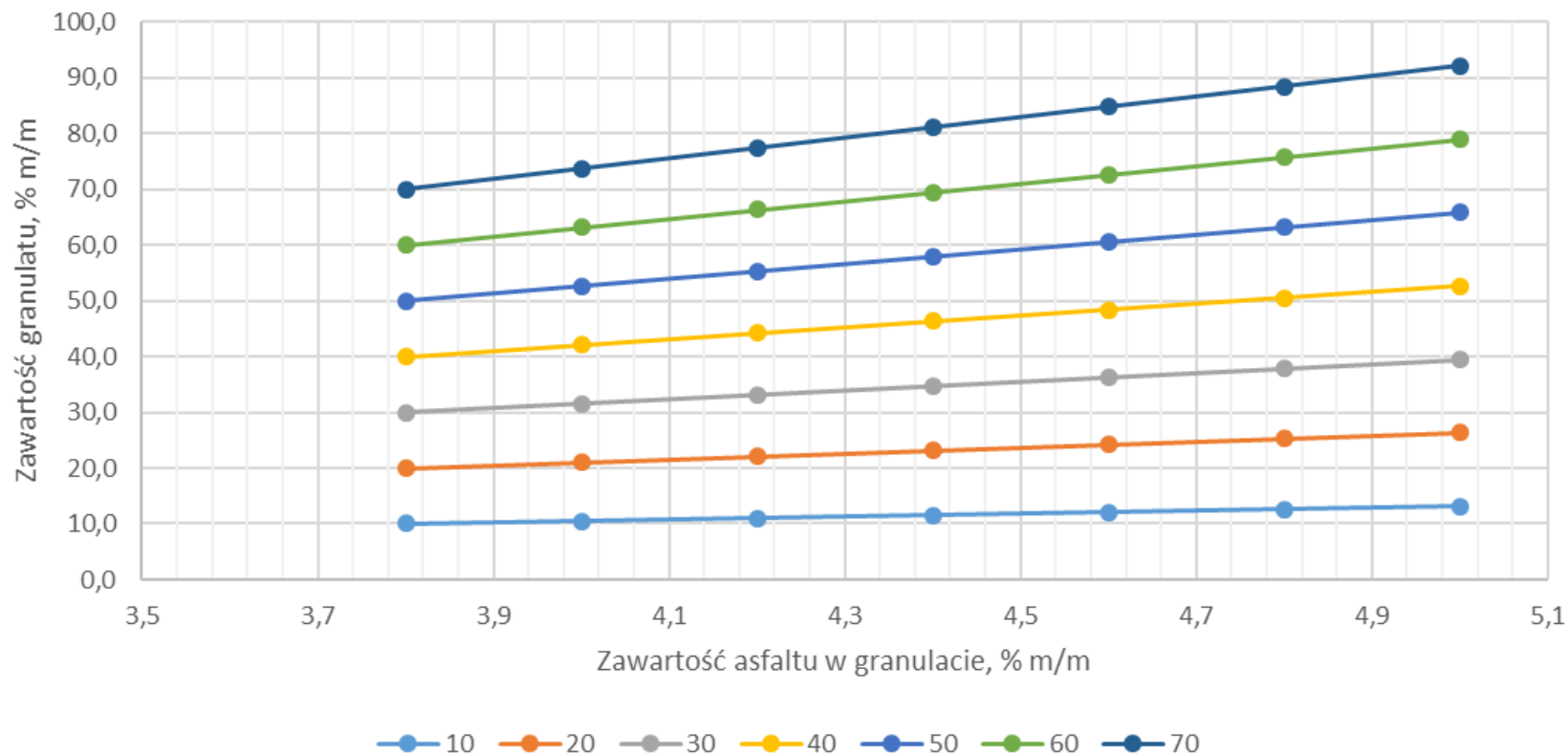
→ Binder replacement

→i wymagania mma do sprawdzenia w laboratorium



Wskaźnik zastąpienia

Binder replacement ($A_m=3,8\%$ m/m)



Projekt i badania AC22P 35/50

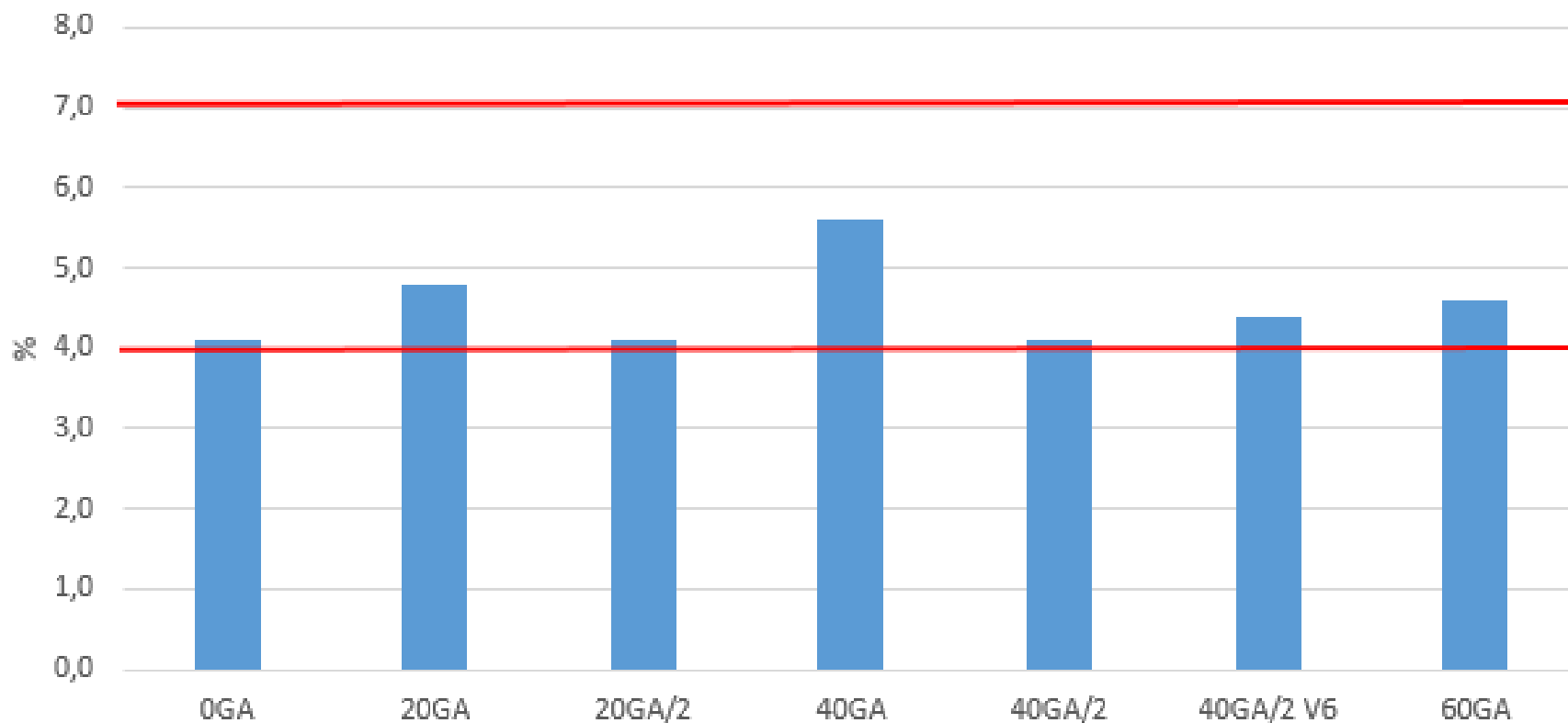
- AC22P 35/50 0GA – bez granulatu
- AC22P 35/50 20GA, ..40GA, ..60GA – 20, 40 i 60% granulatu
- AC22P 35/50 20GA/2, ..40GA/2 – 20 i 40% „gorszego” granulatu
- AC22P 35/50 40GA/2 V6 – 40% „gorszego” granulatu + miękki asfalt

Wskaźnik zastąpienia, %

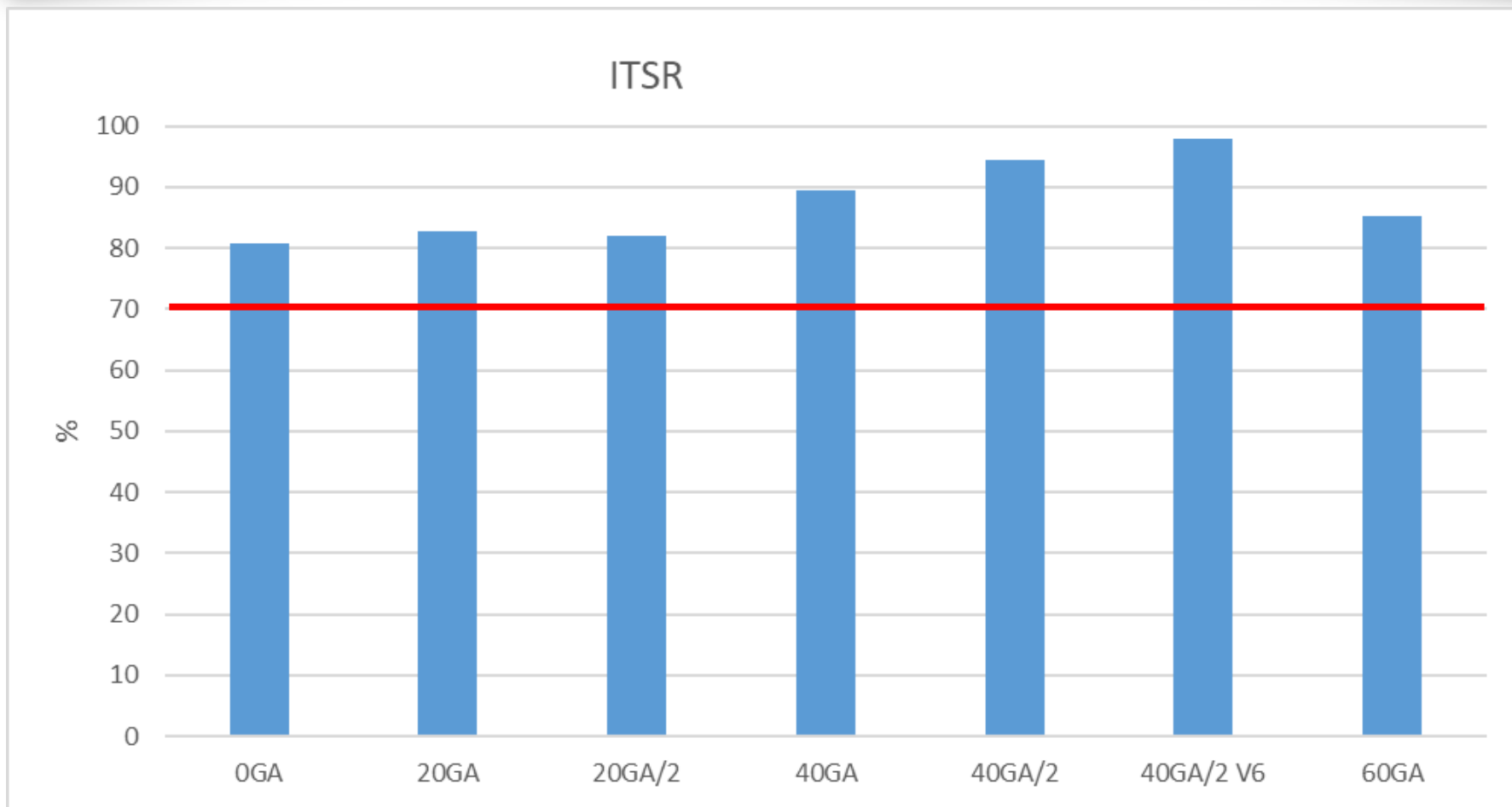
Zawartość GA	20%	40%	60%
GA	25.6	51.1	74.4
GA/2	26.2	52.3	-

Zawartość wolnych przestrzeni

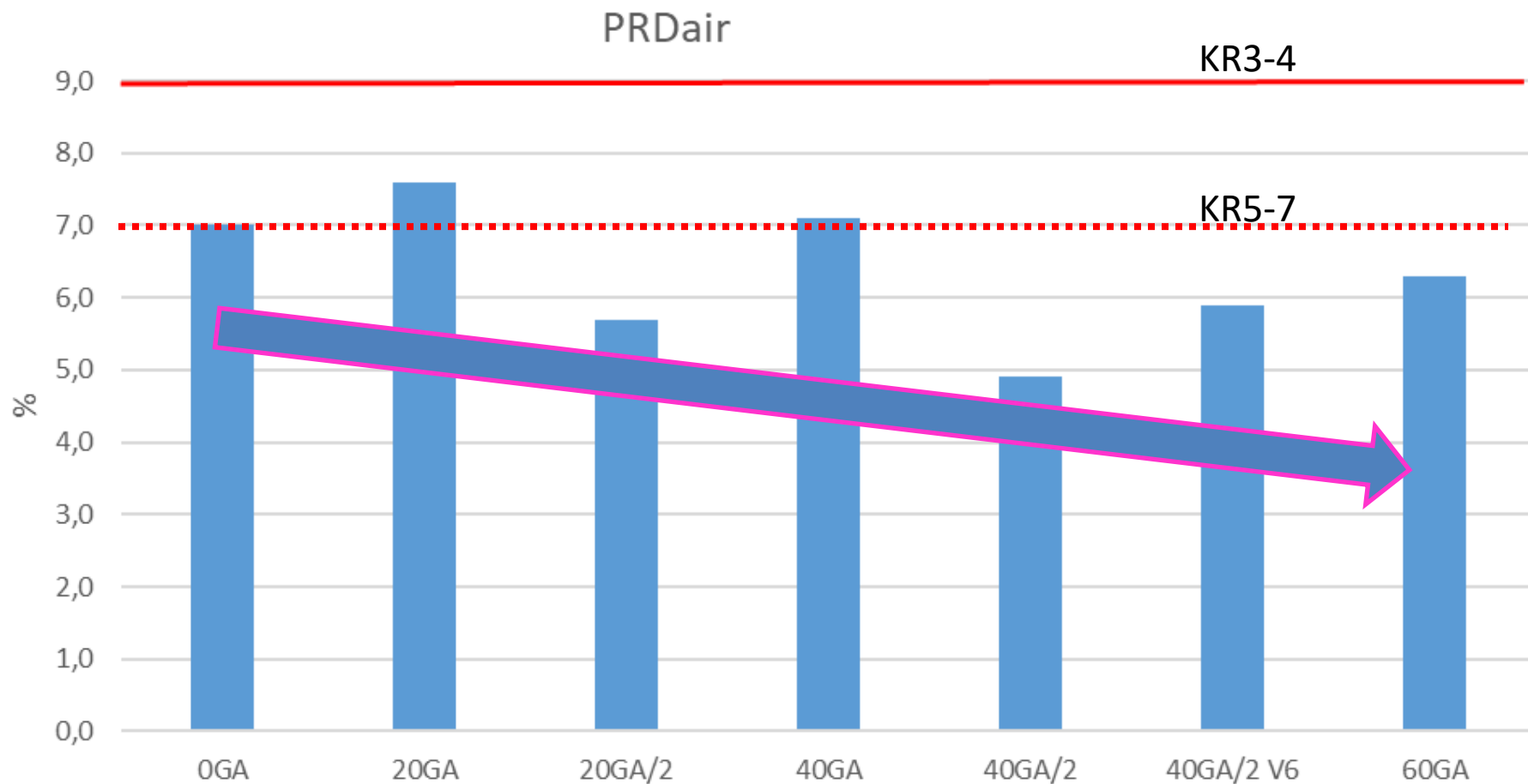
Zawartość wolnych przestrzeni



ITSR

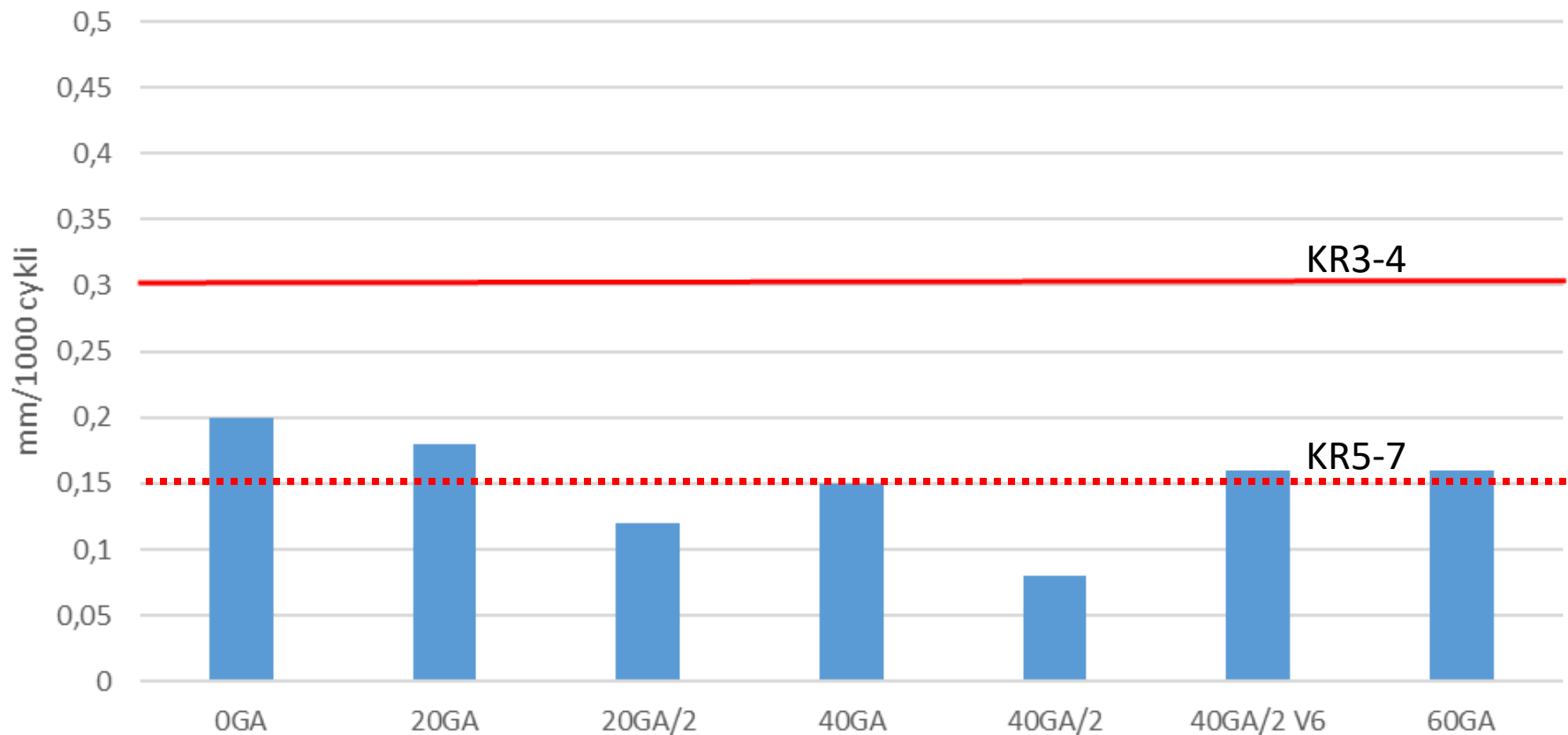


Koleinowanie



Koleinowanie

WTSair

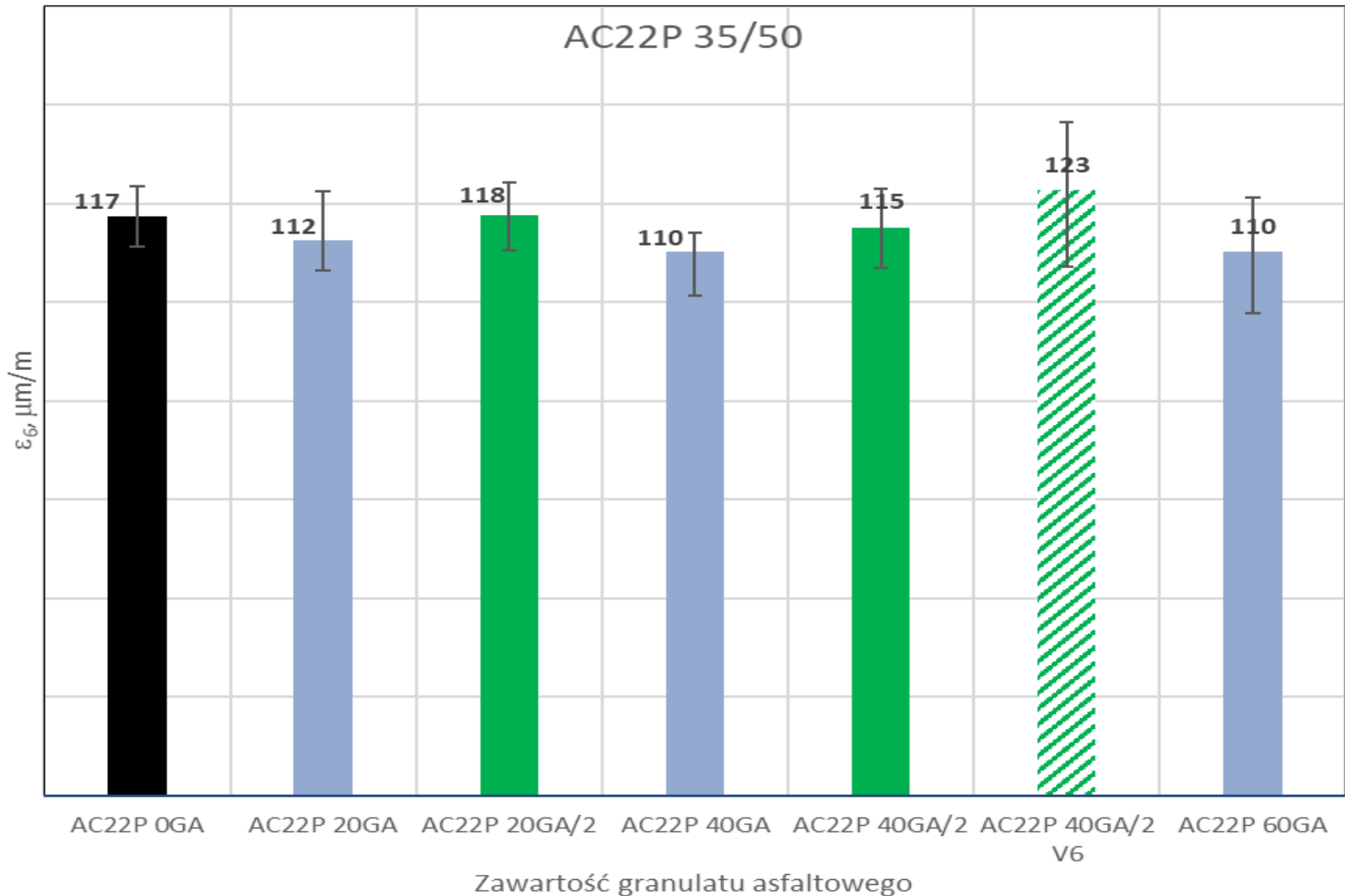


KR3-4

KR5-7



Zmęczenie



Trwałość zmęczeniowa

1 000 000

100 000

10 000

100

1000

Odształcenie, $\mu\text{m}/\text{m}$

● 0GA

● 20GA

● 20GA/2

● 40GA

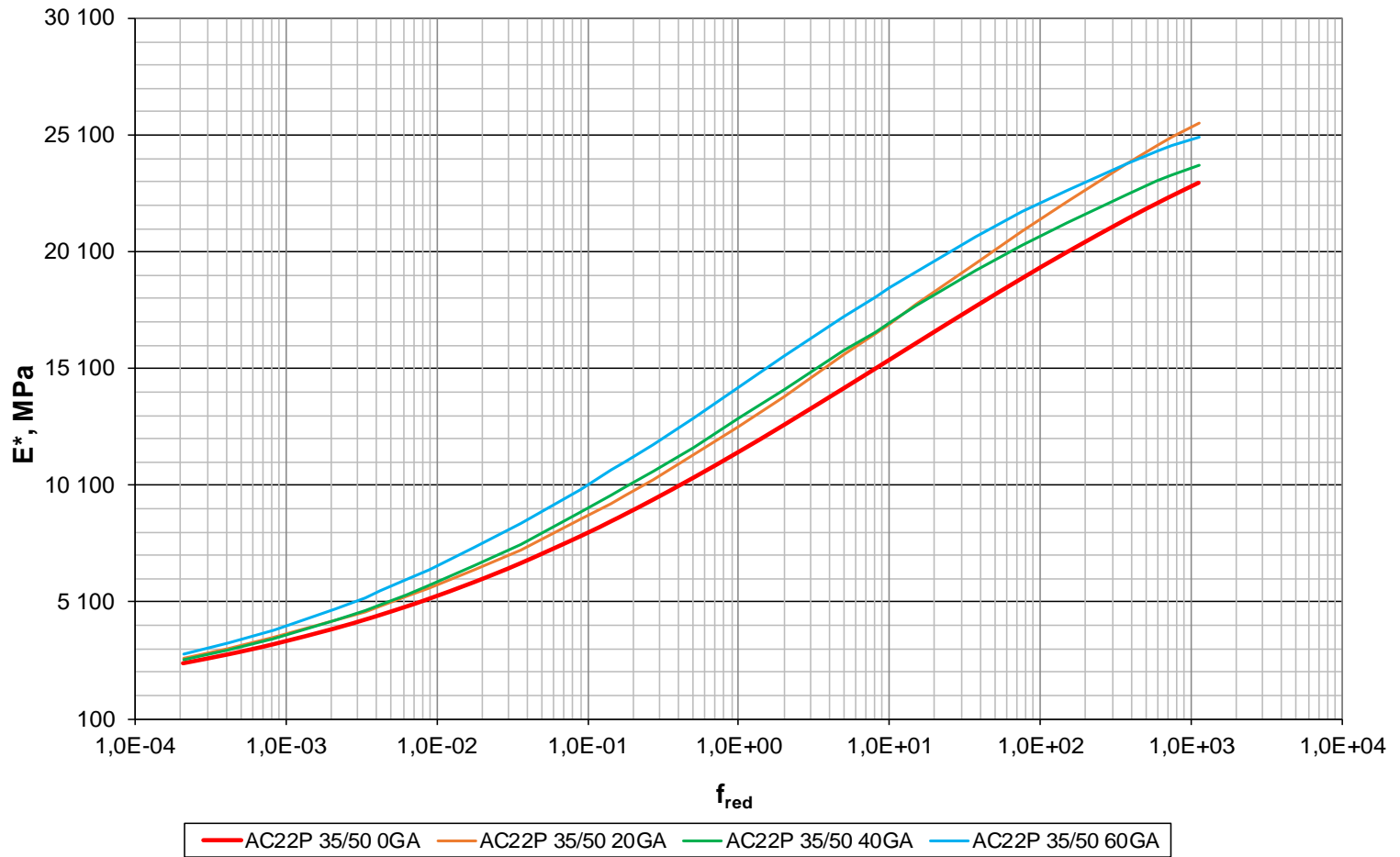
-● -40GA/2

-● 60GA

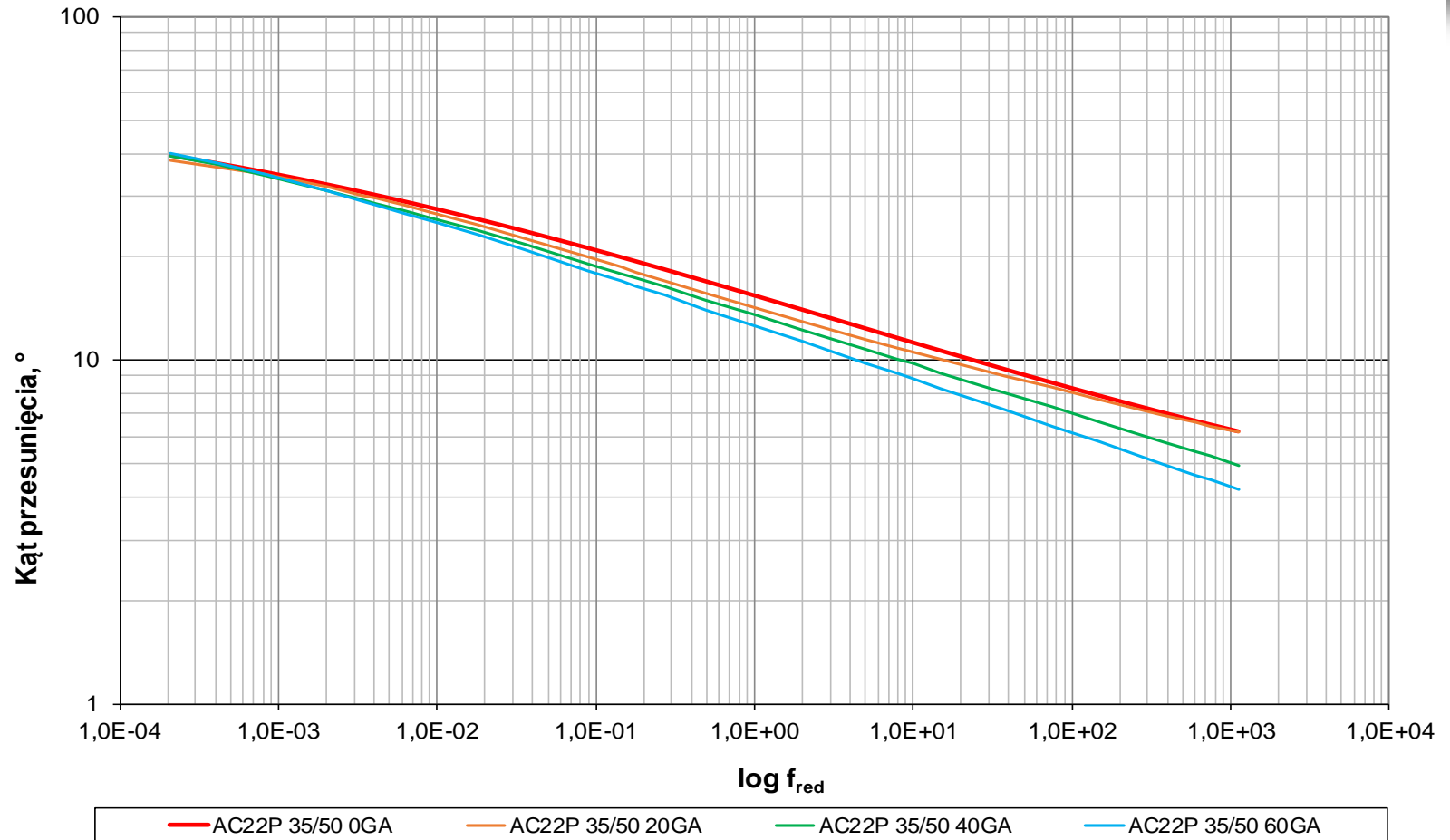
-● -40GA/2 V6000



Moduł zespolony



Moduł zespolony



Doświadczenia z projektu InnGA

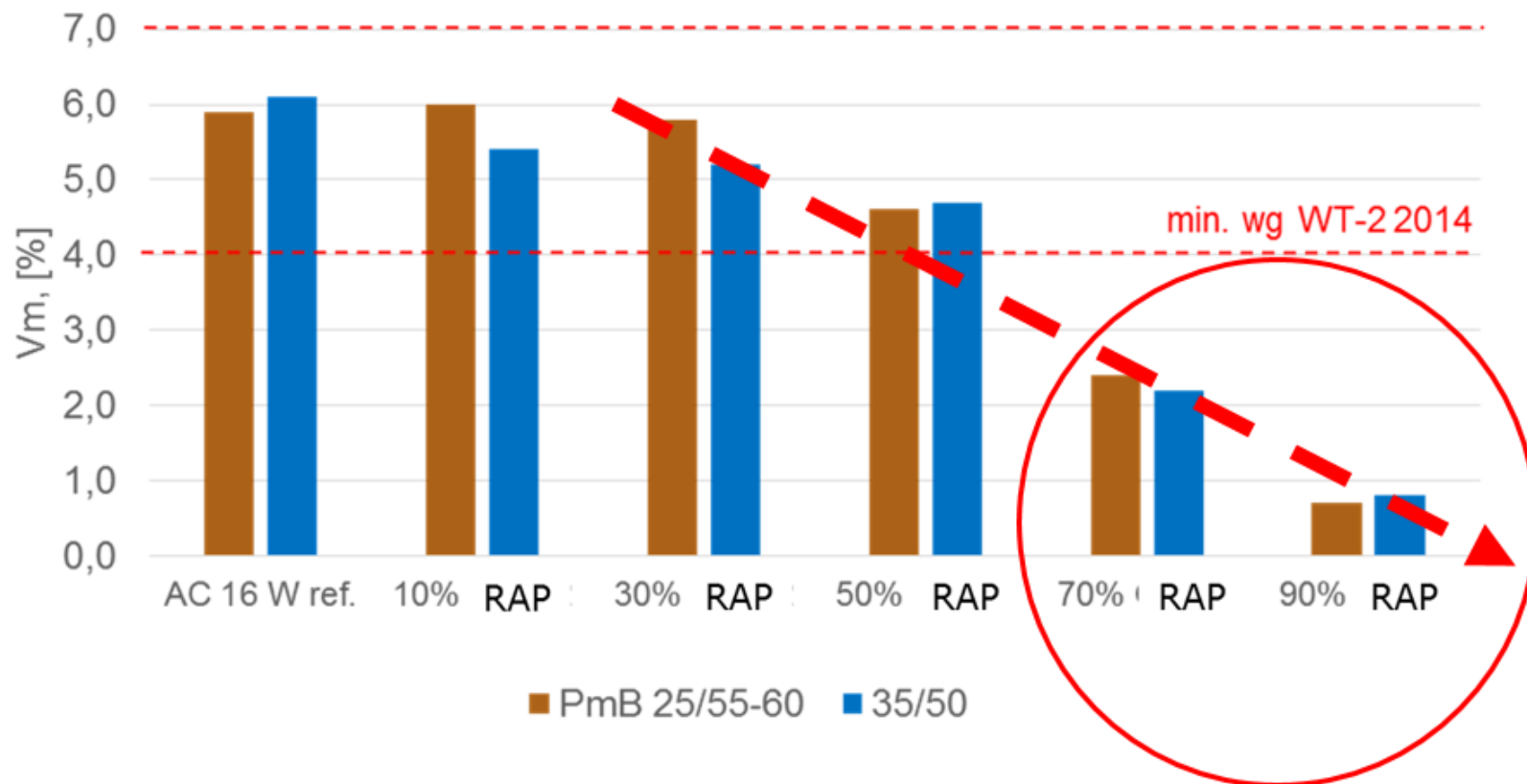


Badania SMA11 i AC16W

Mieszanki:

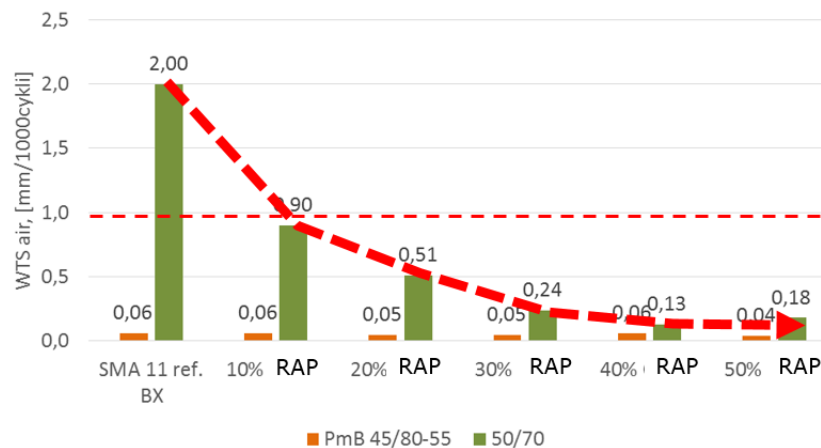
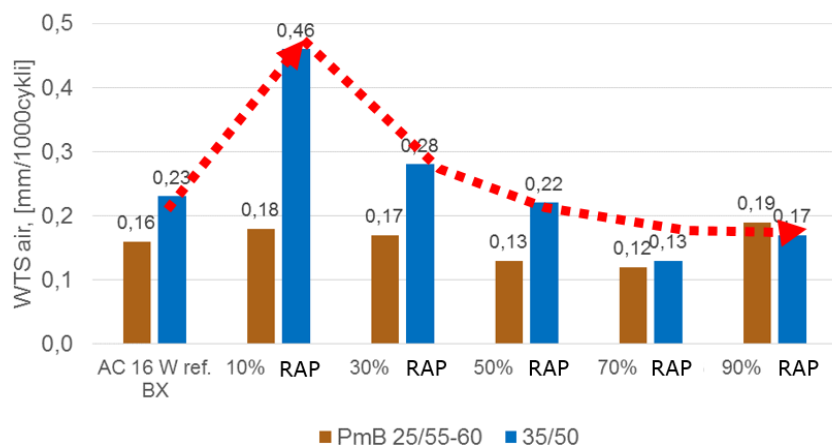
- **SMA 11 50/70** oraz **SMA 11 45/80-55**
- **AC16 W 35/50** oraz **AC16 W 25/55-60**
 - Zawartość GA do 50%
- Recepty zaprojektowane przez Politechnikę Warszawską w ramach zadania 2.

Badania MMA z granulatem asfaltowym

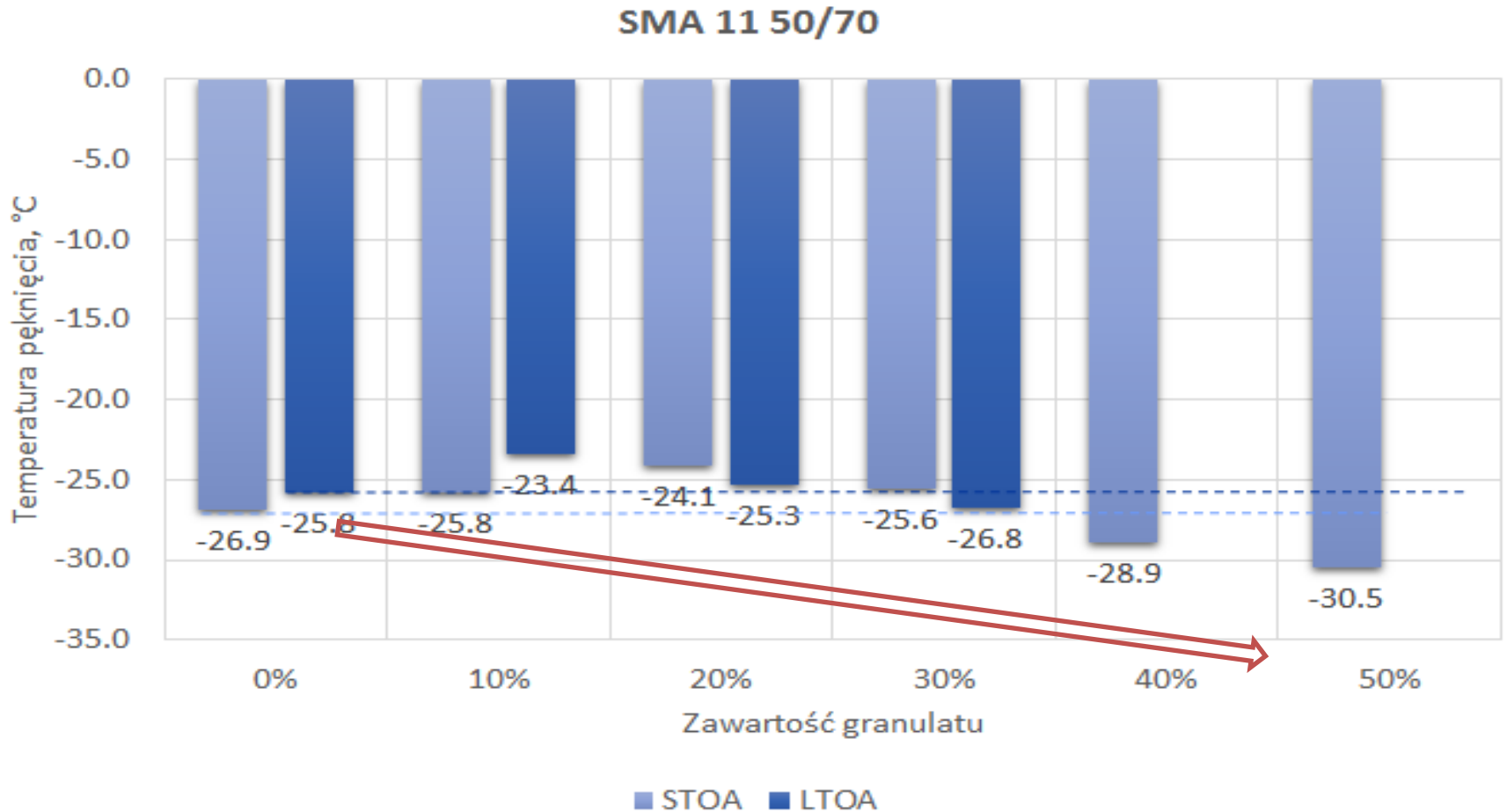


Odporność na koleinowanie

Obserwacje z projektowania: widoczna jest tendencja wzrostu odporności na koleinowanie wraz ze wzrostem zawartości granulatu

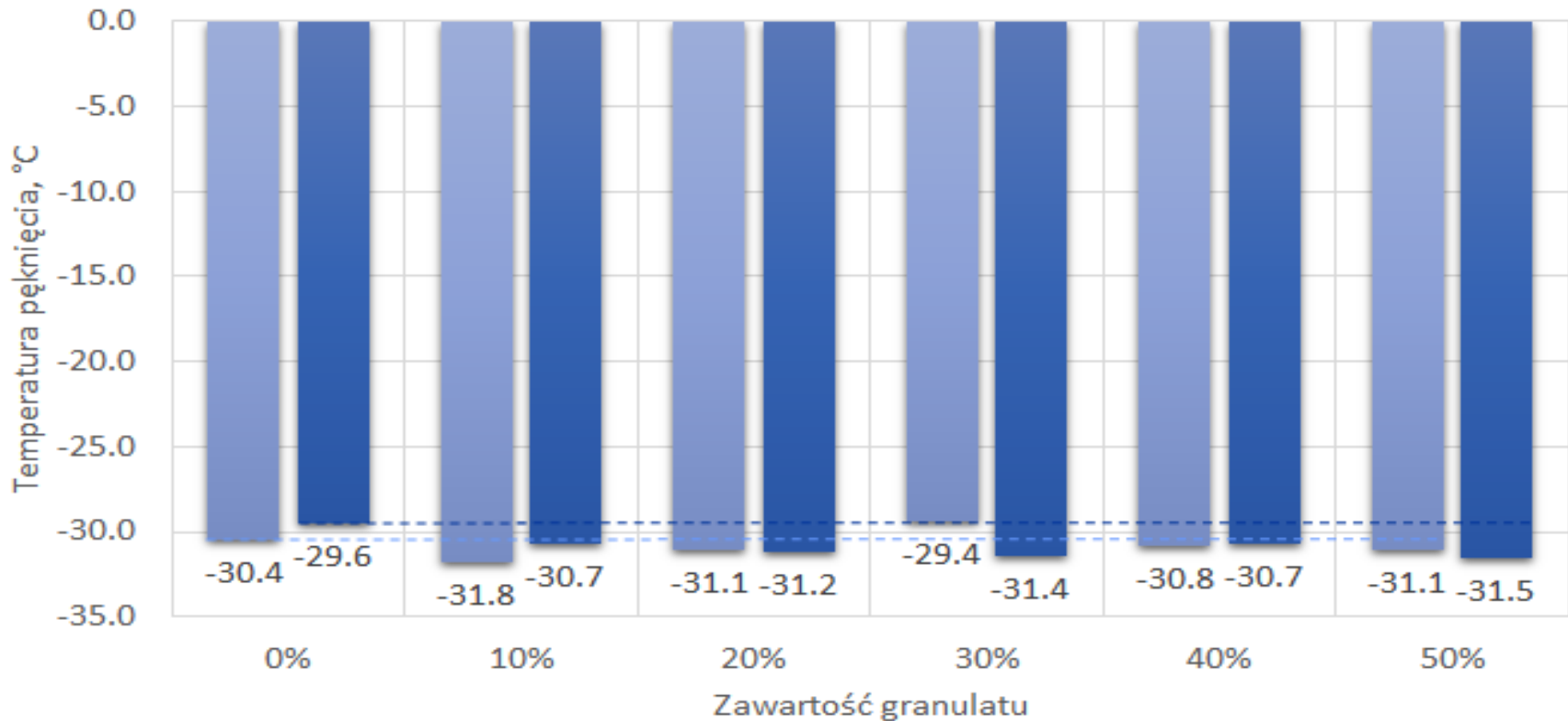


Odporność na pękanie niskotemperaturowe



Odporność na pękanie niskotemperaturowe

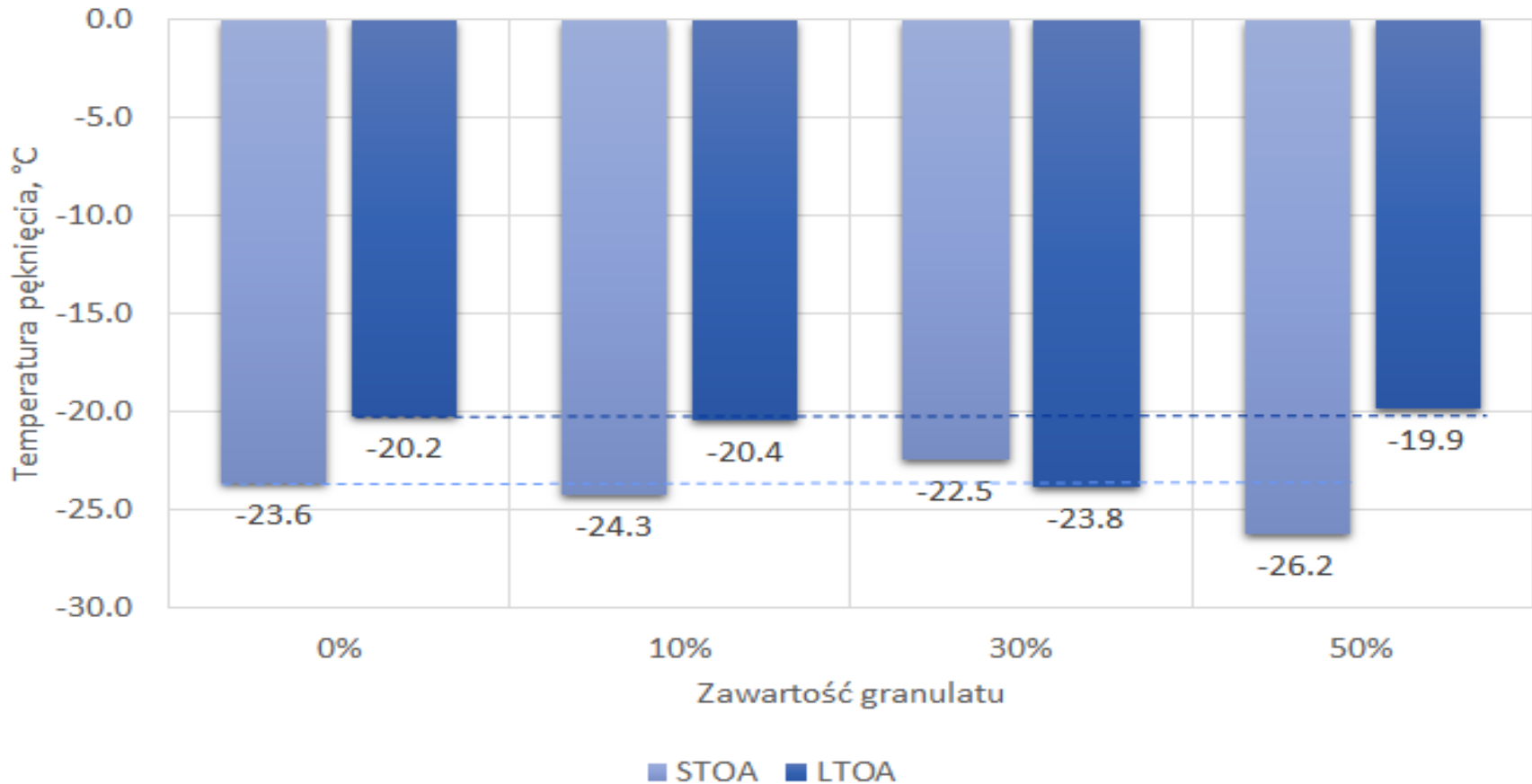
SMA 11 45/80-55



■ STOA ■ LTOA

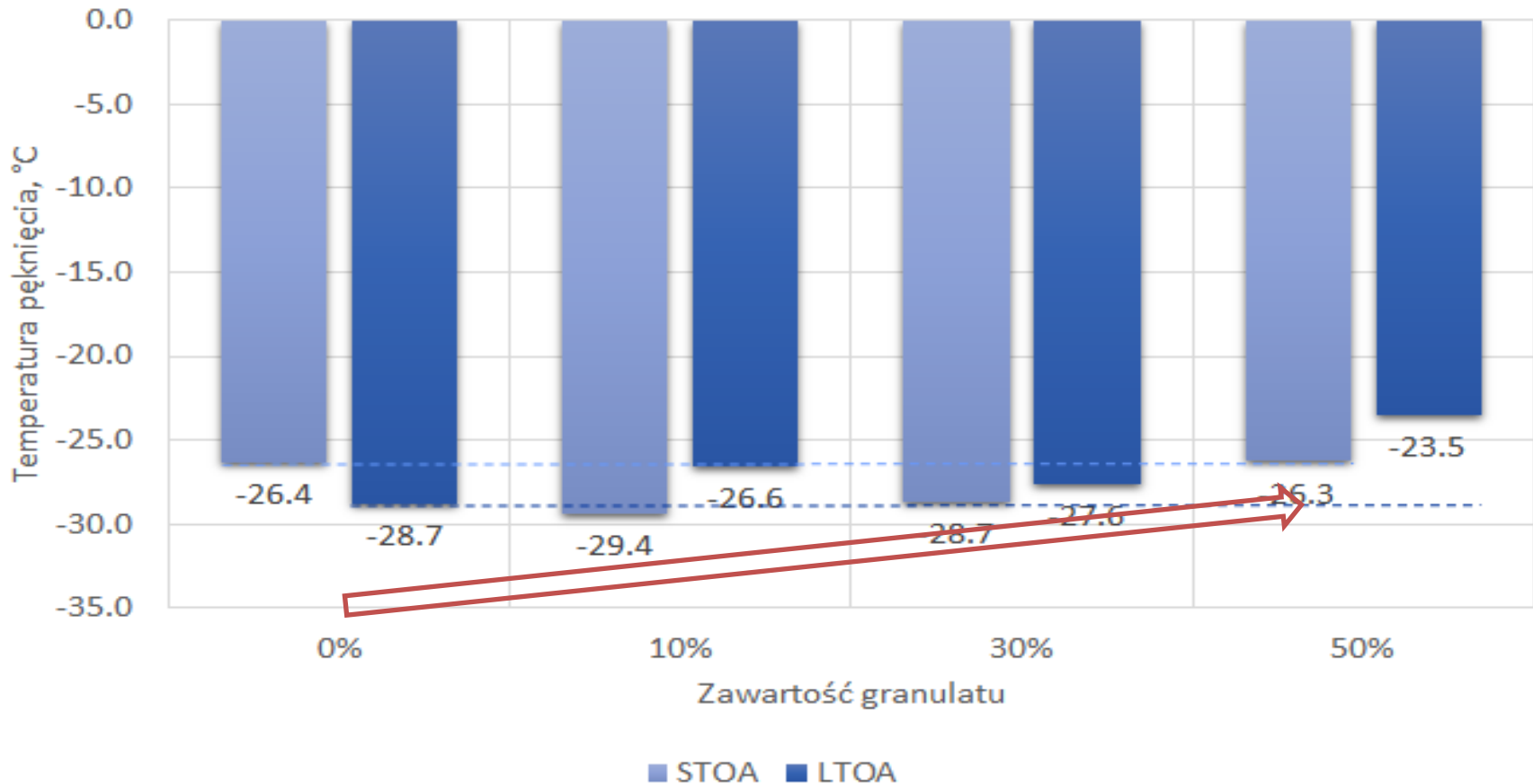
Odporność na pękanie niskotemperaturowe

AC16 W 35/50

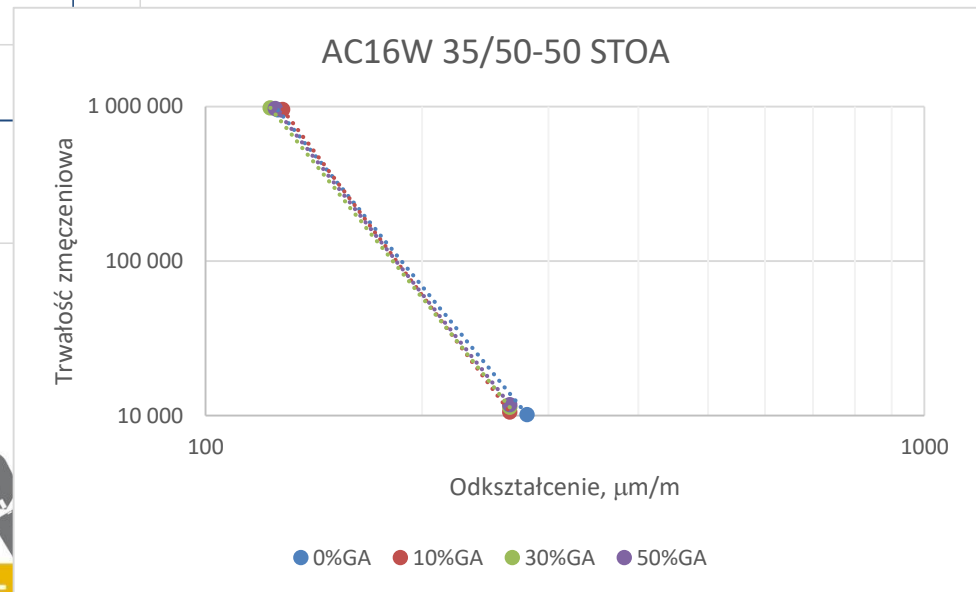
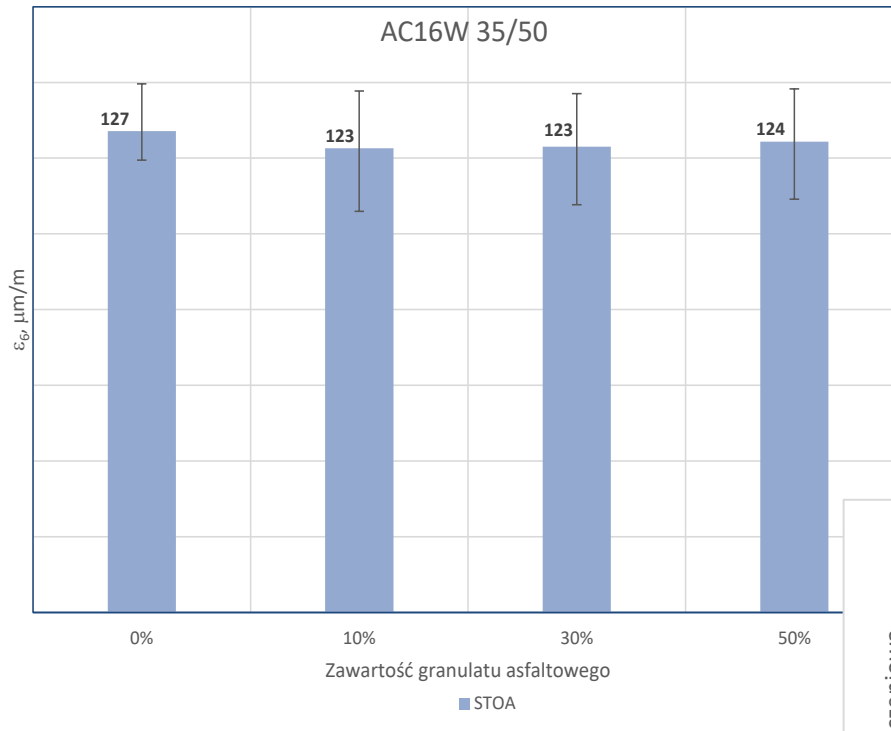


Odporność na pękanie niskotemperaturowe

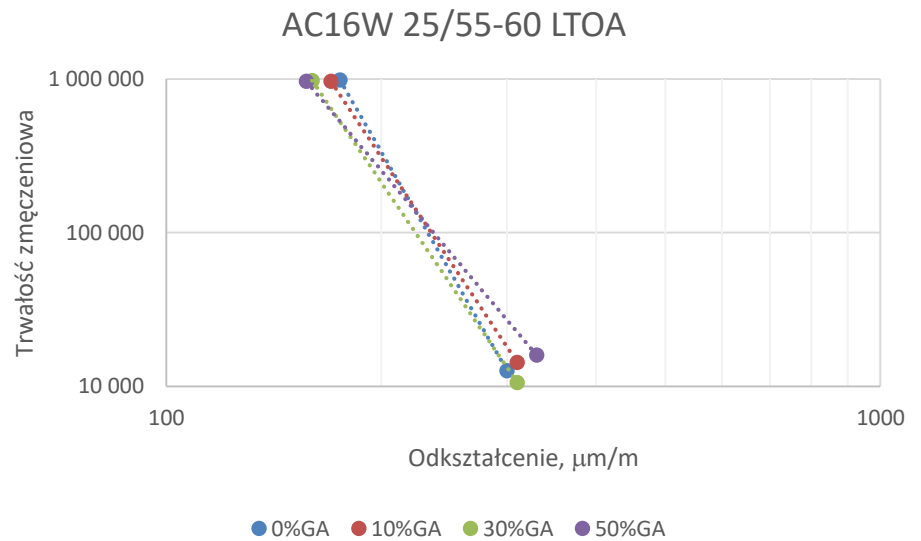
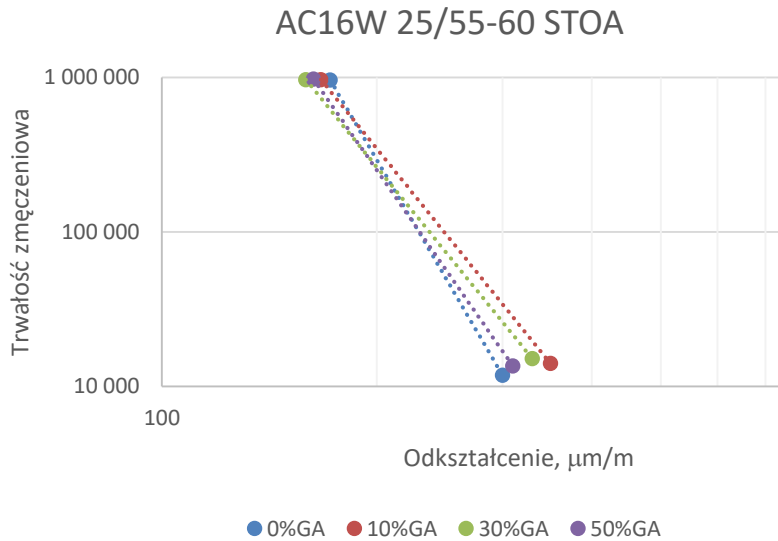
AC16 W 25/55-60



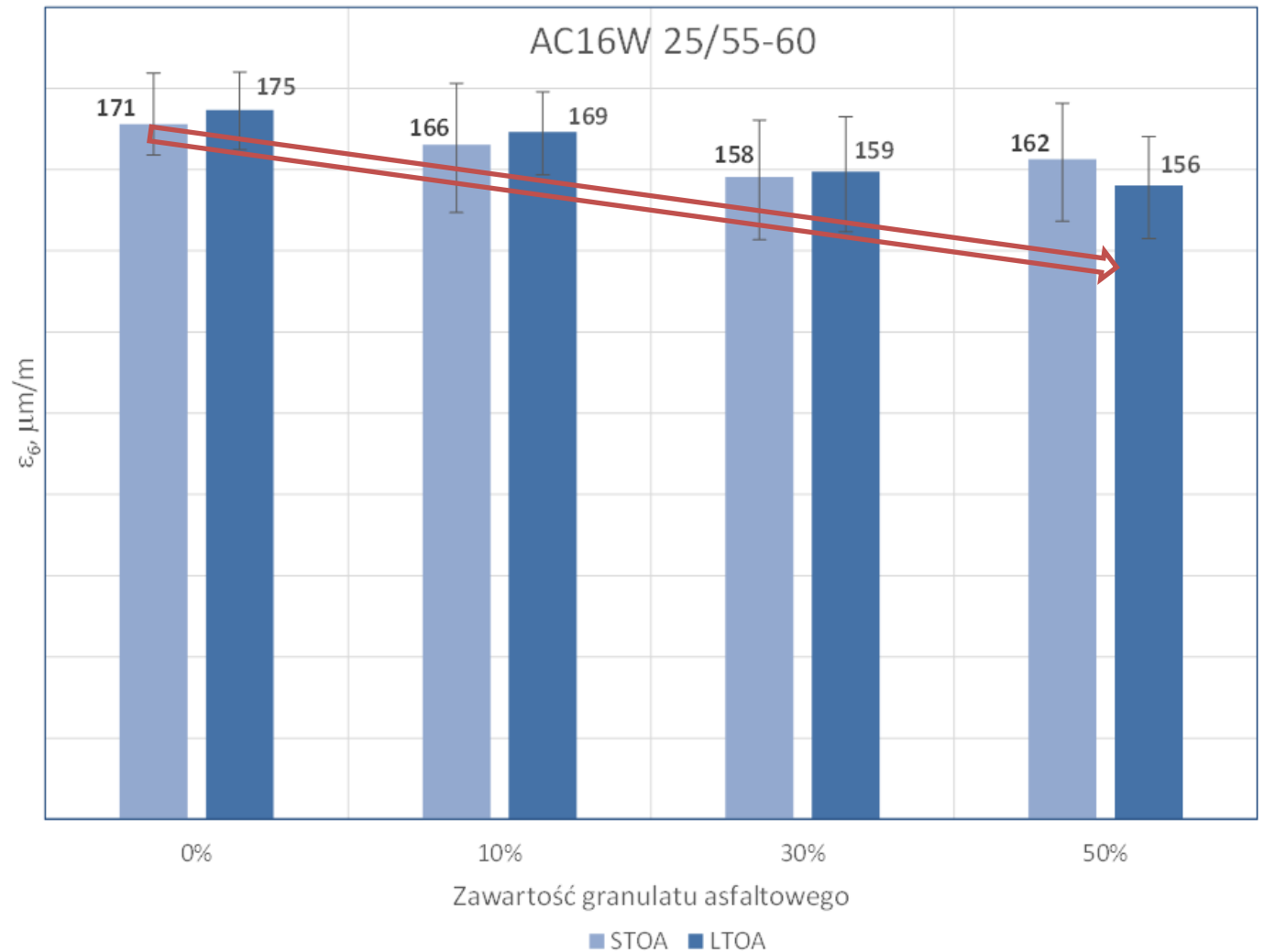
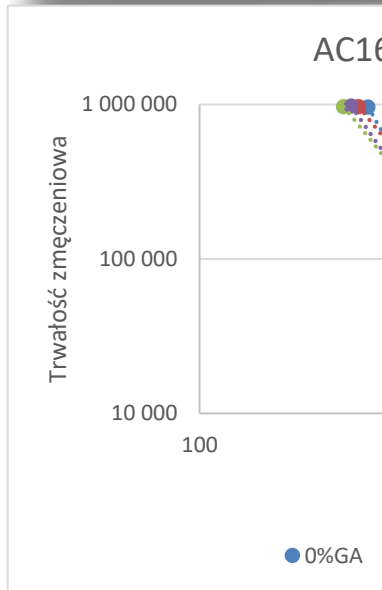
Trwałość zmęczeniowa



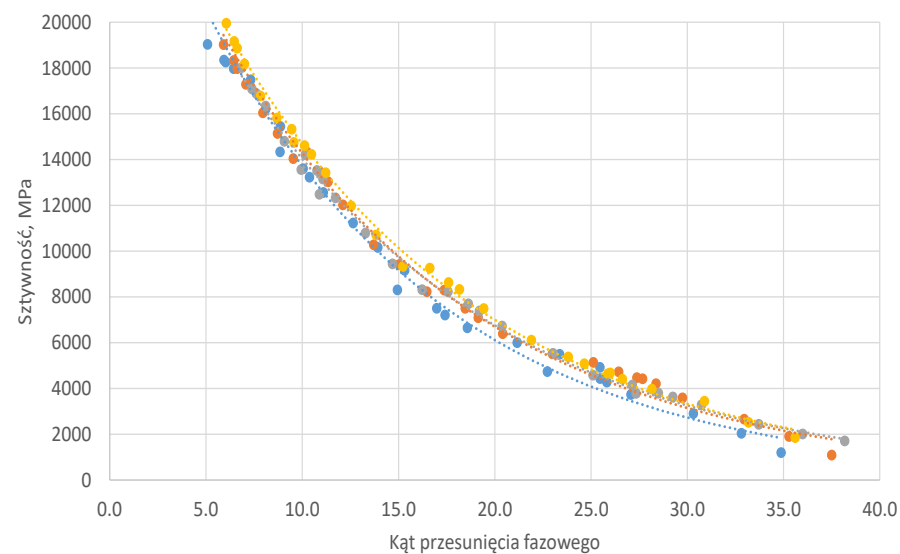
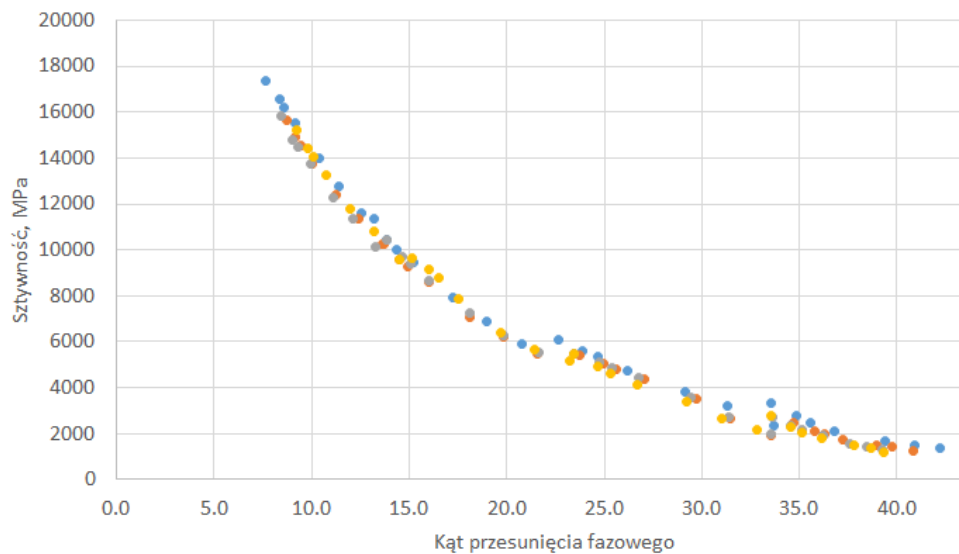
Trwałość zmęczeniowa



Trwałość zmęczeniowa

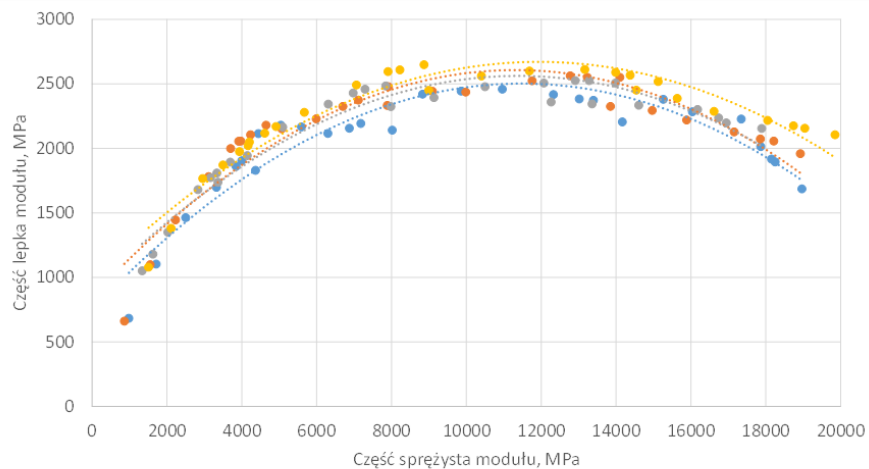


Zespolony moduł sztywności



- SMA11 50/70 STOA 0%GA
- SMA11 50/70 STOA 20%GA

- AC16W 35/50 10%GA STOA
- AC16W 35/50 50%GA STOA



- AC16W 35/50 0%GA STOA
- AC16W 35/50 10%GA STOA
- AC16W 35/50 30%GA STOA
- AC16W 35/50 50%GA STOA



Analiza trwałości konstrukcji

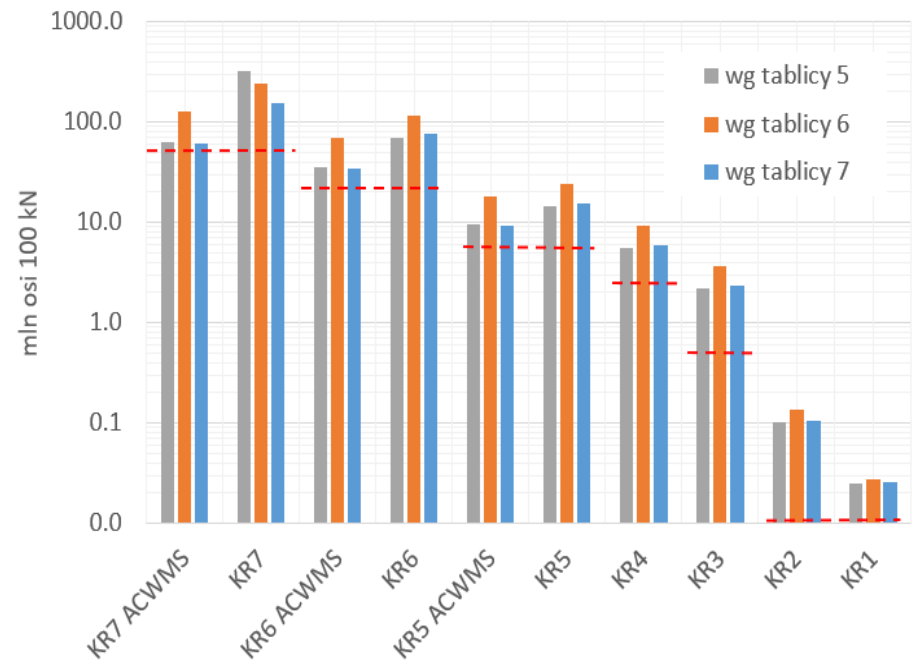
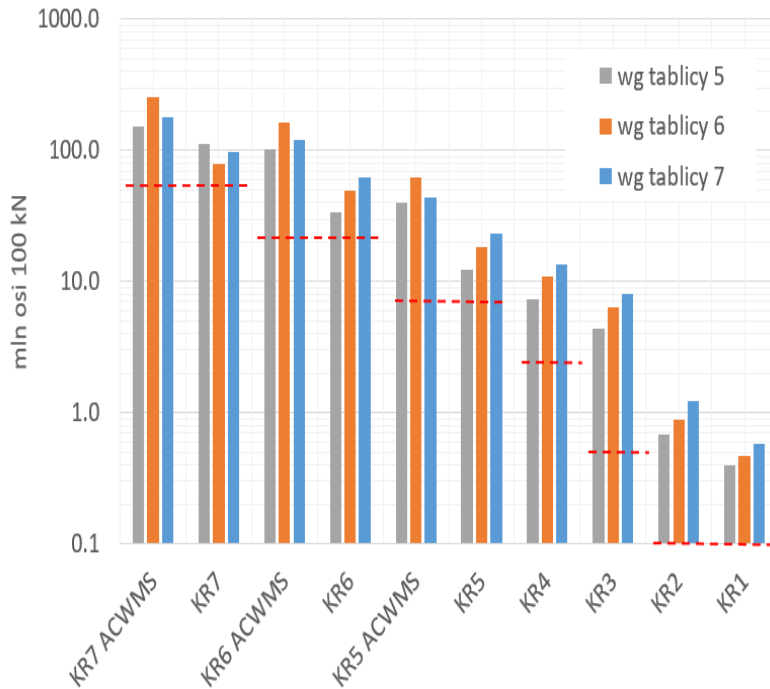
- Dalsze etapy projektu: wybór MMA do produkcji próbnej i odcinków testowych
- Analiza trwałości konstrukcji z MMA + GA
- Dane do obliczeń: wyniki badań laboratoryjnych z **walidacji produkcji**
- Mieszanki:
 - SMA 11 45/80-55 **30%GA**
 - AC11S 45/80-55 **15%GA**
 - ACWMS16 W/P 25/55-60 **50%GA**
 - AC16W 25/55-60 **50%GA**
 - AC22P 35/50 **50%GA**
- Typowe konstrukcje wg Katalogu

Konstrukcja KR5	Konstrukcja KR4	Konstrukcja KR3	Konstrukcja KR2	Konstrukcja KR1
7.4-Znieb osi 100 kN (20 wt)	2.5-7.4 mm osi 100 kN (20 wt)	0.5-2.5 mm osi 100 kN (20 wt)	0.09-0.5 mm osi 100 kN (20 wt)	0.03-0.09 mm osi 100 kN (20 wt)
SMA11 45/80-55 30%GA 4 cm AC16W 25/55-60 50% GA 8 cm AC22P 35/50 50%GA 12 cm	SMA11 45/80-55 30%GA 4 cm AC16W 25/55-60 50% GA 6 cm AC22P 35/50 50%GA 10cm	SMA11 45/80-55 30%GA 4 cm AC16W 25/55-60 50% GA 5 cm AC22P 35/50 50%GA 7cm	AC11S 45/80-55 15%GA 4 cm AC22P 35/50 50%GA 8cm	AC11S 45/80-55 15%GA 4 cm AC22P 35/50 50%GA 5cm
mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm	mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm	mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm	mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm	mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm
podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm	podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm	podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm	podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm	podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm
podcize G1	podcize G1	podcize G1	podcize G1	podcize G1

Konstrukcja KR7 ACWMS	Konstrukcja KR7	Konstrukcja KR6 ACWMS	Konstrukcja KR6	Konstrukcja KR5 ACWMS
× 52 mm osi 100 kN (20 wt)	× 52 mm osi 100 kN (20 wt)	22-52 mm osi 100 kN (20 wt)	22-52 mm osi 100 kN (20 wt)	7.4-Znieb osi 100 kN (20 wt)
SMA11 45/80-55 30%GA 4 cm ACWMS16 25/55-60 50%GA 8 cm ACWMS16 25/55-60 50%GA 16cm	SMA11 45/80-55 30%GA 4 cm AC16W 25/55-60 50% GA 8 cm AC22P 35/50 50%GA 16cm	SMA11 45/80-55 30%GA 4 cm ACWMS16 25/55-60 50%GA 8 cm ACWMS16 25/55-60 50%GA 16cm	SMA11 45/80-55 30%GA 4 cm AC16W 25/55-60 50% GA 8 cm AC22P 35/50 50%GA 16cm	SMA11 45/80-55 30%GA 4 cm ACWMS16 25/55-60 50%GA 8 cm ACWMS16 25/55-60 50%GA 12 cm
mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm	mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm	mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm	mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm	mieszanka niezwiązana z kruszywem C _{u11} 20 cm
podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm	podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm	podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm	podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm	podbudowa pomocnicza z mieszaną związaną spoiwem hydraulicznym 15 cm
podcize G1	podcize G1	podcize G1	podcize G1	podcize G1



Wyniki wg AASHTO 2004 i met. francuskiej



AASHTO 2004:

→ $N=f(\epsilon, E, h_{ac}, V_a, V_b)$

$$N_{asf} = 7,3557 * (10^{-6}) \cdot C \cdot k_1' \cdot (\epsilon_t^{-3,9492}) \cdot E^{-1,281}$$

Metoda francuska:

$N=f(\epsilon, E, \epsilon_6, b, k_{c,r,s})$

$$\epsilon_t = \epsilon_6 \cdot \left(\frac{N_{asf}}{10^6}\right)^b \cdot \left(\frac{E(10^\circ C)}{E(\theta)}\right)^{0.5} \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_s$$

Podsumowanie (1)

- Analizowane **materiały (GA/DA)** były **zróżnicowane** w zakresie składu, uziarnienia, właściwości asfaltu
- W zakresie przeprowadzonych badań **kruszywa** charakteryzowały się dobrymi właściwościami potwierdzając ich przydatność do MMA
- **Pełne badania kruszyw z GA/DA** są procesem bardzo czasochłonnym i kosztownym. Powinno się opierać na założeniu, że kiedyś zastosowano kruszywa o odpowiednich właściwościach. Badania w razie wątpliwości.
- **W zakresie asfaltu** istotnym czynnikiem jest zawartość asfaltu w GA/DA oraz jego właściwości
- **Równania empiryczne** do obliczania PIK i PEN mieszanin asfaltów są prawidłowe
- Istotnym parametrem jest tzw. **wskaźnik zastąpienia**, który jednocześnie zależy od zawartości GA jak i zawartości asfaltu rozpuszczalnego w GA
- **Wskaźnik zastąpienia** decyduje o właściwościach mieszaniny asfaltu starego i świeżego oraz maksymalnej zawartości GA.

Podsumowanie (2)

- **W projektowaniu „teoretycznym”** w zakresie wymagań uziarnienia dla MMA zasadniczo łatwe jest wprowadzanie GA w ilości do 40-50%, a nawet większej do 60-80%
- Głównymi czynnikami, które „utrudniają” projektowanie wg uziarnienia jest **zawartość frakcji do 0,063mm** i wskaźnik zastąpienia
- **Ostatecznie o możliwej ilości GA będą decydowały właściwości fizyczne i mechaniczne MMA**
- Istotna rola badań funkcjonalnych

Podsumowanie (3)

- Przeprowadzone badania MMA wykazały, że jest możliwe zaprojektowanie MMA o zwiększonej zawartości GA (nawet do 50-60%)
- Badania funkcjonalne potwierdziły dobre właściwości MMA z GA w zakresie trwałości zmęczeniowej, odporności niskotemperaturowej, sztywności
- Widoczny jest **wpływ asfaltu modyfikowanego z GA** na właściwości MMA i wartość „binder replacement”
- Starzenie długoterminowe ma niewielki wpływ na właściwości MMA
- **Analizy mechanistyczne** trwałości konstrukcji pozwalają pozytywnie ocenić przydatność MMA z GA do zastosowania w typowych konstrukcjach nawierzchni podatnych
- Co dalej w projekcie InnGA?

Wdrożenie

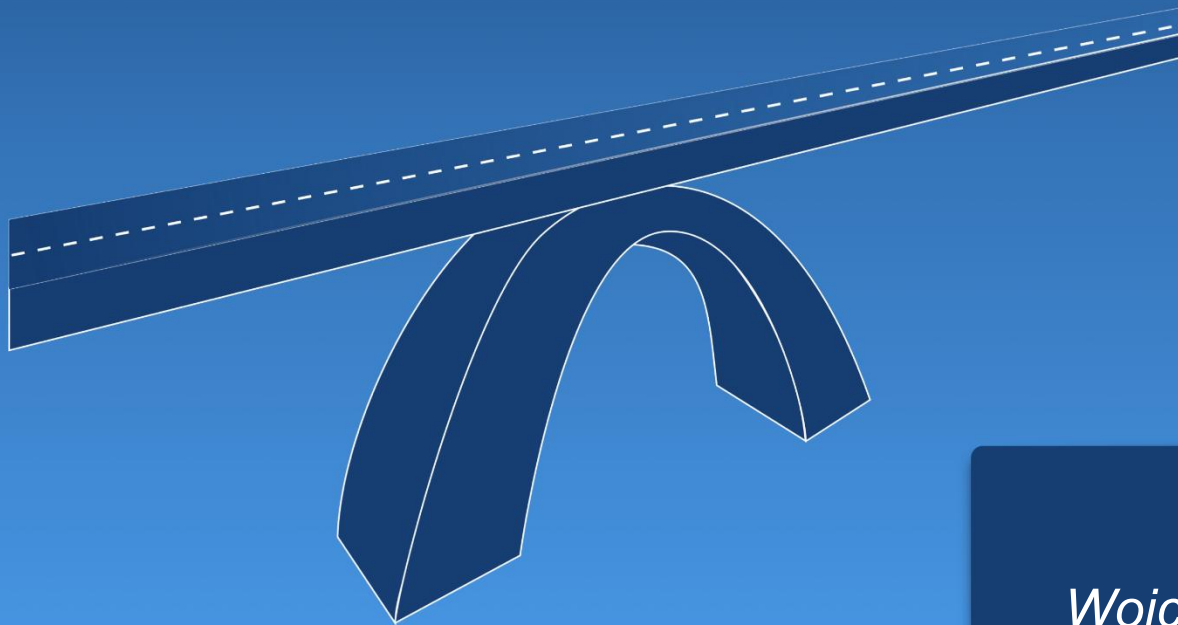
Odcinki testowe



Dziękuję za uwagę



INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE



Wojciech Bańkowski
wbankowski@ibdim.edu.pl