



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

# **Ograniczenia w stosowaniu granulatu asfaltowego w mieszankach mineralno- asfaltowych produkowanych na gorąco**

**dr inż. Jacek Alenowicz  
dr inż. Bohdan Dołżycki**

**Politechnika Gdańska**

# Przyczyny ograniczeń

Ograniczenia w stosowaniu granulatu asfaltowego:

- Praktyczne
- Ekonomiczne
- Technologiczne
- Techniczne

Przyczyny techniczne i technologiczne są powodem ograniczeń formalnych.

# Przyczyny praktyczne

- Dostępność destruktu → granulatu
- Realna potrzeba zwiększenia udziału granulatu w mm-a

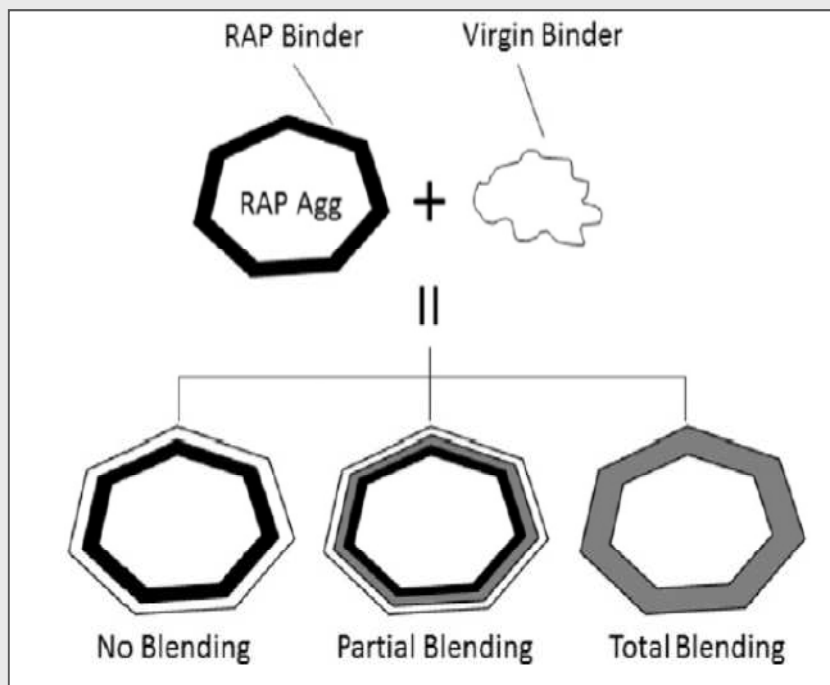
# Przyczyny ekonomiczne

Opłacalność działań umożliwiających wzrost udziału granulatu w mm-a :

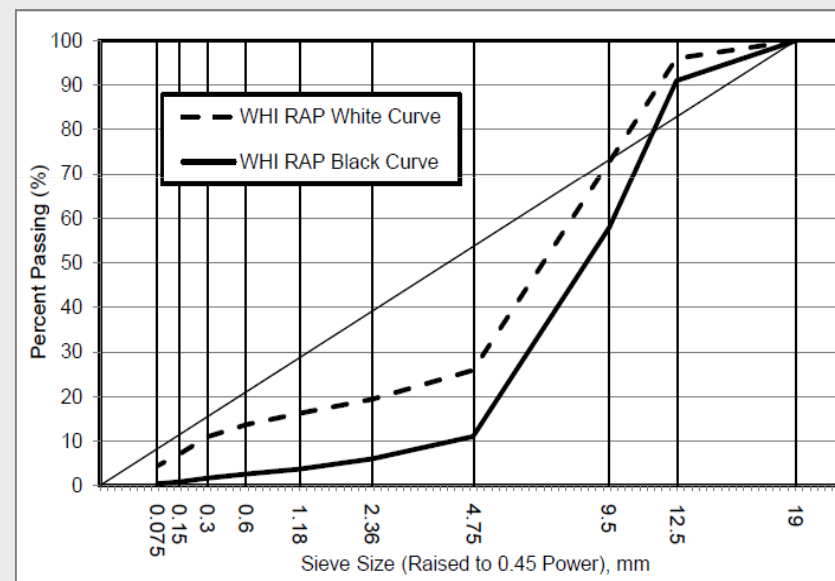
- inwestycje w sprzęt,
- uszlachetnianie granulatu – granulacja, frakcjonowanie,
- selektywne składowanie (powierzchnia)
- liczba i koszt badań granulatu

# Przyczyny technologiczne

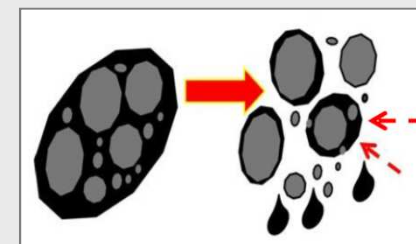
Możliwość uzyskania jednorodnej mieszanki lepiszczy oraz mieszanki mineralnej.



Źródło: Zhao i wsp. (2016)

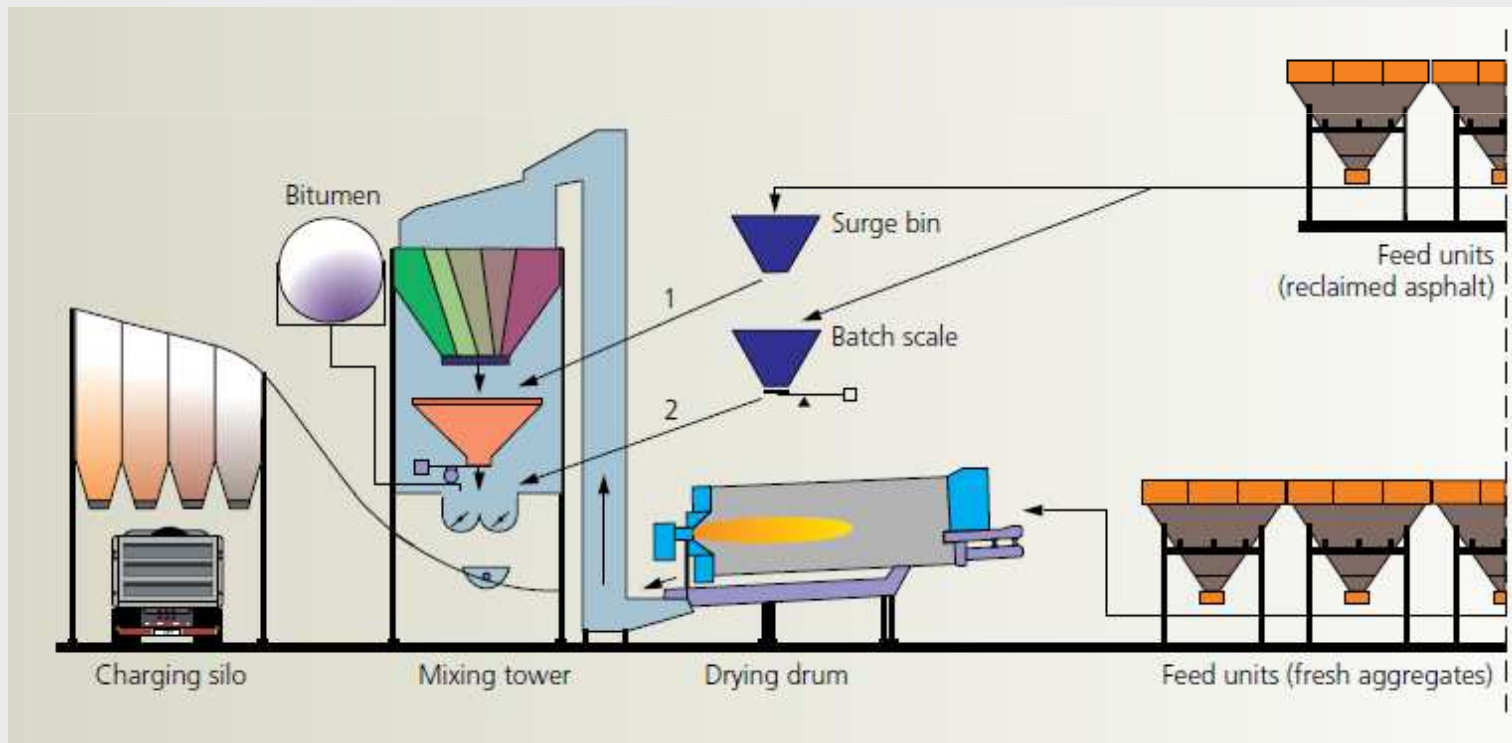


Źródło: Roque i wsp. (2015)



## Otaczarki cykliczne - dwie technologie:

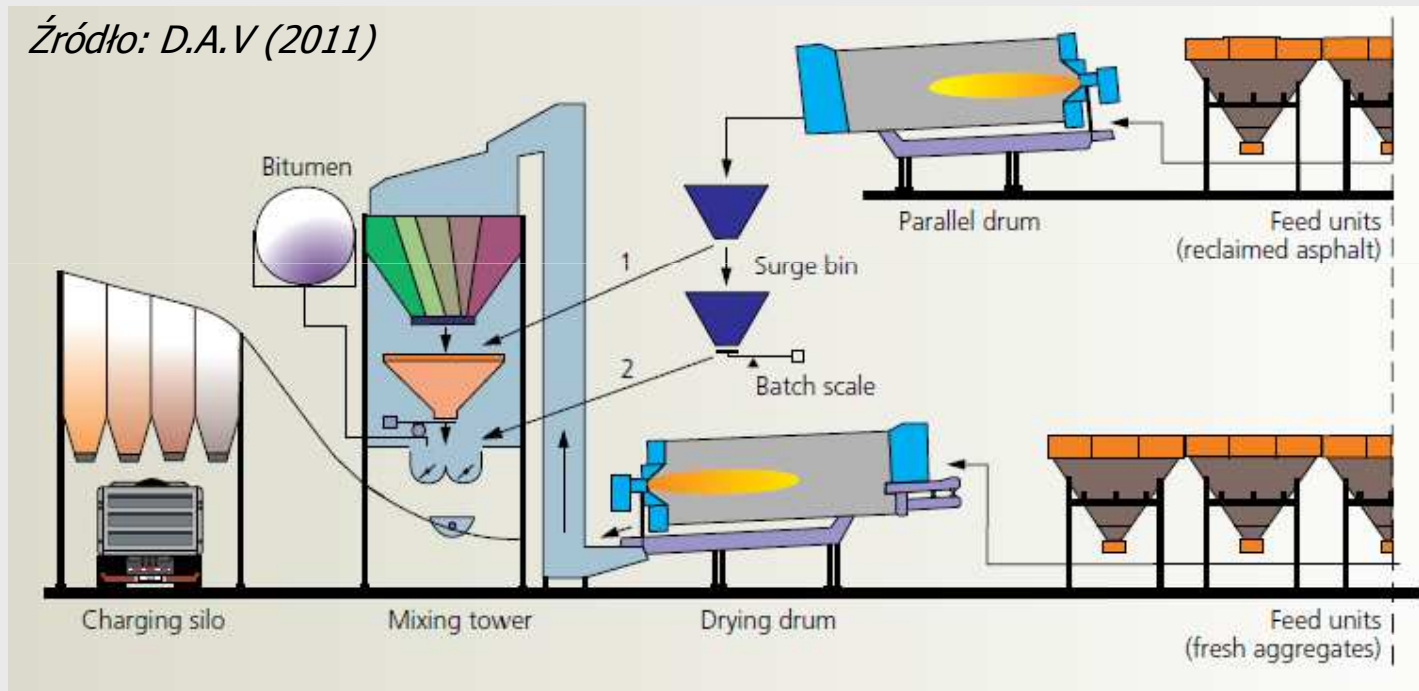
1. Metoda „wymiany ciepła” – dozowanie zimnego granulatu; praktycznie do 20%



# Przyczyny technologiczne

2. Użycie „gorącego bębna”- dozowanie wstępnie ogrzanego granulatu; do 40 – 50%

Źródło: D.A.V (2011)



Wpływ ilości granulatu na wydajność wytwórni – czynnik ekonomiczny.

# Przyczyny techniczne

1. Właściwości i jakość granulatu:
  - Udokumentowane pochodzenie
  - Warstwa nawierzchni – pochodzenie i przeznaczenie
  - Jednorodność
  - Rodzaj i twardość asfaltu (zawartość w granulacie)
  - Właściwości kruszywa
  - Uziarnienie kruszywa (gł. frakcje drobne)
  - Zawartość materiałów obcych
2. Wpływ jakości granulatu na właściwości mm-a



## Charakterystyka hałdy granulatu:

1. Udokumentowane pochodzenie; materiał z jednej warstwy
2. Udokumentowane pochodzenie; materiał z więcej niż jednej warstwy
  - pozyskany łącznie
  - pozyskany oddzielnie i łączony na hałdzie
3. Nieudokumentowane pochodzenie

Konsekwencje – ograniczenia w stosowaniu

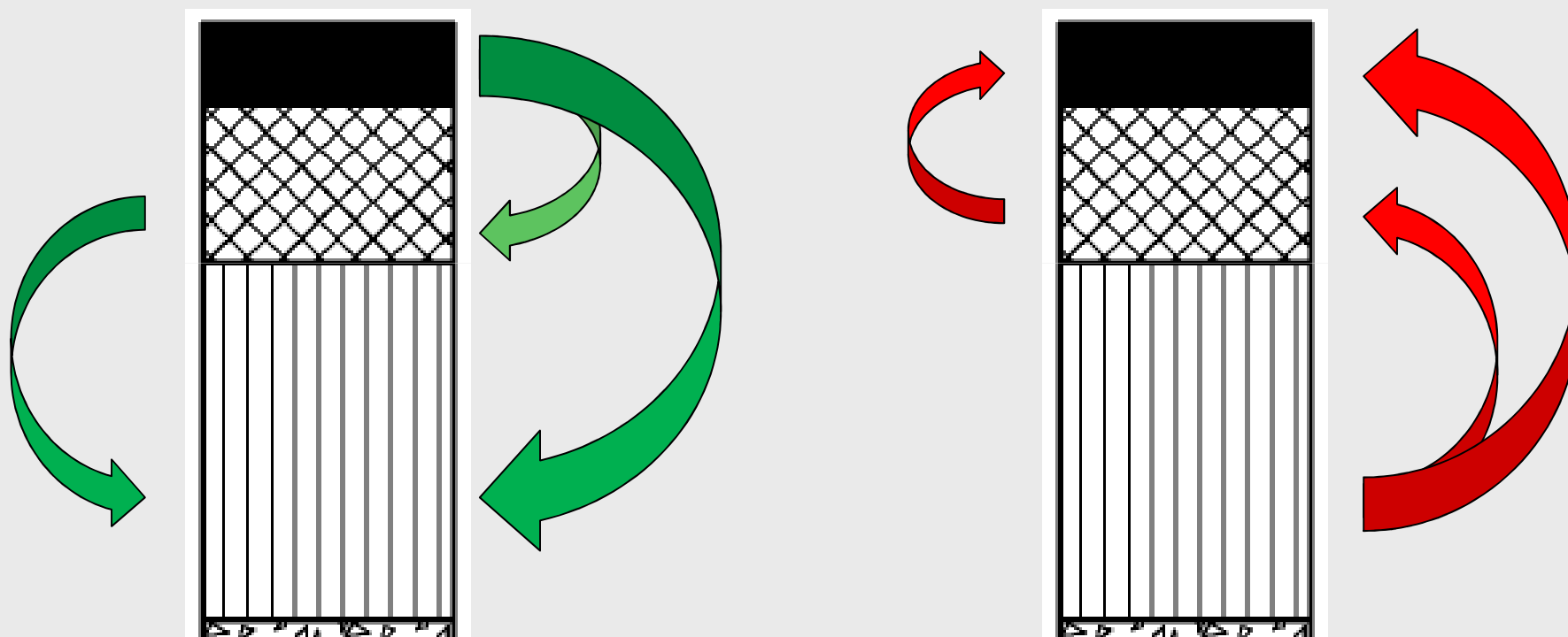
# Pochodzenie granulatu (2)

## Przykład przepisów DT ze stanu Iowa (USA)

Granulat asfaltowy sklasyfikowany	Granulat asfaltowy certyfikowany	Granulat asfaltowy niesklasyfikowany
<p><u>Wymagania:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Udokumentowane pochodzenie</li> <li>• Wysoka jakość kruszywa</li> <li>• Selektywne składowanie</li> <li>• Spełnia wymagania kontroli jakości</li> </ul>	<p><u>Wymagania:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pochodzenie nie jest udokumentowane</li> <li>• Niższa jakość kruszywa</li> <li>• Słabe warunki składowania</li> <li>• Spełnia wymagania kontroli jakości</li> </ul>	<p><u>Wymagania:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pochodzenie nie jest udokumentowane</li> <li>• Jakość kruszywa niższa lub nieznaną</li> <li>• Słabe warunki składowania</li> <li>• Brak kontroli jakości</li> </ul>
<p><u>Dopuszczalne zastosowanie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Do 15% w warstwie ścieralnej</li> <li>• Bez ograniczeń w innych warstwach</li> <li>• Minimum 70% nowego lepszca w mm-a</li> </ul>	<p><u>Dopuszczalne zastosowanie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Do 10% w w-wie ścieralnej; ruch do 300.000 osi</li> <li>• Do 20% w w-wie wiążącej; ruch do 1 mln osi</li> <li>• Do 20% w w-wie podbudowy; ruch bez ograniczenia</li> </ul>	<p><u>Dopuszczalne zastosowanie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedopuszczalny w w-wie ścieralnej bez względu na ruch</li> <li>• Do 10% w w-wie wiążącej; ruch do 1 mln osi</li> <li>• Do 10% w w-wie podbudowy; ruch bez ogr.</li> </ul>

# Warstwa nawierzchni (1)

Ogólnie:



Decydują głównie cechy kruszywa

## Przykład - Niemcy

Pochodzenie granulatu asfaltowego	Typ/przeznaczenie mieszanki mineralno-asfaltowej					
	SMA	AC w-wa ścieralna	AC w-wa wiążąca	AC w-wa podbudowy zasadniczej	AC połączone w-wy ścieralna i podbudowa	AC w-wa nośna ( <i>foundation course</i> )
SMA						
AC w-wa ścieralna	<b>niedopuszczalne</b>	<b>zalecane</b>		<b>dopuszczalne jednak ograniczenie korzyści</b>		
AC połączone w-wy ścieralna i wiążąca						
AC w-wa wiążąca						
AC w-wa podbudowy zasadniczej oraz AC połączone w-wy ścieralna i podbudowa		<b>ograniczenia dodatkowe badania</b>				
AC w-wa nośna ( <i>foundation course</i> )						

# Jednorodność granulatu (1)

Ocenie podlega hałda granulatu i zgromadzony na niej materiał.

Podstawowa ocena próbek granulatu:

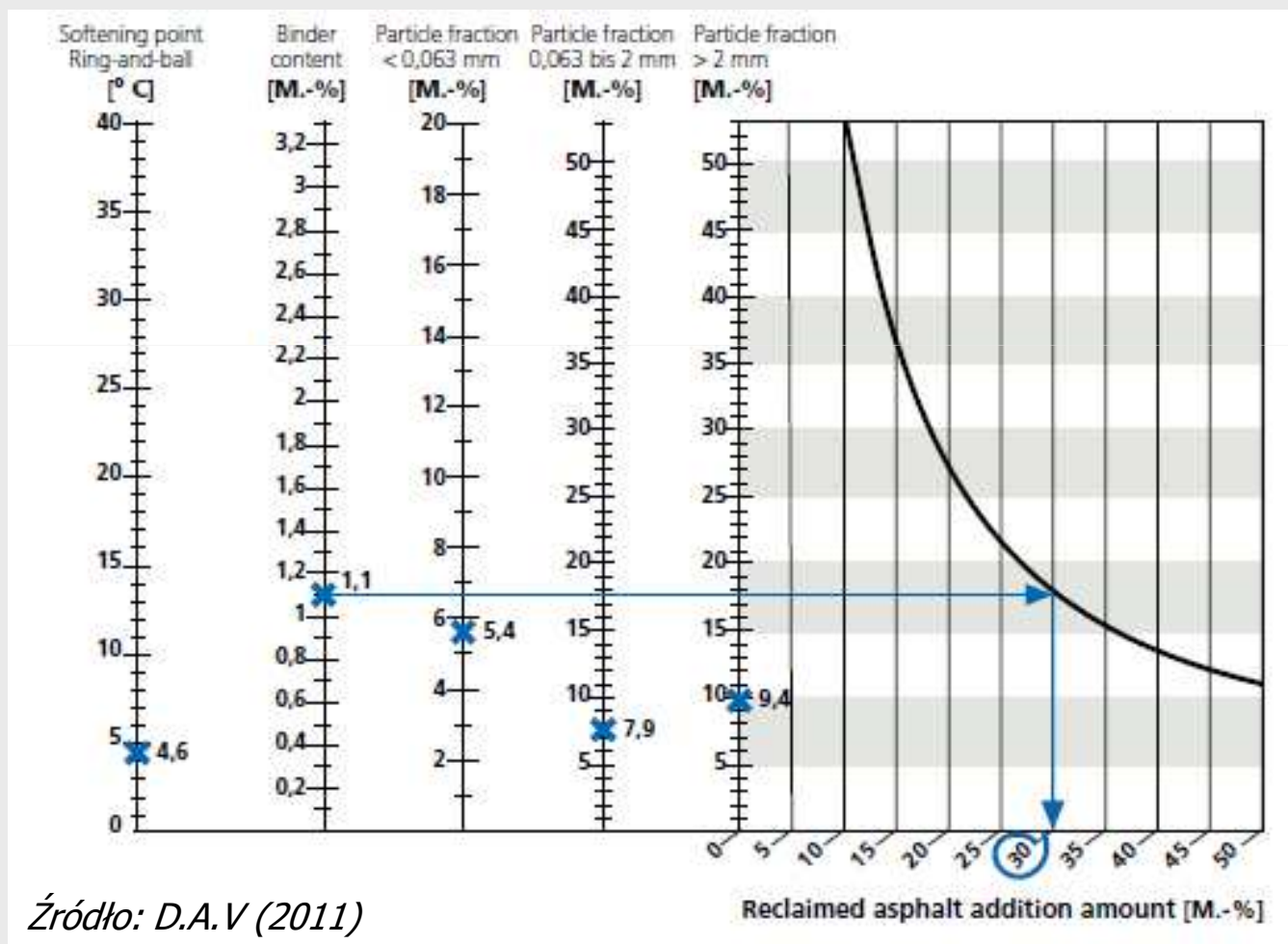
- Zawartość lepiszcza (plus np. PiK, pen)
- Uziarnienie kruszywa – udział frakcji lub grup frakcji

Ocenie można poddać:

- Rozstęp wyników badań
- Odchylenie standardowe wyników badań

# Jednorodność granulatu (2)

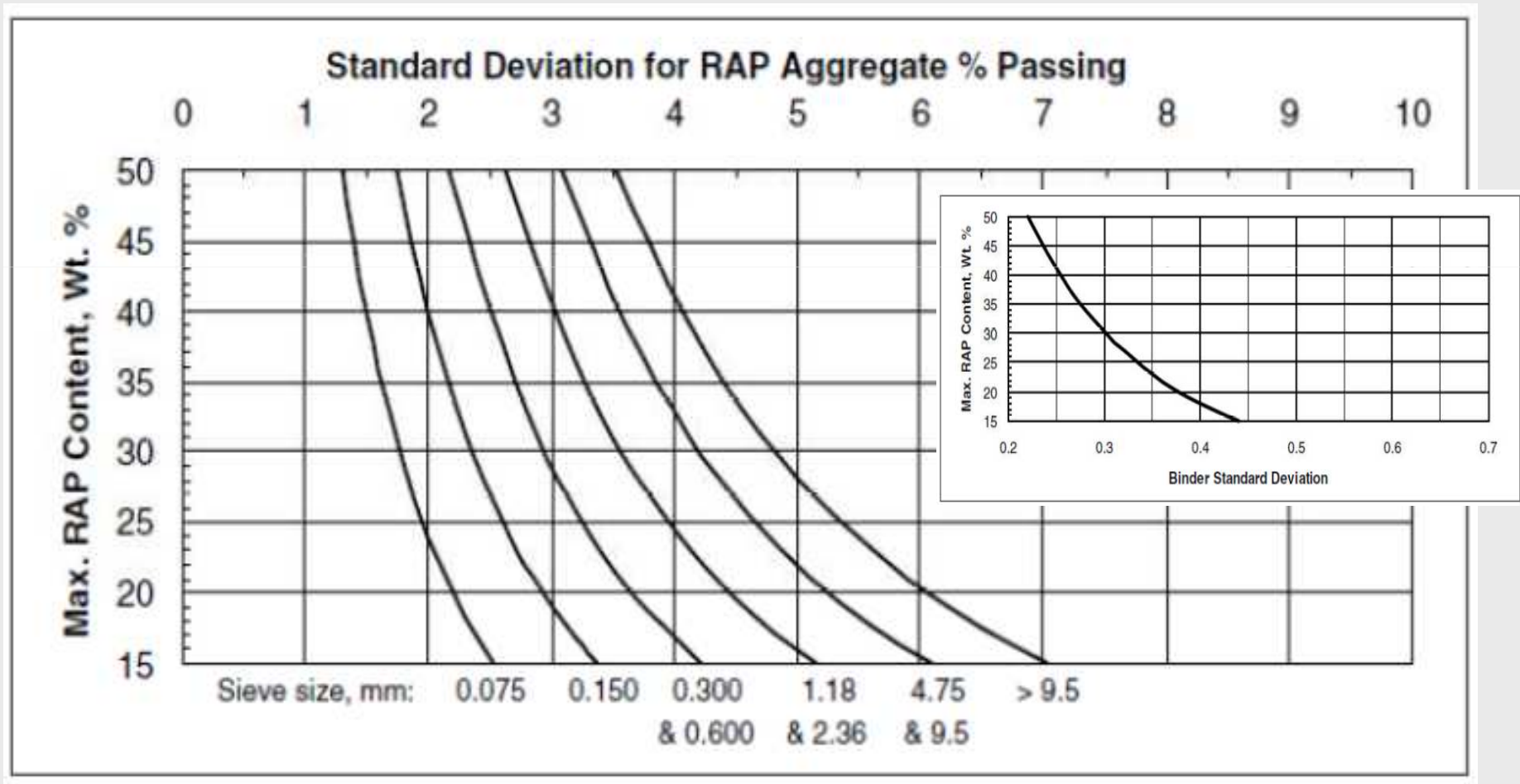
## Przykład - Niemcy



**Nomogram do określania maksymalnej zawartości granulatu w warstwie ścieralnej i wiążącej**

# Jednorodność granulatu (3)

Przykład – poradnik NCHRP (USA), 2011



Dopuszczalna zawartość granulatu jako funkcja odchylenia standardowego wyników badań

# Lepiszczce (1)

1. Rodzaj lepiszcza – asfalt drogowy czy polimeroasfalt (obecność smoły?)
2. Ograniczenia wynikają z wysokiej twardości lepiszcza będącej skutkiem starzenia
3. Ocena na podstawie:
  - penetracji (Europa, Japonia)
  - temperatury mięknięcia (Europa)
  - lepkości (Australia, USA)
  - temperatur do klasyfikacji PG (USA)



# Lepiszczce (2)

Minimalna penetracja wg PN-EN:

- Średnia 15 j.pen
- Pojedynczy pomiar 10 j.pen

W niektórych krajach:

- Polska, Wlk. Brytania, Irlandia – j.w.
- Francja – 5 j.pen
- Belgia – 10 j.pen
- Japonia – 20 j.pen

# Lepiszczce (3)

Maksymalna temperatura mięknienia PiK, wg PN-EN:

- Średnia 70 j.pen
- Pojedynczy pomiar 77 j.pen

W niektórych krajach:

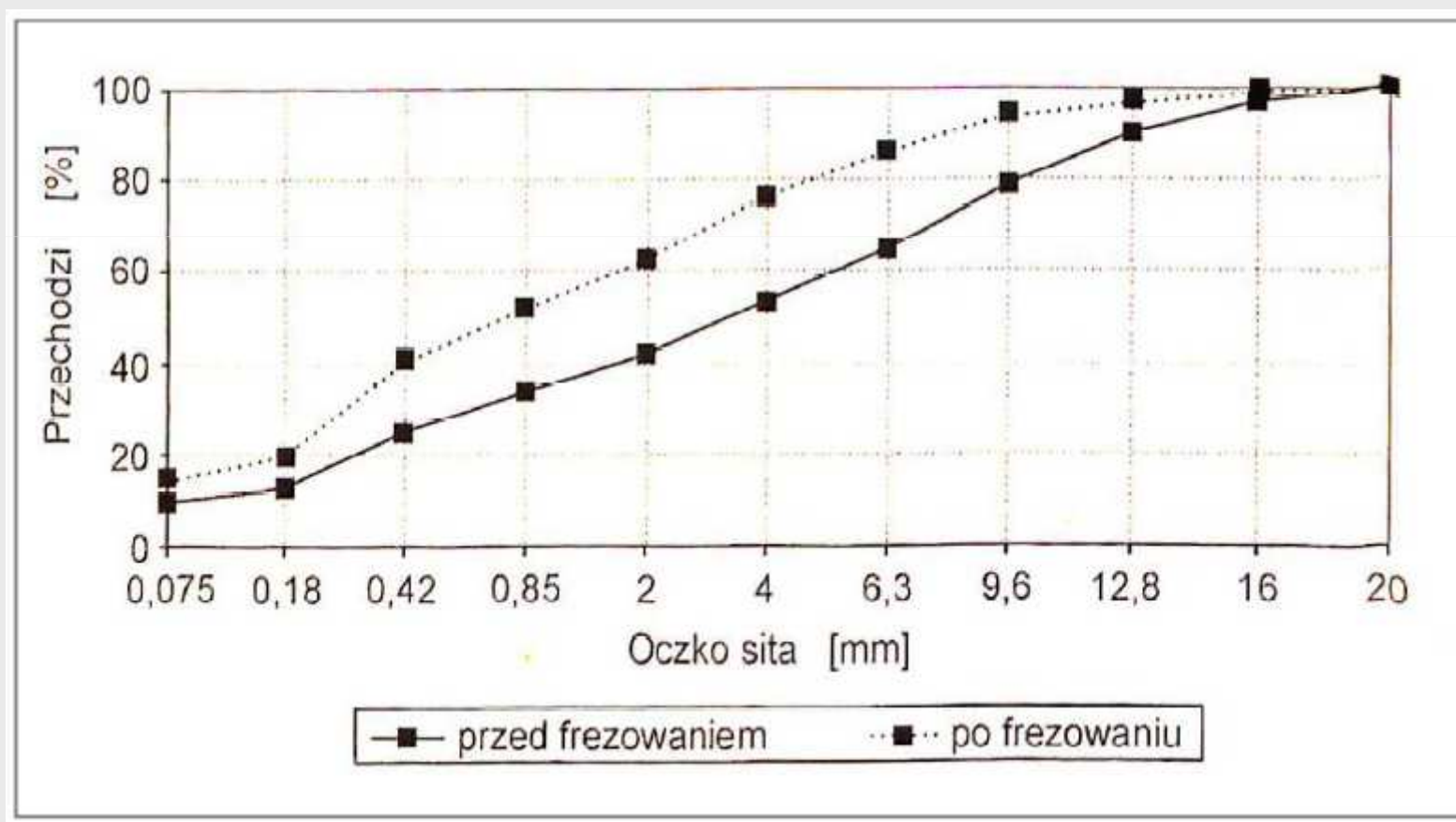
- Polska, Słowenia – j.w.
- Wlk. Brytania, Irlandia, Belgia – brak tego warunku
- Francja – 77 j.pen

# Kruszywo (1)

1. Ograniczenia mogą wynikać z:
  - Istotnej różnicy w uziarnieniu kruszywa w granulacie i mm-a (np. SMA → AC)
  - Nadmiaru frakcji drobnych
  - Właściwości kruszywa
2. Właściwości kruszywa:
  - są ograniczeniem w przypadku braku danych o pochodzeniu granulatu
  - mogą być ograniczeniem w przypadku zmiany: *pochodzenie* → *przeznaczenie*

# Kruszywo (2)

Zawartość frakcji drobnych wzrasta w czasie frezowania warstwy i granulacji destruktu



# Zawartość materiałów obcych

1. Dwie grupy materiałów obcych:
  - Grupa 1: beton cementowy i wykonane z niego wyroby, zaprawy cementowe, cegły, materiały pochodzące z podbudów drogowych, z wyłączeniem kruszywa naturalnego
  - Grupa 2: materiały syntetyczne, drewno, tworzywa sztuczne
2. Kategorie:
  - **F1 – maksymalnie 1%/0,1%**
  - F5 – maksymalnie 5%/1,0%
  - $F_{dec}$  – rodzaj i zawartość materiałów obcych są deklarowane

1. Właściwości mm-a z granulatem powinny być nie gorsze niż mm-a z nowych materiałów
2. Ocena na podstawie następujących właściwości:
  - Moduł sztywności,
  - Odporność na deformacje trwałe,
  - Odporność na spękania termiczne,
  - Trwałość zmęczeniowa,
  - Odporność na działanie wody
3. Wykonuje się również badanie Marshalla (np. Japonia)

1. Wpływ granulatu na właściwości mm-a jest zróżnicowany
2. Ogólnie ze wzrostem udziału granulatu:
  - Moduł sztywności - wzrost
  - Odporność na deformacje trwałe - poprawa
  - Odporność na spękania – pogorszenie
  - Trwałość zmęczeniowa – bez zmian lub pogorszenie
  - Odporność na działanie wody – bez zmian

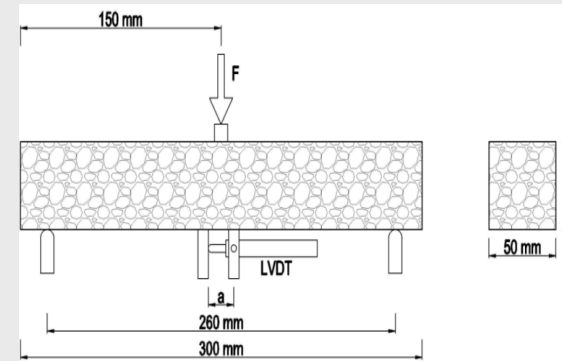
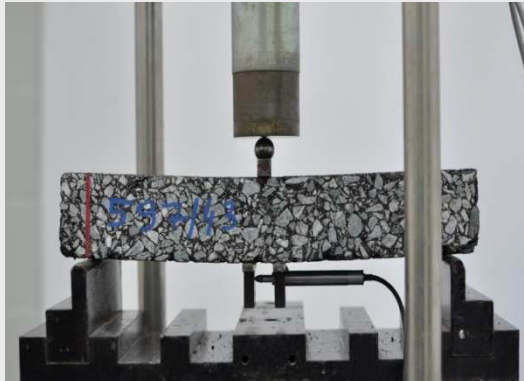
# Właściwości mm-a z granulatem (3)

Badania laboratoryjne mieszanek mineralno asfaltowych z granulatem.

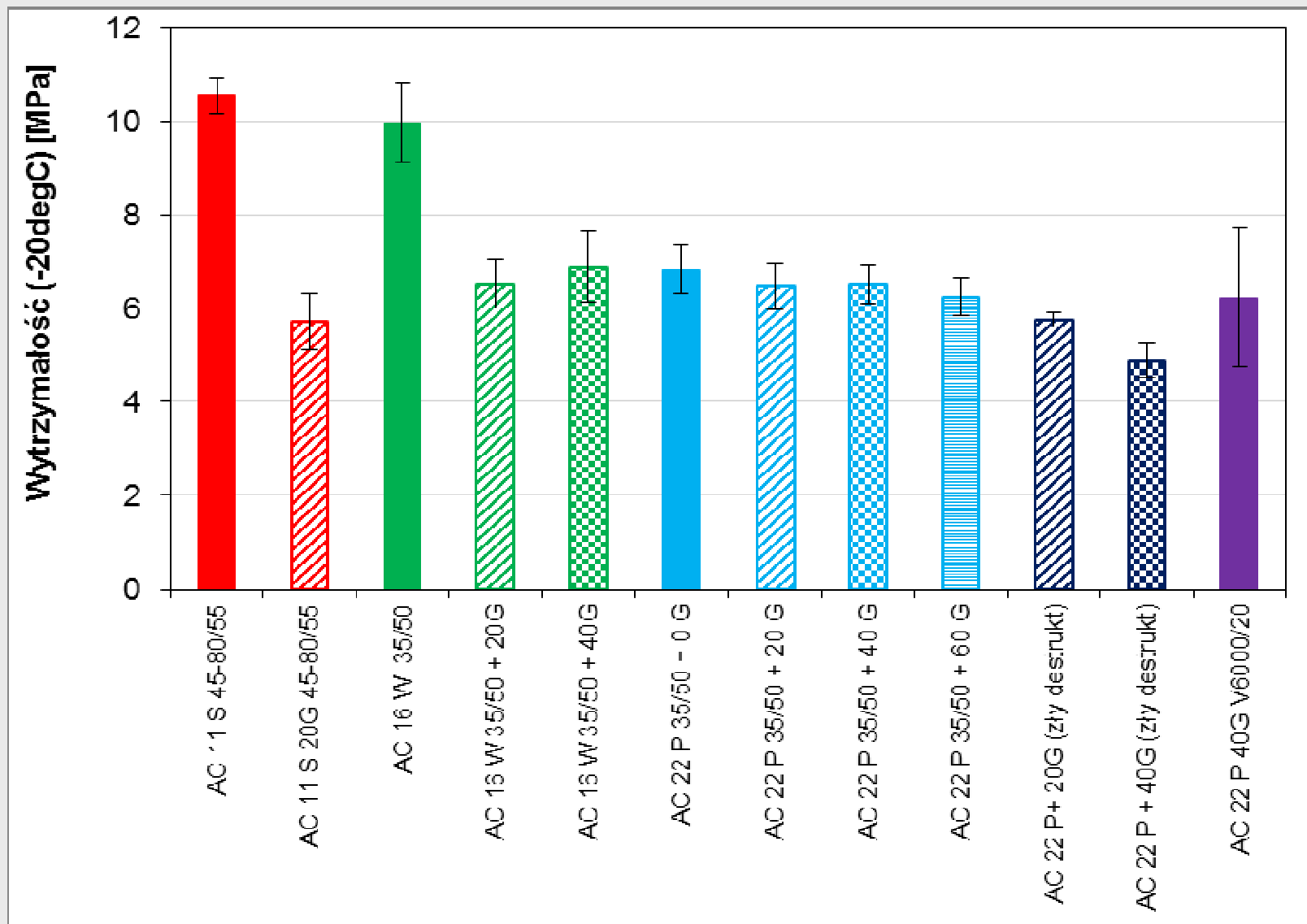
Rodzaj mieszanek	Ilość destruktu w mma
Warstwa ścieralna AC 11S	0, 20 %
Warstwa wiążąca AC 16W	0, 20, 40 %
Warstwa podbudowy AC 22P	0, 20, 40, 60 %
Wpływ rodzaju destruktu jeden „Dobry” + jeden „zły”, tylko na AC 22P	20, 40, 60 % - dobry 20, 40 % - zły
Wpływ rodzaju środka recyklującego, tylko na AC 22P- destruktu „zły”	40 %



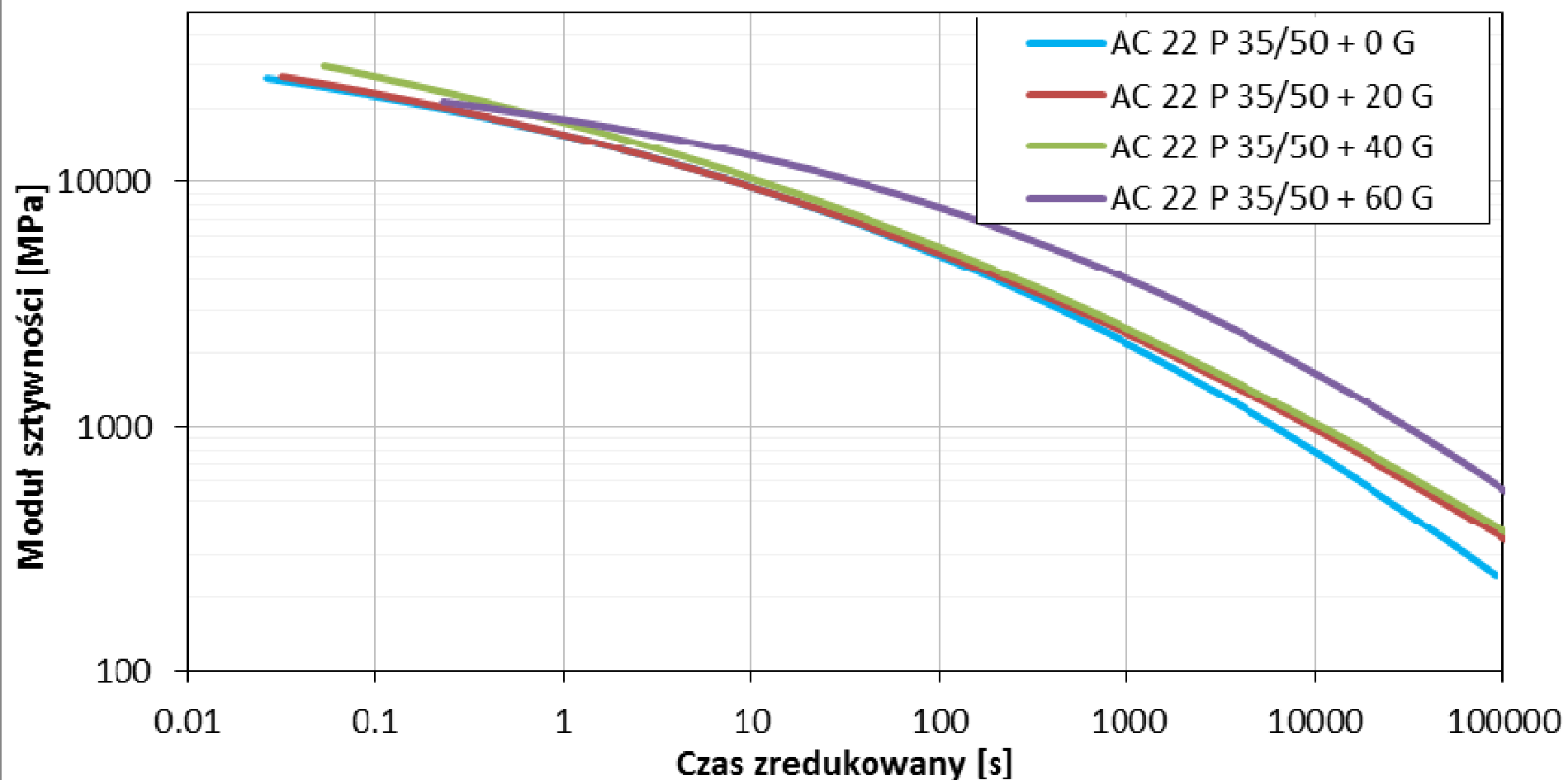
# Zginanie



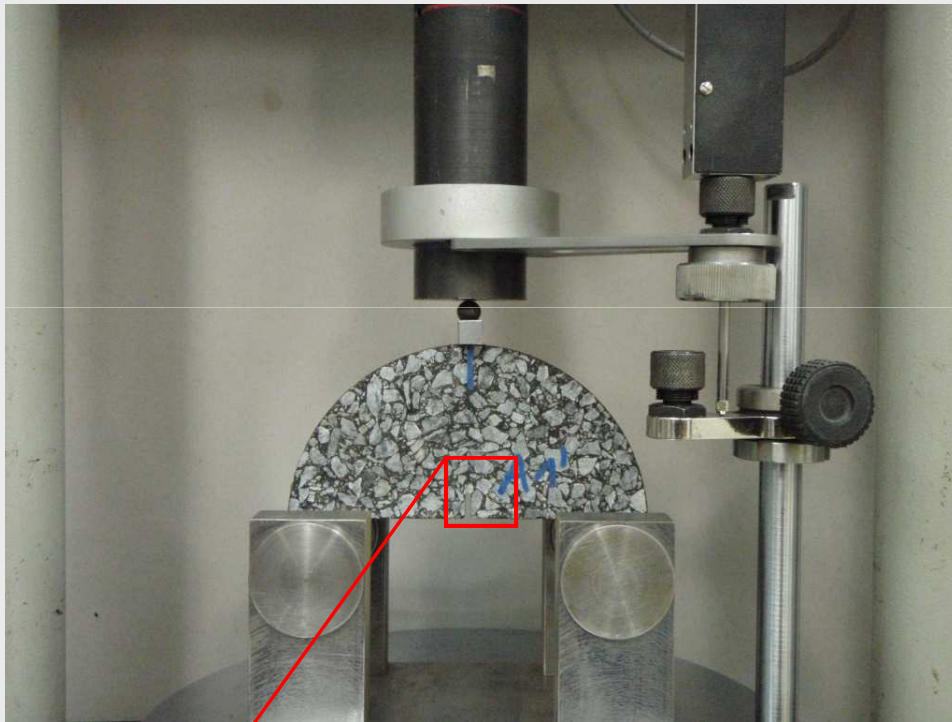
- Temperatura badania  $+10^{\circ}\text{C}$  i  $-20^{\circ}\text{C}$
- Wyznaczamy:
  - Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu,
  - Moduł sztywności,
  - Odkształcenie graniczne.



# Zginanie – moduł sztywności



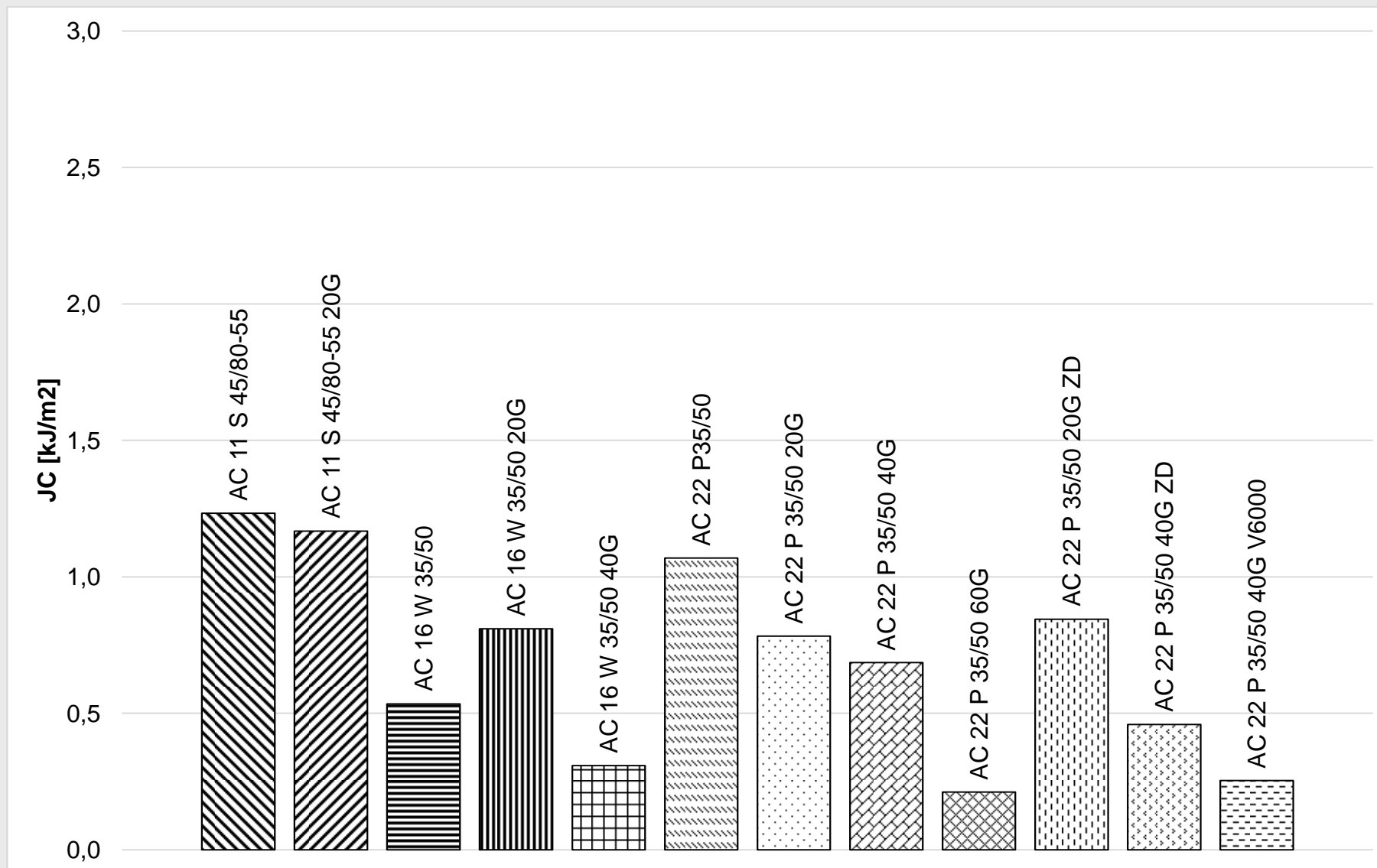
# Propagacja spękań – metoda SCB



nacięcie

- Temperatura badania:  $-20^{\circ}\text{C}$
- Wyznacza się:
  - krytyczny współczynnik intensywności naprężeń,  $K_{\text{IC}}$ ,
  - Krytyczną wartość całki J ( $J_{\text{C}}$ ).

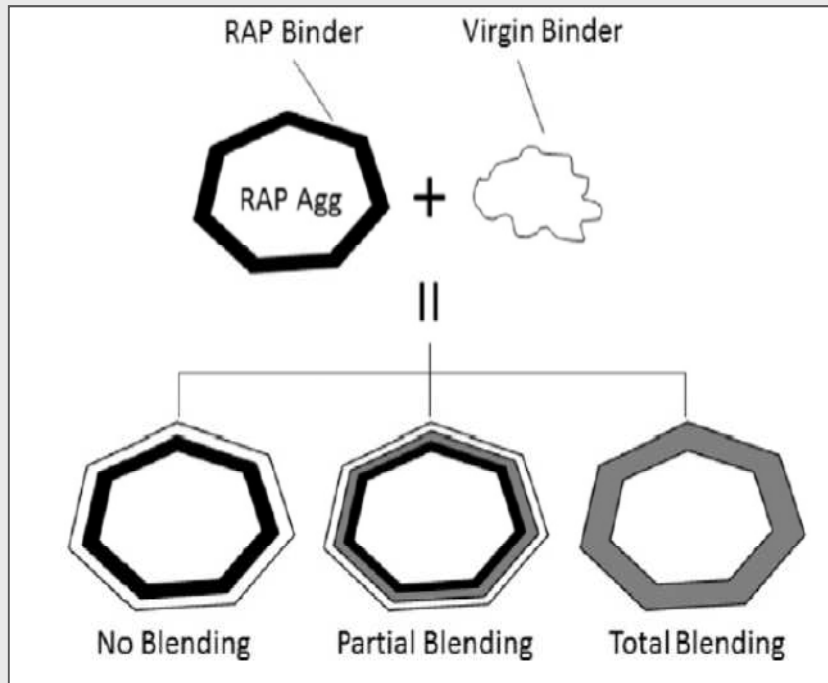
# Propagacja spękań – metoda SCB



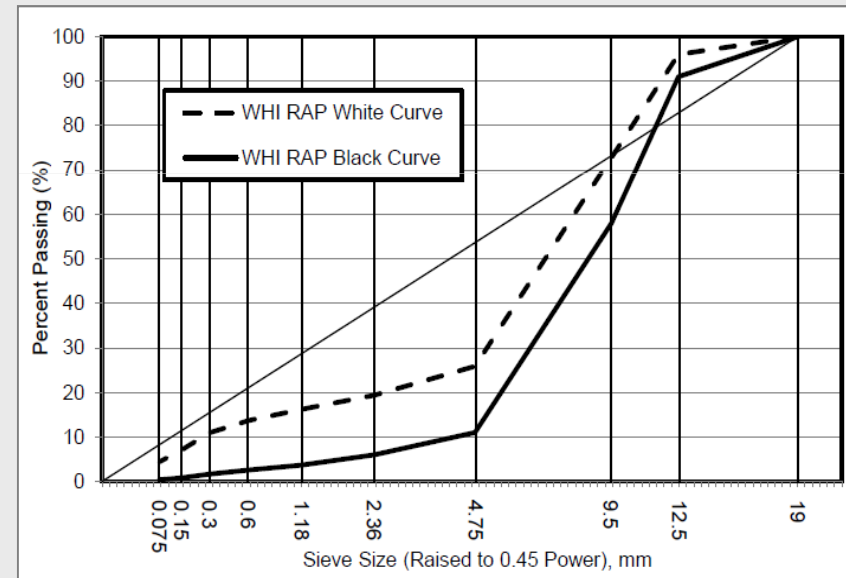
1. NOWE LEPISZCZE - istotny wpływ
2. Stosowanie bardziej miękkiego lepiszcza przeciwdziała przesztynieniu mm-a wskutek dużej zawartości granulatu
3. Zbyt miękkie lepiszcze może być powodem niepowodzeń
4. Stosowanie środków recyklujących oraz dodatków WMA wymaga ostrożności – efekt długoterminowy, homogenizacja.

## Warunki laboratoryjne a produkcja przemysłowa

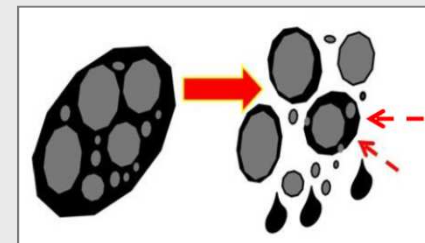
### Wymieszanie granulatu i nowych składników



Źródło: Zhao i wsp. (2016)



Źródło: Roque i wsp. (2015)



# Ograniczenia formalne (1)

1. W większości krajów obowiązują formalne ograniczenia w stosowaniu granulatu.
2. Wynikają ze względów technologicznych i technicznych oraz doświadczenia.
3. Ograniczenia są formułowane w odniesieniu do:
  - Rodzaju mm-a
  - Przeznaczenia mm-a (warstwy)



1. Ogólne wnioski dotyczące różnych krajów są następujące:
  - AC – tak, często granulaty dopuszcza się również w warstwach ściernalnych
  - AC WMS – nie/tak
  - SMA – nie (wyjątek - Niemcy)
  - PA – nie (wyjątek Holandia, *Japonia*)
2. AC - Szczegółowe ustalenia są zróżnicowane

# Ograniczenia formalne (3)

Tablica 4.1. Dopuszczalność stosowania granulatu asfaltowego w wybranych krajach w zależności od typu mieszanki mineralno-asfaltowej

Kraj [źródło]	Beton asfaltowy (AC)	Beton asfaltowy o podwyższonym module sztywności (WMS, EME, EME2)	Mastyks grysowy (SMA)	Asfalt porowaty (PA, PAC)
Polska [77]	tak – tablica 4.2.	tak - jak AC	nie	nie
Irlandia [88]	tak – tablica 4.2.	brak informacji	nie	nie
Holandia [90]	tak – tablica 4.2.	brak informacji	nie	tak – do 20%
Belgia – Flandria [92]	tak – tablica 4.2.	tak – do 20%	nie	nie
Francja [93] <sup>1)</sup>	tak – tablica 4.2.	brak informacji	brak informacji	brak informacji
Niemcy [15, 42]	tak – tablica 4.2.	brak informacji	tak <sup>2)</sup>	nie
Australia [95, 82, 83]	tak – tablica 4.2.	brak informacji	nie	nie
Nowa Zelandia [95]	tak – tablica 4.2.	brak informacji	nie	nie
Kanada [50]	tak – tablica 4.2.	brak informacji	brak informacji	brak informacji
USA [40]	tak – tablica 4.2.	brak informacji	brak informacji	brak informacji
Japonia [43]	tak – tablica 4.2.	brak informacji	brak informacji	dopuszcza się

# Ograniczenia formalne (4)

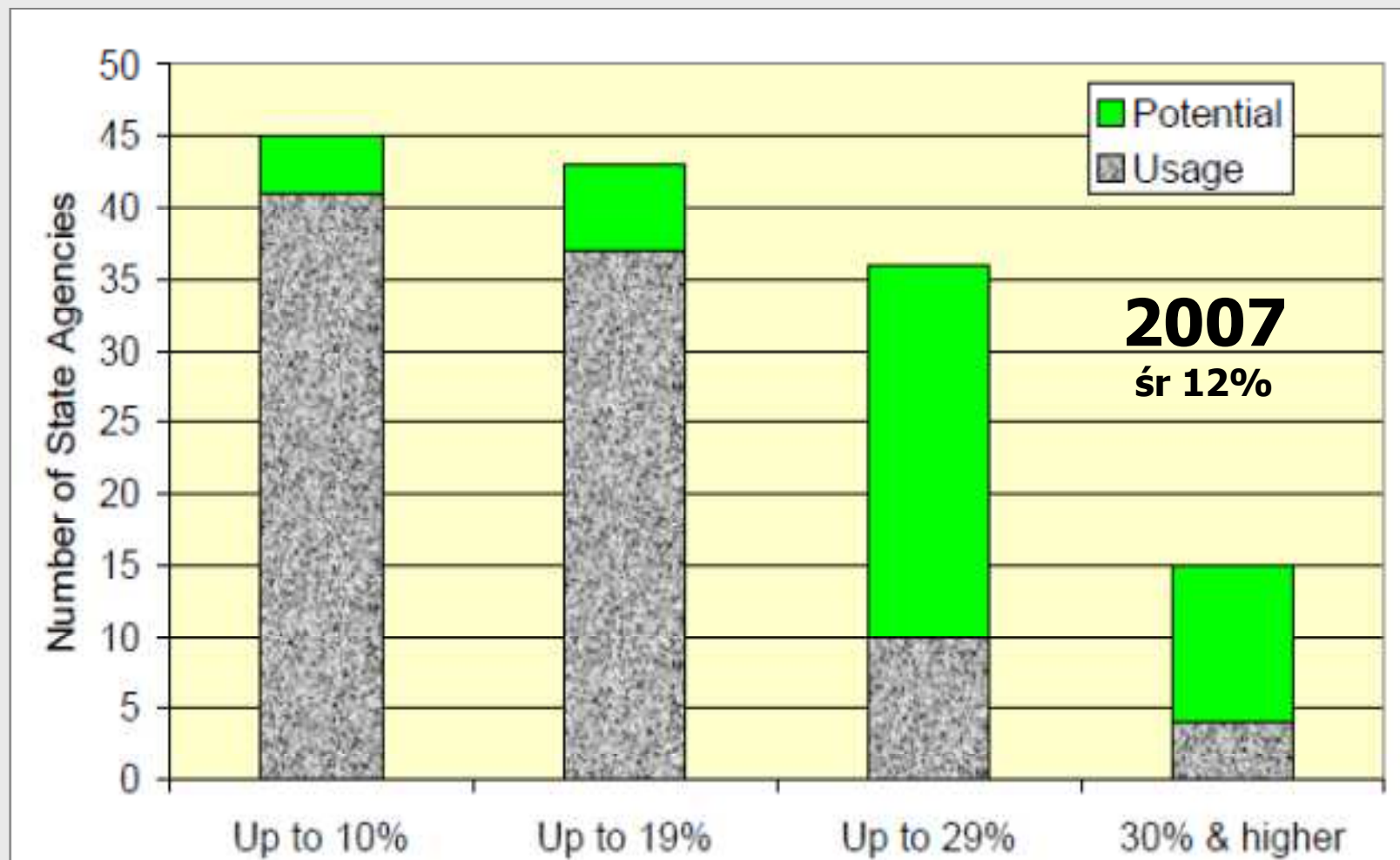
Kraj [źródło]	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
Polska [77]	nie dopuszcza się	20%/30% <sup>1)</sup>	20%/30% <sup>1)</sup>
Irlandia [88]	nie dopuszcza się	30%	30%
Holandia [90]	50%	50%	50%
Belgia (Flandria) [92]	nie dopuszcza się	brak informacji	100%/20% <sup>1)</sup>
Francja [93]	0/10/30/40% <sup>2)</sup>	10/20/30/40% <sup>2)</sup>	10/20/30/40% <sup>2)</sup>
Niemcy [42]	50%, <sup>3)</sup>	50% <sup>3)</sup>	100% <sup>3)</sup>
Australia [95, 82, 83]	0/15/20% <sup>4)</sup>	do 20% <sup>4)</sup>	do 30% <sup>4)</sup>
Nowa Zelandia [95]	15% <sup>5)</sup>	15% <sup>5)</sup>	15% <sup>5)</sup>
Kanada (Kolumbia Brytyjska) <sup>6)</sup> [50]	15/30% <sup>7)</sup>	30%	30%
USA [40] <sup>8)</sup>	0/10/19/29/≥30%	0/10/19/29/≥30%	0/10/19/29/≥30%
Japonia [43] <sup>9)</sup>	dopuszcza się	dopuszcza się	dopuszcza się

# Ograniczenia formalne (5)

1. Podbudowa: przeważnie 20-30% ale Niemcy i Belgia do 100%.
2. Warstwa wiążąca: przeważnie 15-30% ale Niemcy i Holandia do 50%
3. Warstwa ściernalna:
  - Część krajów nie dopuszcza granulatu
  - Interesująca jest Belgia – w 2011 roku cofnięto dopuszczalność
  - Zawartości mniejsze niż dla 1. i 2., bywa że dopuszczalne przy mniejszym ruchu
  - Niemcy i Holandia – do 50%

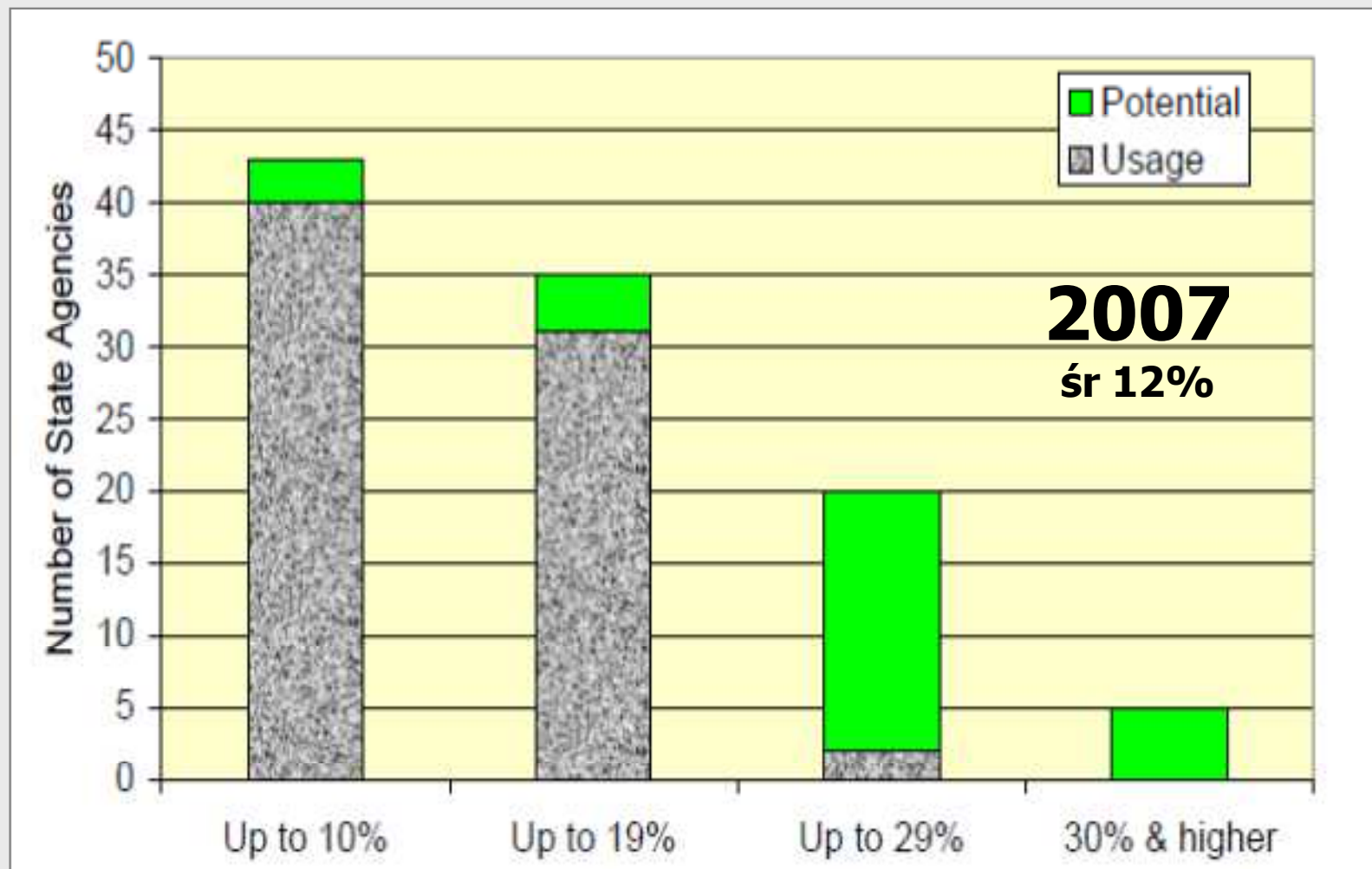
1. Średnia zawartość granulatu w mm-a wynosiła:
  - Francja – 11,4% (2012)
  - Belgia – 43% (2014)
  - Japonia – 47% (2013)
  - USA - 12% (2007), 16% (2009), 20% (2012)
2. W większości krajów wskaźnik ten wzrasta, jednak faktyczne zastosowanie jest zwykle poniżej dopuszczonego formalnie.

# Dopuszczalność a praktyka (2)



**Dopuszczalna i faktycznie stosowana zawartość granulatu w warstwie wiążącej w stanach USA i Ontario (Kanada)**

# Dopuszczalność a praktyka (3)



**Dopuszczalna i faktyczna stosowana zawartość granulatu w warstwie ścieralnej w stanach USA i Ontario (Kanada)**

## Maksymalna zawartość granulatu:

- % masy granulatu do masy całej mm-a
- % masy starego asfaltu w całkowitej masie asfaltu – wskaźnik zastąpienia lepiszcza

$$BR = (a \times b)/c$$

gdzie:

BR – wskaźnik zastąpienia lepiszcza (*Binder Replacement*)

a – zawartość lepiszcza w granulacie asfaltowym [% (m/m)],

b – udział granulatu asfaltowego w mieszance mineralno-asfaltowej [% (m/m)],

c – całkowita zawartość lepiszcza w mieszance mineralno-asfaltowej [% (m/m)].



# Podsumowanie (1)

Maksymalną zawartość granulatu w mm-a warunkują:

- Dostępność destruktu,
- Względy formalne, zapisy specyfikacji
- Względy technologiczne, konstrukcja otaczarki,
- Zawartość frakcji drobnych i  $<0,075$  mm w granulacie
- Jednorodność granulatu
- Właściwości asfaltu zawartego w granulacie

# Podsumowanie (2)

Wzrost zastosowania granulatu w mm-a wymaga:

- Działań administracyjnych
- Długofalowej polityki
- Działań edukacyjnych
- Badań i doświadczenia

O sukcesie recyklingu na gorąco decyduje:

- Kultura techniczna
- Zaufanie pomiędzy Zamawiającym a Wykonawcą
- Wiedza techniczna Wykonawcy



**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ**