



SPENS Seminarium krajowe
14 października 2009

**Badania w skali rzeczywistej odcinków z
betonem asfaltowym o wysokim module
sztywności.**

**Zalecenia stosowania AC WMS dla wybranych
krajów europejskich**

Wojciech Bańkowski

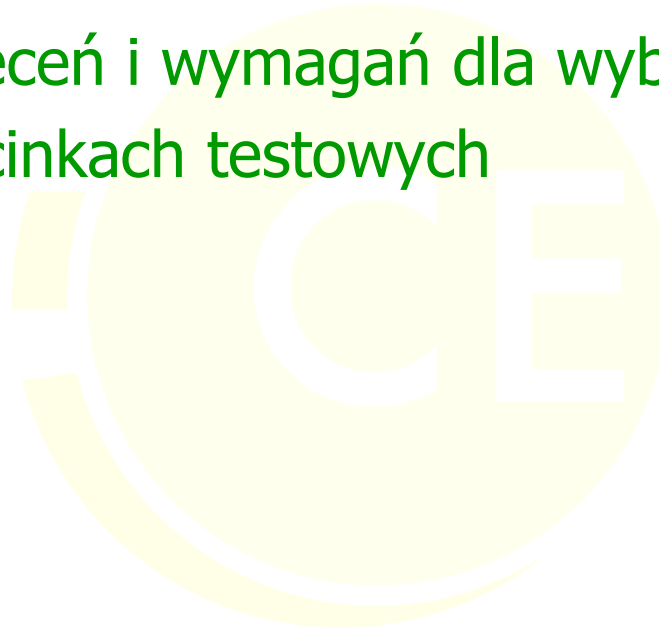
IBDiM

Warszawa, 14 października 2009



Plan prezentacji

1. Cele zadania 4.2
2. Informacje ogólne o AC WMS
3. Propozycje zaleceń i wymagań dla wybranych krajów
4. Badania na odcinkach testowych



Zadanie 4.2

Wymagania funkcjonalne i zalecenia materiałowe wobec betonu asfaltowego o wysokim module sztywności

Uczestnicy:

- **IBDiM** **POLSKA**
- ZAG SLOWENIA
- VTI SZWECJA
- TECER ESTONIA
- IGH CHORWACJA
- IP SERBIA
- CRBL BUŁGARIA

Główne cele zadania WP 4.2

Rozwój technologii AC WMS i przygotowanie ogólnych zaleceń dla wybranych krajów biorąc pod uwagę warunki klimatyczne, materiałowe i stosowane metody badawcze (Szwecja, Serbia, Chorwacja, Estonia, Bułgaria, Słowenia)

Badania laboratoryjne + walidacja konstrukcji z AC WMS w skali rzeczywistej

Historia

- Francja – EME (*Enrobe Module Eleve*) + BBTM
- Prace badawcze w IBDiM, 1999-2008
- 1999 – Pierwszy odcinek w Poznaniu (Multiphalt)
- 2002 Polska **BAWMS** Zeszyt 63 „Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie” ZW-WMS-2002”
- 2007 Polska – **BAWMS** Zeszyt 70 „Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie” ZW-WMS-2007”
- OST - D-04.11.01 Podbudowa z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności typu EME
- Projekt badawczy SPENS
- 2009 projekt „Wymagania techniczne – Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych” **AC WMS**



AC WMS – zasady ogólne

Zastosowanie – warstwa wiążąca i warstwa podbudowy

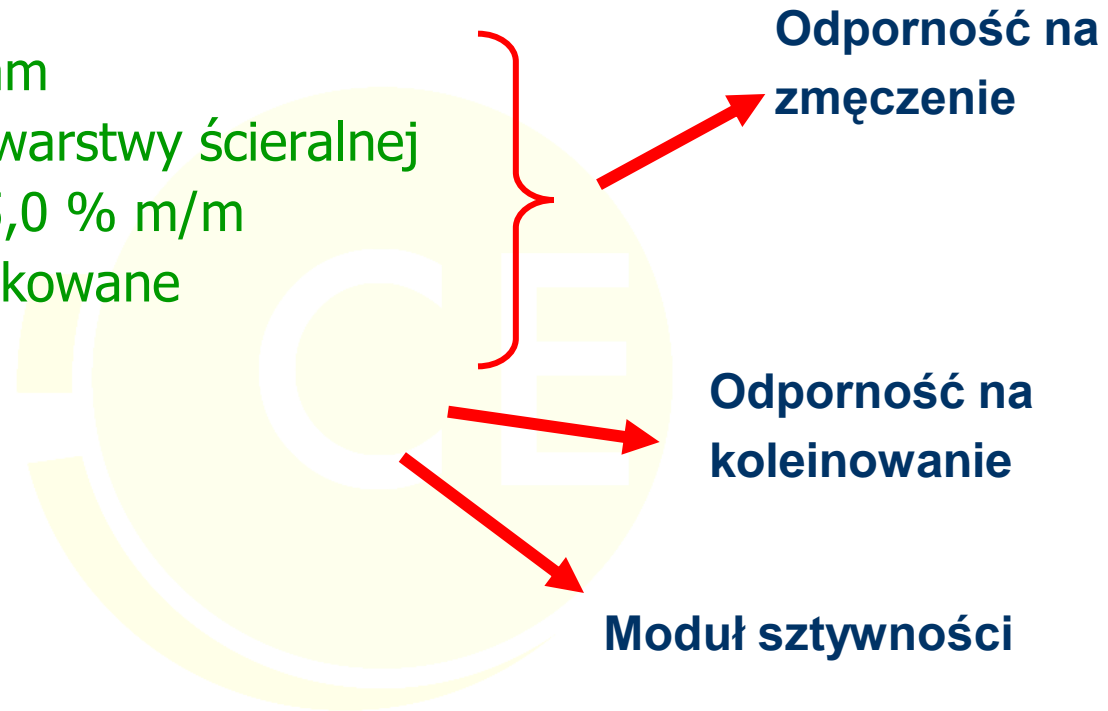
Projektowanie składu tylko metodą funkcjonalną

Właściwości:

- Wysoki moduł sztywności
- Odporność na koleinowanie
- Wysoka odporność na zmęczenie

AC WMS – zasady ogólne (2)

Uziarnienie 0/11 - 0/16 mm
 Krzywe graniczne jak do warstwy ścieralnej
 Zawartość asfaltu około 5,0 % m/m
 Asfalty twarde lub modyfikowane

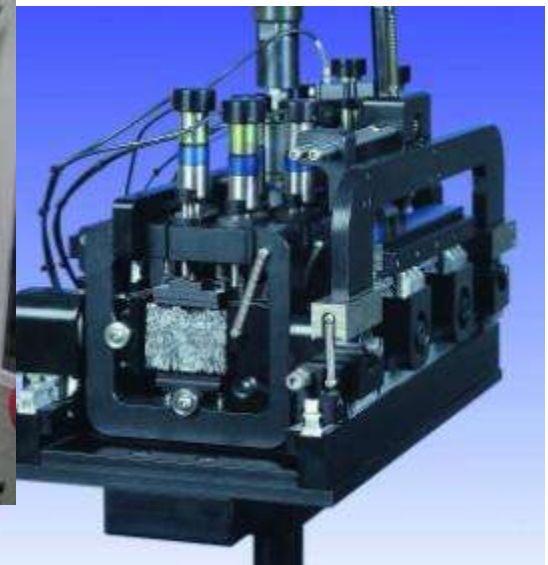


AC WMS - Wymagania

Właściwość	Warunki zagęszczania wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	KR3-6	
			AC WMS 11	AC WMS 16
Minimalna i maksymalna zawartość wolnych przestrzeni	C.1.3, ubijanie 2x75	PN-EN 12697-8, p. 4	$V_{min2,0}$ V_{max4}	$V_{min2,0}$ V_{max4}
Odporność na deformacje trwałe	C.1.20, wałowanie, P_{98} - P_{100}	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 60 °C, 10 000 cykli	$WTS_{AIR0,10}$ $PRD_{AIR3,0}$	$WTS_{AIR0,10}$ $PRD_{AIR3,0}$
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2x25	PN-EN 12697-12 kondycjonowanie w 40 °C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15 °C	$ITSR_{80}$	$ITSR_{80}$
Sztywność	C.1.20, wałowanie, P_{98} - P_{100}	PN-EN 12697-26, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	$S_{min14000}$	$S_{min14000}$
Odporność na zmęczenie	C.1.20, wałowanie, P_{98} - P_{100}	PN-EN 12697-24, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	ϵ_{6-130}	ϵ_{6-130}

AC WMS – badania funkcjonalne

- Moduł sztywności (4PB, 10Hz, 10°C)
- Zmęczenie (4PB, 10Hz, 10°C)
- Koleinowanie (duży aparat, 60°C, 30 tys. cykli)
- Koleinowanie (metoda B w powietrzu, 60°C, 10 tys. cykli)



Zalety AC WMS

- Nowoczesne metody badań – wiarygodna ocena właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej
- Dobre, kontrolowane właściwości funkcjonalne – koleinowanie, odporność na działanie wody
- Podwyższona odporność na zmęczenie, większa sztywność
- Większa trwałość konstrukcji
- Potencjalna możliwość zmniejszenia grubości warstw asfaltowych
- Słabsze kruszywa mogą być z powodzeniem stosowane w AC WMS
- Projektowanie funkcjonalne – korzyści dla inwestora, użytkownika i wykonawcy
- Przyszłość – rozwój AC WMS oraz powszechne stosowanie projektowania funkcjonalnego mieszanek mineralno-asfaltowych

Propozycje zaleceń i wymagań dla wybranych krajów



Zainteresowane kraje

Bułgaria

Chorwacja

Estonia

Serbia

Słowenia

Szwecja



Program pracy

1. Zebranie i analiza danych klimatycznych w poszczególnych krajach
 - Wyznaczenie PG
 - Wyznaczenie temperatury równoważnej ze względu na zmęczenie
2. Dobór i określenie wymagań dla materiałów
3. Dobór metod badań i propozycje wymagań wobec AC WMS
4. Wstępne zalecenia stosowania AC WMS dla każdego kraju

Dane klimatyczne

		Max7day	MaxAir	MinAir	ϕ	Ts(max)	Ts(min)
Serbia	Belgrad	40,0	45,0	-15,0	45,3	62,1	-11,2
Croatia	Plitvice	28,8	37,8	-22,6	45,0	51,0	-17,7
	Gospic	26,6	36,8	-27,6	44,5	48,9	-22,0
	Varazdin	29,0	38,7	-22,7	46,3	50,8	-17,8
	Zagreb	29,0	38,5	-18,1	45,8	50,9	-13,8
	Knin	30,8	41,4	-13,5	44,0	53,3	-9,9
	Rijeka	31,0	40,0	-7,1	45,3	53,1	-4,4
	Senj	32,2	38,1	-8,9	45,0	54,4	-5,9
	Hvar	32,1	37,5	-3,6	43,0	54,9	-1,4
Slovenia	Ljubljana	34,6	37,9	-27,0	46,0	56,5	-21,5
	Koper	34,6	37,9	-27,0	45,5	56,6	-21,5
Sweden	Stockholm				59,3	43,0	-19,0
	Göteborg				57,4	45,0	-17,0
	Malmö				55,5	44,0	-15,0

Wyznaczenie PG

		Heavy traffic (binder course)			
		d3	Td(max)	Td(min)	PG(x-y)
Serbia	Belgrad	100,0	49,0	-10,8	52-16
Croatia	Plitvice	75,0	41,7	-17,3	40-22
	Gospic	75,0	39,9	-21,6	40-22
	Varazdin	75,0	41,5	-17,4	40-22
	Zagreb	75,0	41,6	-13,5	40-16
	Knin	75,0	43,7	-9,5	46-10
	Rijeka	75,0	43,5	-4,0	46-4
	Senj	75,0	44,6	-5,5	46-10
	Hvar	75,0	45,1	-1,0	46-4
Slovenia	Ljubljana	80,0	45,9	-21,1	52-22
	Koper	80,0	46,1	-21,1	52-22
Sweden	Stockholm	65,0	35,6	-18,6	40-22
	Gothenburg	65,0	37,3	-16,6	40-22
	Malmoe	65,0	36,5	-14,6	40-16

Wyznaczenie T_{eff}

		MAAT	ha(cm)	F	Z(inch)	T(Z)	C	T_{eff}
Serbia	Belgrad	11,5	10,0	52,7	1,3	62,2	16,8	10,7
		11,5	22,5	52,7	3,0	61,4	16,3	10,4
Croatia	Plitvice	9,1	8,0	48,4	1,0	57,2	14,0	8,5
		9,1	20,0	48,4	2,6	56,6	13,6	8,2
	Gospic	9,5	8,0	49,1	1,0	58,1	14,5	8,9
		9,5	20,0	49,1	2,6	57,4	14,1	8,6
	Varazdin	11,0	8,0	51,8	1,0	61,3	16,3	10,3
		11,0	20,0	51,8	2,6	60,5	15,8	10,0
	Zagreb	11,7	8,0	53,1	1,0	62,8	17,1	11,0
		11,7	20,0	53,1	2,6	61,9	16,6	10,6
	Knin	13,3	8,0	55,9	1,0	66,3	19,0	12,5
		13,3	20,0	55,9	2,6	65,3	18,5	12,1
	Rijeka	14,6	8,0	58,3	1,0	69,1	20,6	13,8
		14,6	20,0	58,3	2,6	67,9	20,0	13,3
	Senj	15,4	8,0	59,7	1,0	70,8	21,6	14,6
		15,4	20,0	59,7	2,6	69,6	20,9	14,0
	Hvar	16,9	8,0	62,4	1,0	74,0	23,4	16,0
		16,9	20,0	62,4	2,6	72,7	22,6	15,4
Slovenia	Ljubljana	9	8,0	48,2	1,0	57,0	13,9	8,4
		9	20,0	48,2	2,6	56,3	13,5	8,1
	Koper	12	8,0	53,6	1,0	63,5	17,5	11,3
		12	20,0	53,6	2,6	62,6	17,0	10,9
Sweden	Stockholm	6,6	12,0	43,9	1,6	51,7	10,9	6,0
		6,6	18,0	43,9	2,4	51,4	10,8	5,9
	Gothenburg	7,1	12,0	44,8	1,6	52,7	11,5	6,5
		7,1	18,0	44,8	2,4	52,5	11,4	6,4
	Malmoe	7,9	12,0	46,2	1,6	54,4	12,5	7,3
		7,9	18,0	46,2	2,4	54,1	12,3	7,1

Badania na odcinkach testowych



Partnerzy i sponsorzy odcinków testowych

IBDiM

VTI

ZAG

STRABAG

TPA INSTYTUT BADAŃ TECHNICZNYCH

LAFARGE KRUSZYWA i BETON

ORLEN ASFALT



Założenia i cele

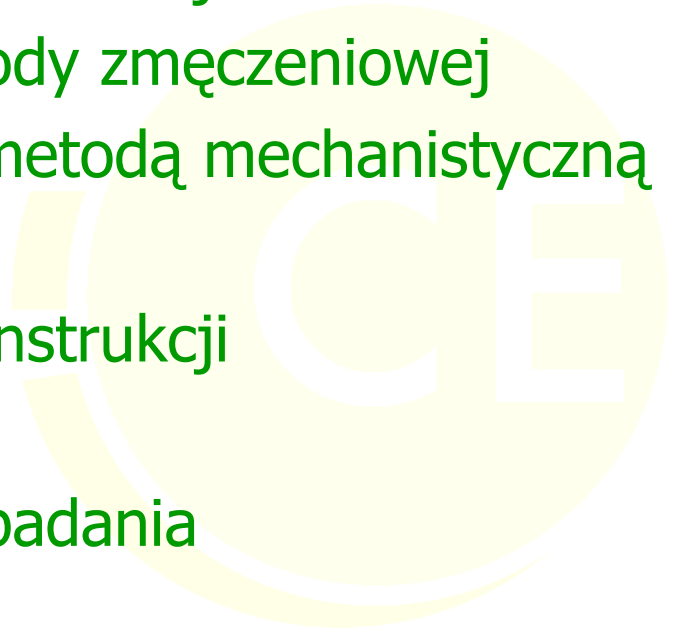
Cele badań

- Porównanie konstrukcji
- Określenie szkody zmęczeniowej
- Porównanie z metodą mechanistyczną

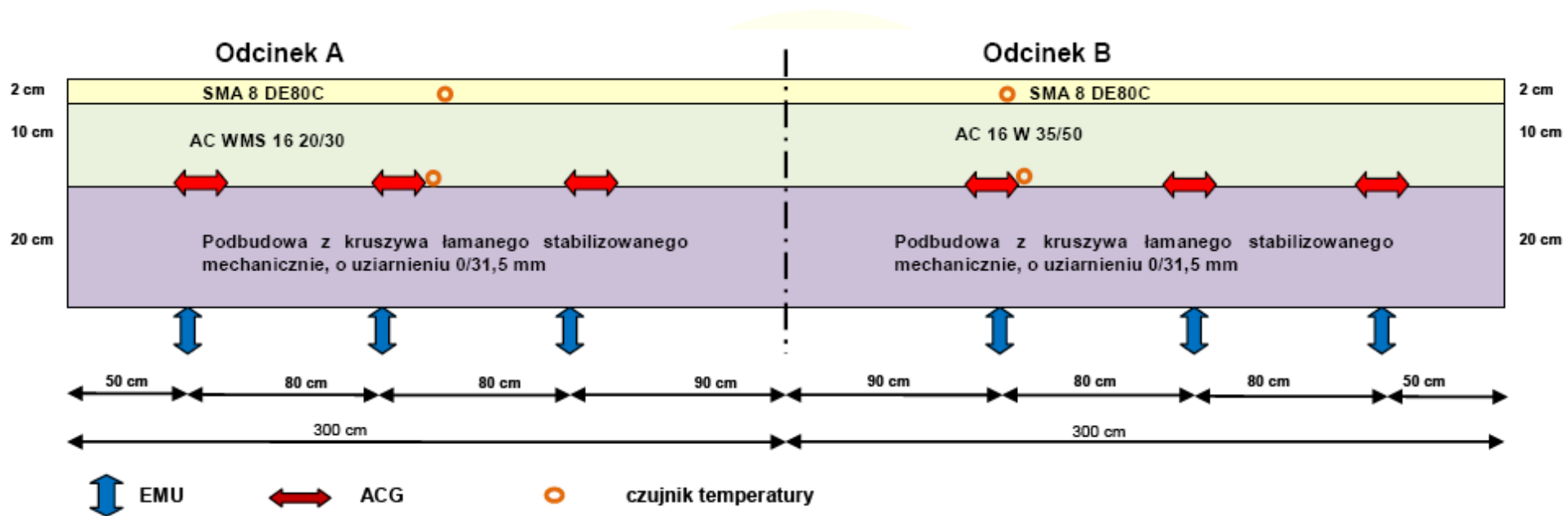
Dobór grubości konstrukcji

Dobór czujników

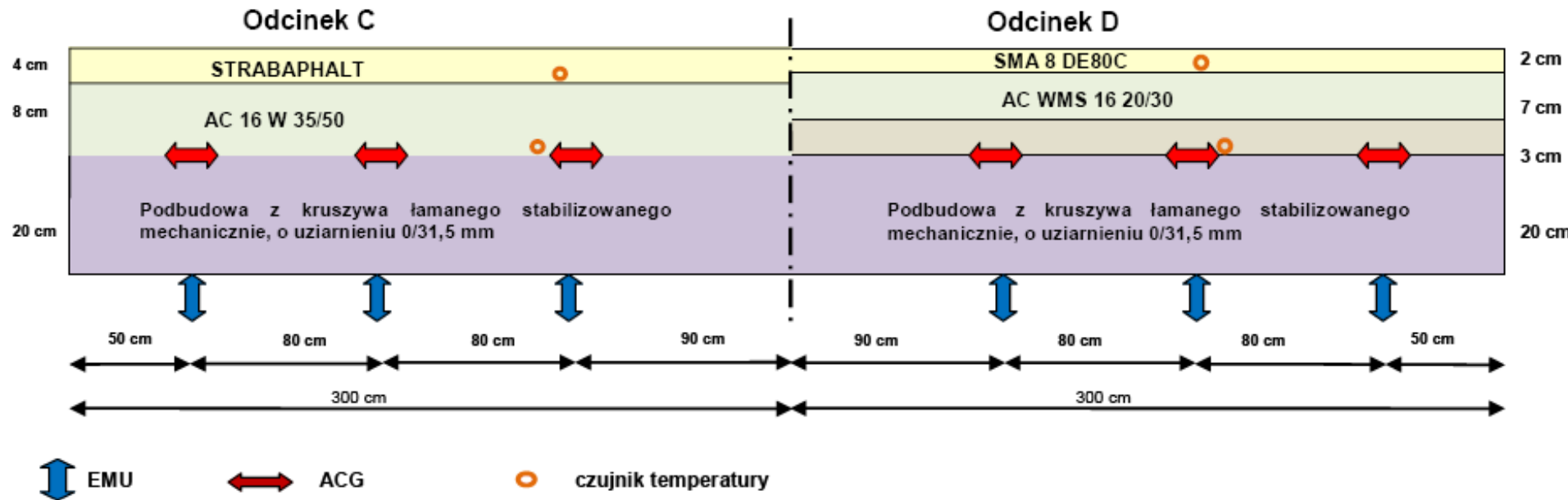
Dobór warunków badania



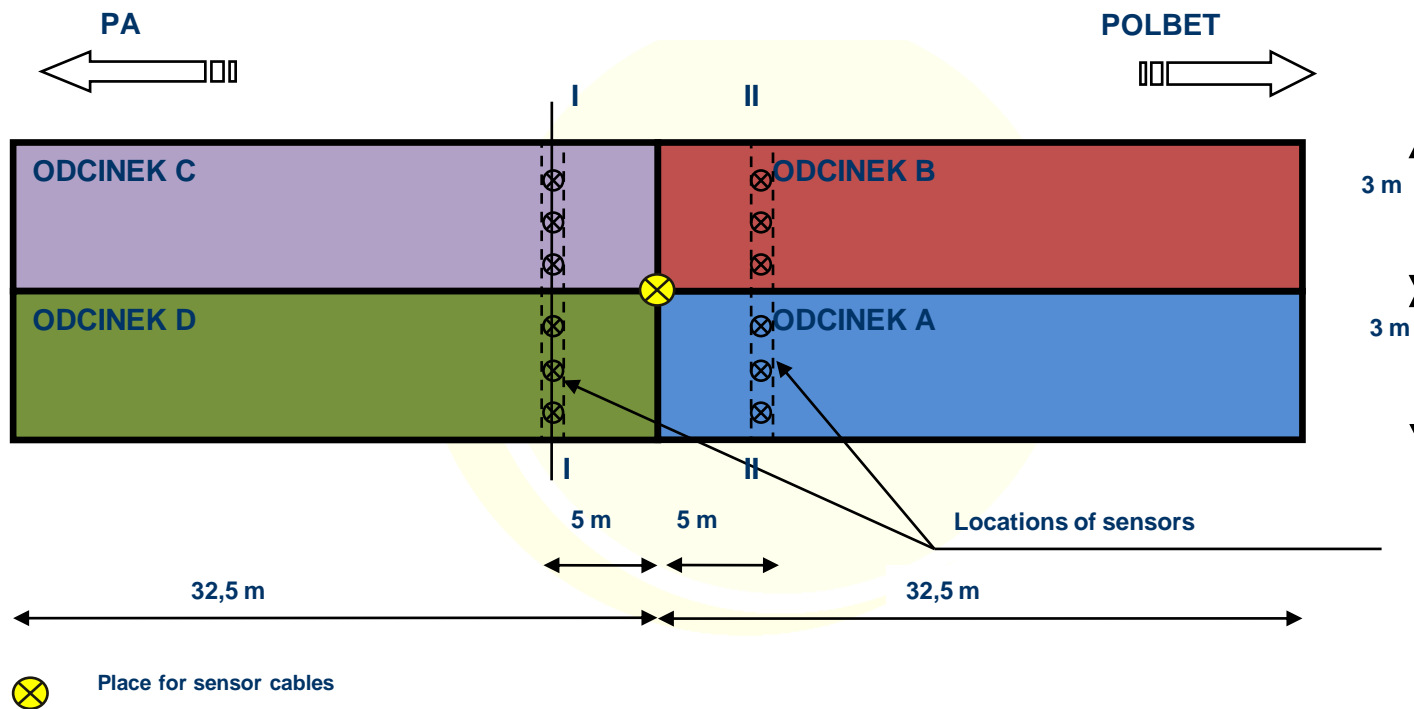
Odcinki A & B



Odcinki C & D



Widok z góry



Mieszanki

SMA 8 DE80C wg projektu WT NA DiL 2008:

- ORBITON 80C
- Mączka wapienna
- Kruszywo bazaltowe (Sulików)
- Viatop Premium
- Wetfix BE
- Sasobit

AC 16 W 35/50 wg projektu WT NA DiL 2008:

- Asfalt 35/50
- Mączka wapienna
- Kruszywo dolomitowe (Radkowice)

Mieszanki (2)

AC WMS 16 20/30 wg projektu WT NA DiL 2008 (projektowanie funkcjonalne)

- Asfalt 20/30
- Mączka wapienna
- Kruszywo wapienne (Kujawy)

AP AF (asfalt piaskowy wg PN-S-96025)

- Asfalt ORBITON 80C
- Piasek naturalny i łamany
- Mączka wapienna
- Włókno TOFIC
- Wetfix BE
- Sasobit

STRABAPHALT (PA 11 50/70, wg projektu WT NA DiL 2008)

- Asfalt 50/70,
- Kruszywo melafirowe (Czarny Bór)
- Wodny zaczyn cementowy

Właściwości mieszanek

	SMA 8 DE80C	AC 16 35/50	ACWMS 16 20/30
Am, % m/m	7,1	4,3	5,5
Wp, % v/v	3,3	3,8	3,8
WTS _{AIR}	0,04	0,03	0,08
PRD _{AIR}	5,6	1,0	2,7
P, % (LCPC)	9,2	2,1	3,6
ITSR, %	92,6	90,2	91,8
S, MPa	-	19435	16312
ε ₆ , μm/m	-	116	180

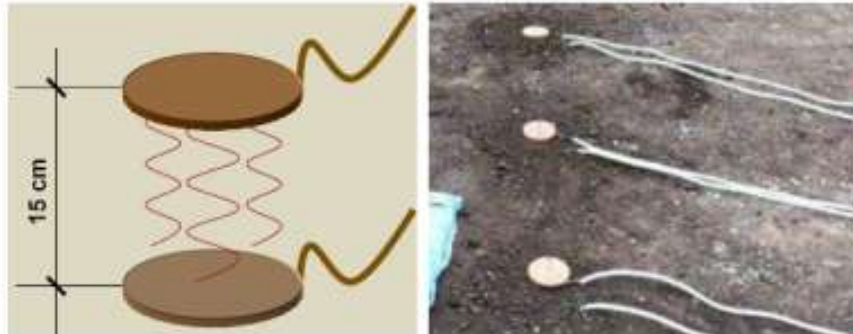
Właściwości mieszanek

Spełnione wymagania

Dobre właściwości funkcjonalne:

- Zmęczenie
- Sztywność
- Koleinowanie (mały i duży aparat)
- Odporność na działanie wody

Budowa odcinków



Fot. 1 Podłączenie czujników (EMU) w warstwie podłoża



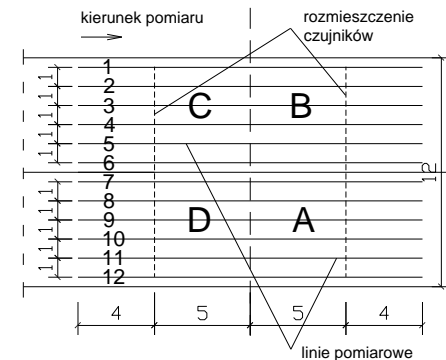
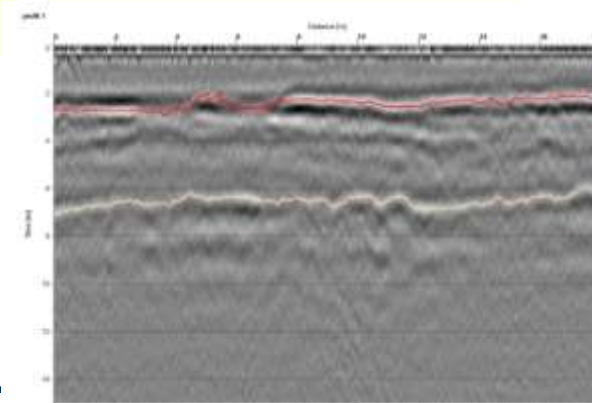
Fot. 2 Czujniki odkształceń (ASG) na warstwie podbudowy z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie



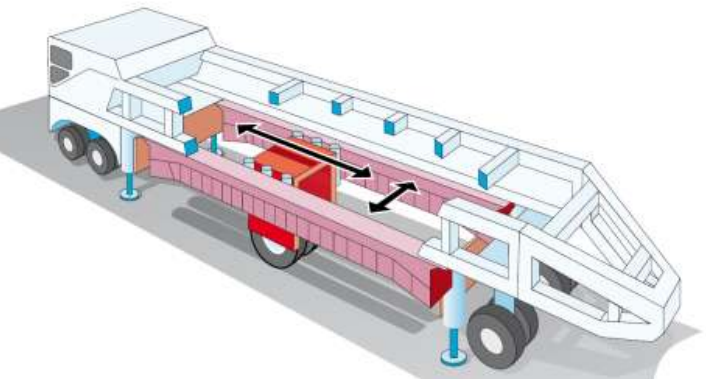
Fot. 3 Prace przy wykonaniu oraz widok warstwy ścieralnej SMA 8 DE80C

Ocena wykonania odcinków

	Grubości warstw asfaltowych, mm			
	Odcinek A	Odcinek B	Odcinek C	Odcinek D
Płyty	15,0	11,7	13,5	14,5
Rdzenie	15,0	11,8	13,4	14,3
Warstwa ściernalna	2,4	1,8	4,8	2,2
Warstwa podbudowy	12,6	10,0	8,6	7,5
Warstwa AP AF	-	-	-	4,6



Heavy Vehicle Simulator (HVS)



Koło obciążające: pojedyncze lub podwójne

Zakres obciążenia: 30-110 kN

Wydajność: 150 tys. obciążeń/tydzień

Prędkość maksymalna: 12 km/h

Temperatura nawierzchni: 0-30°C

Zasilanie: elektryczne lub silnik diesla

Długość odcinka: 8 m (6 m ze stałą prędkością)

Wymiary urządzenia: 23,0 x 3,8 x 4,0 m

Masa własna: 47 000 kg

HVS



Warunki badania HVS

Koło pojedyncze

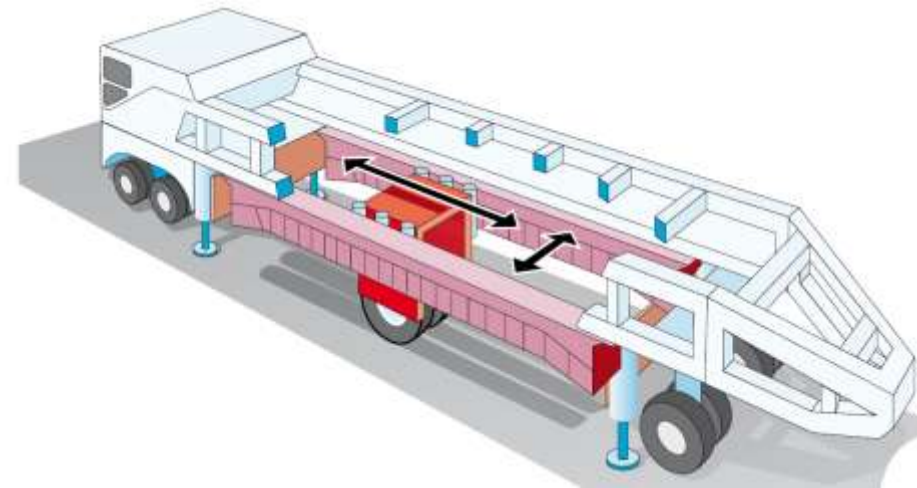
Obciążenie koła: 60 kN (80 kN)*

Ciśnienie w oponie: 800 kPa

Prędkość: 10-12 km/h

Temperatura nawierzchni: +10 °C

Liczba obciążeń 300 000 cykli



Pomiary i ich częstotliwość

Profil poprzeczny codziennie

Odkształcenie pionowe podłoża codziennie

Odkształcenie trwałe pionowe podłoża codziennie

Poziome poprzeczne odkształcenie w spodzie warstw asfaltowych
codziennie

Pomiary przy różnych obciążeniach i ich częstotliwość:

- Poziome poprzeczne odkształcenie w spodzie warstw asfaltowych (2 i ostatni dzień badań)
- Odkształcenie pionowe podłoża (2 i ostatni dzień badań)
- Obciążenie koła: 30, 40, 50 i 60 kN

Program badań terenowych i laboratoryjnych po teście HVS

Badania FWD

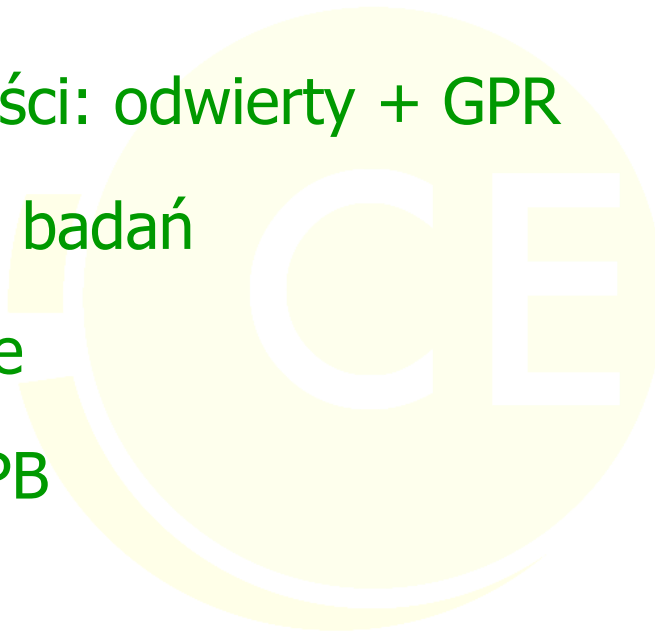
Wyznaczenie grubości: odwierty + GPR

Pobranie próbek do badań

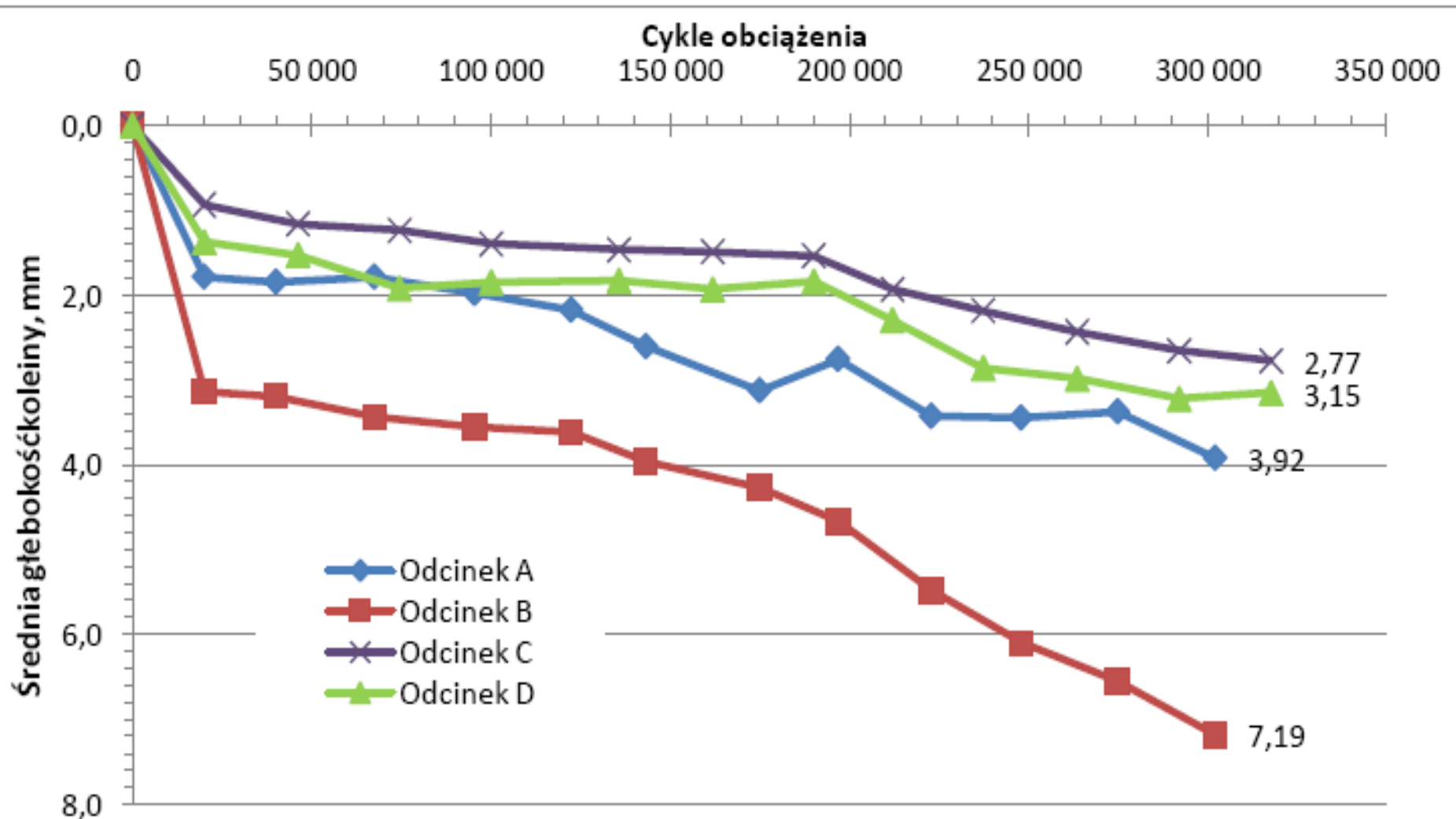
Skład i zagęszczenie

Sztywność ITCY, 4PB

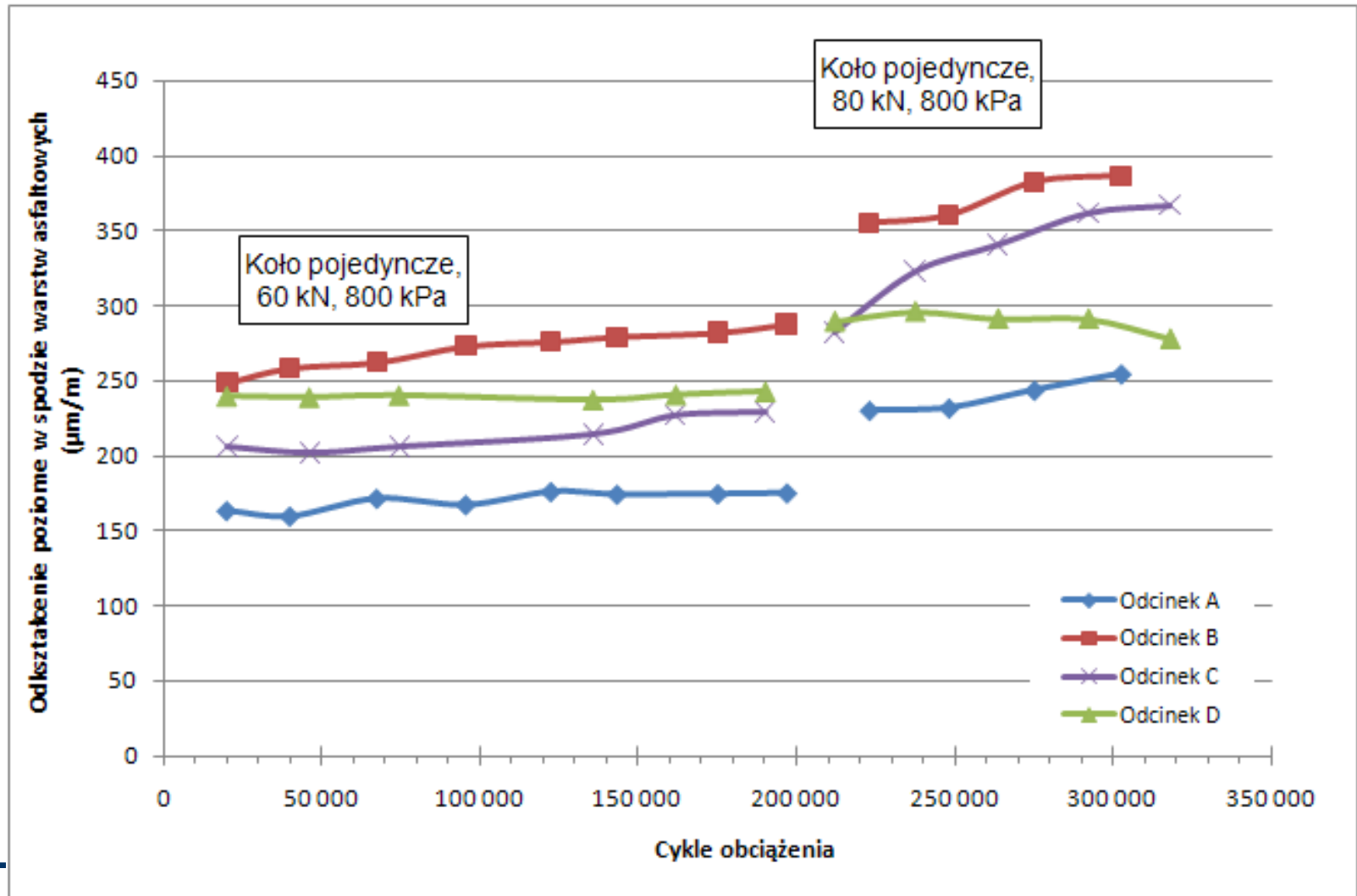
Zmęczenie 4PB



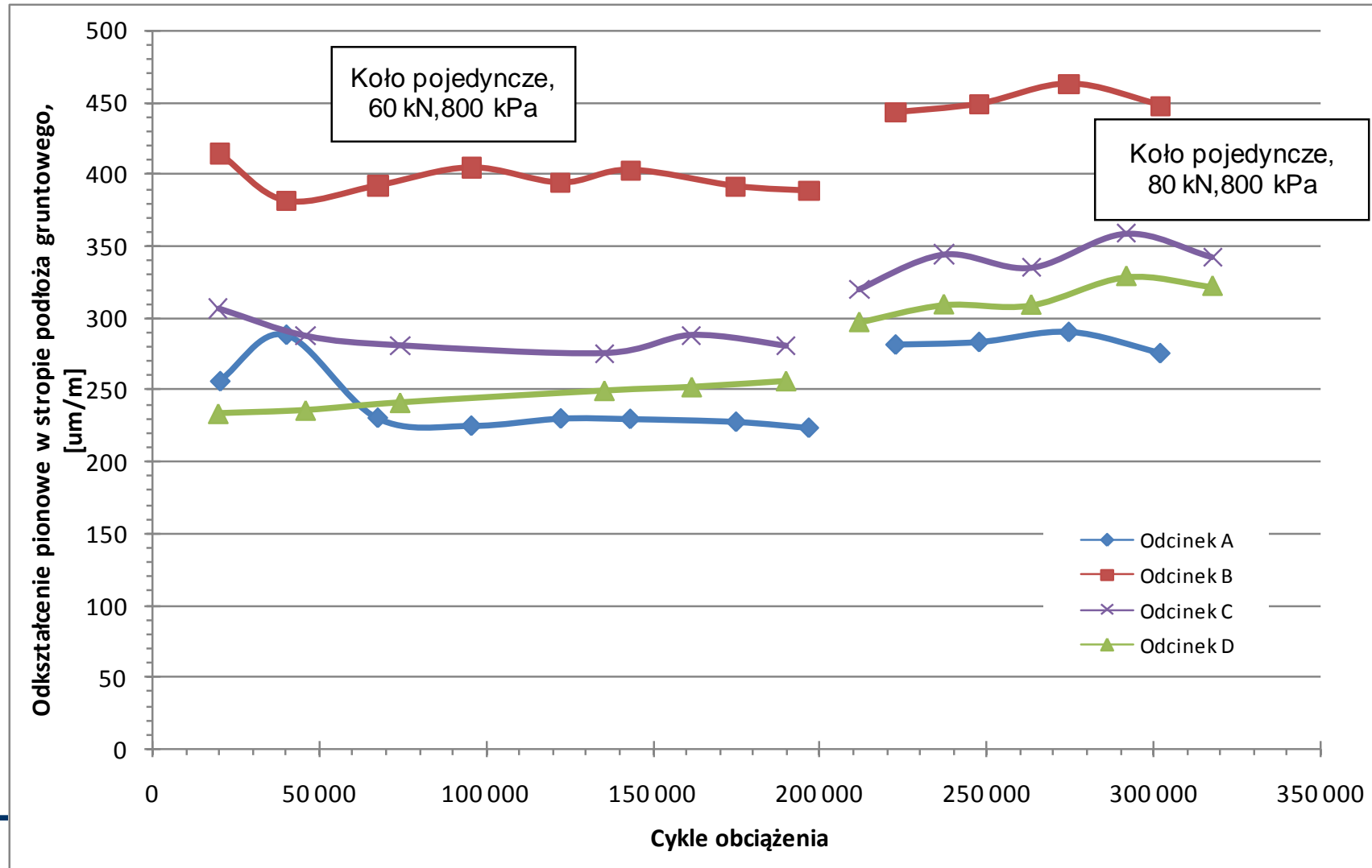
Profil warstwy ścieralnej



Odształcenie poziome w spodzie warstw asfaltowych



Odkształcenie pionowe w stropie podłoża



Stan odcinków po badaniu

Czarny ślad po oponie

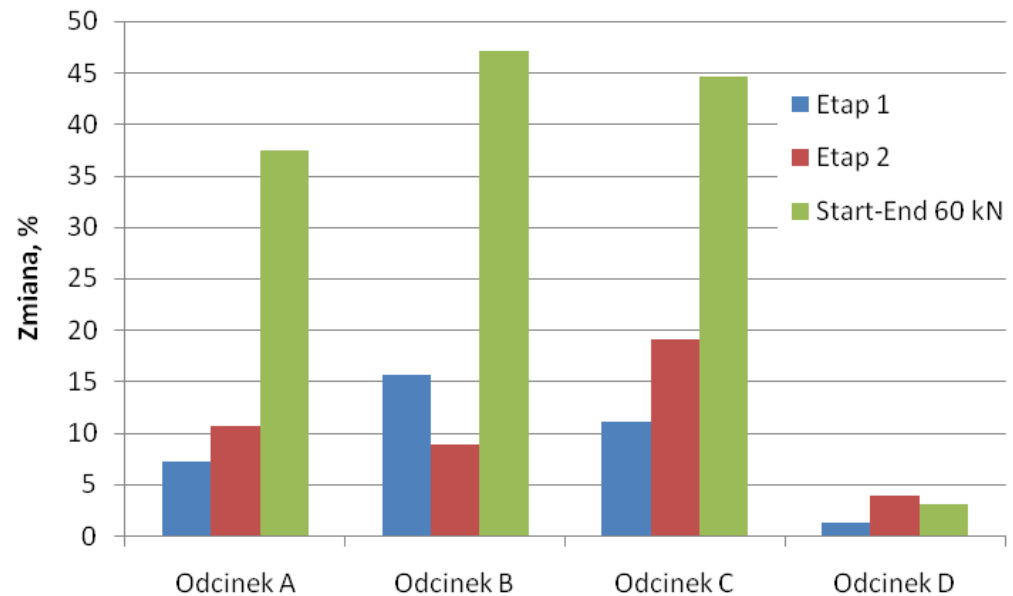
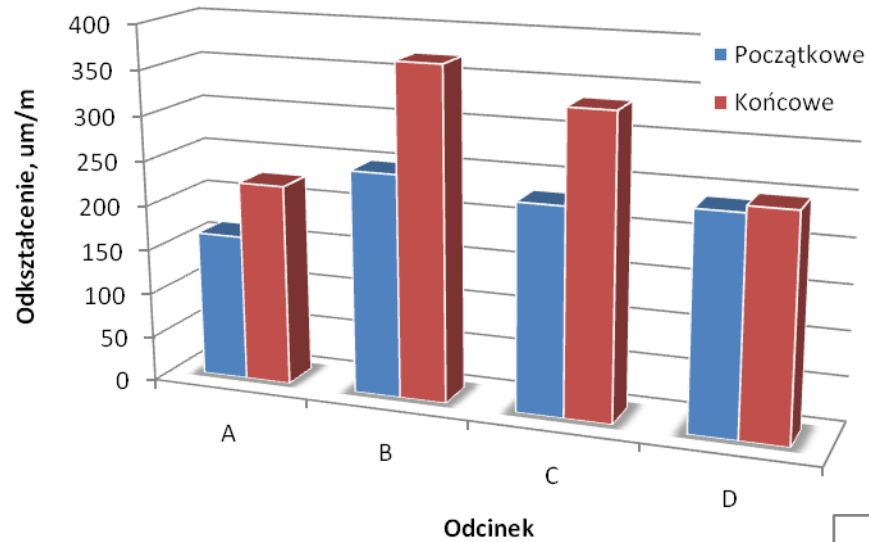
Bardzo dobry stan warstwy ścieralnej

Brak spękań

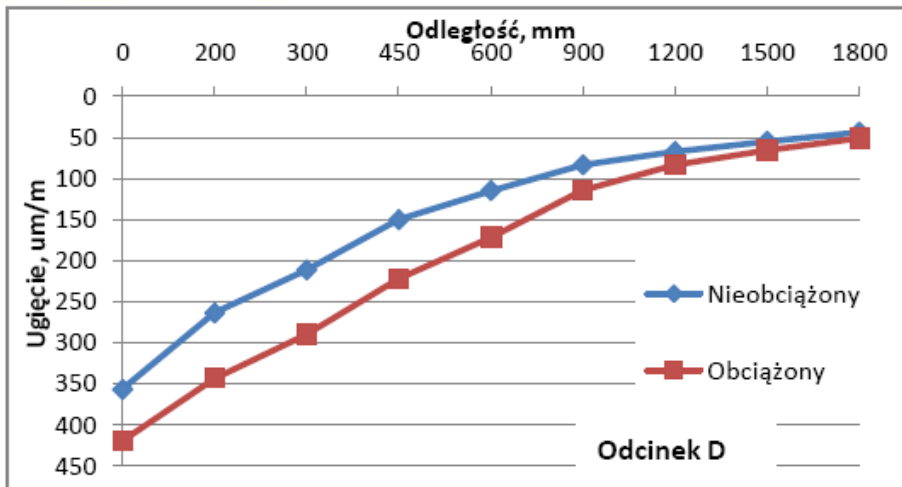
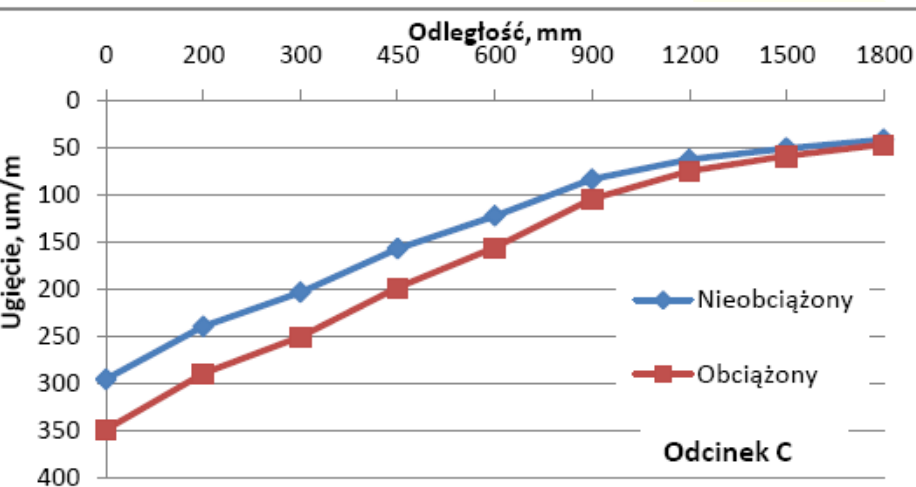
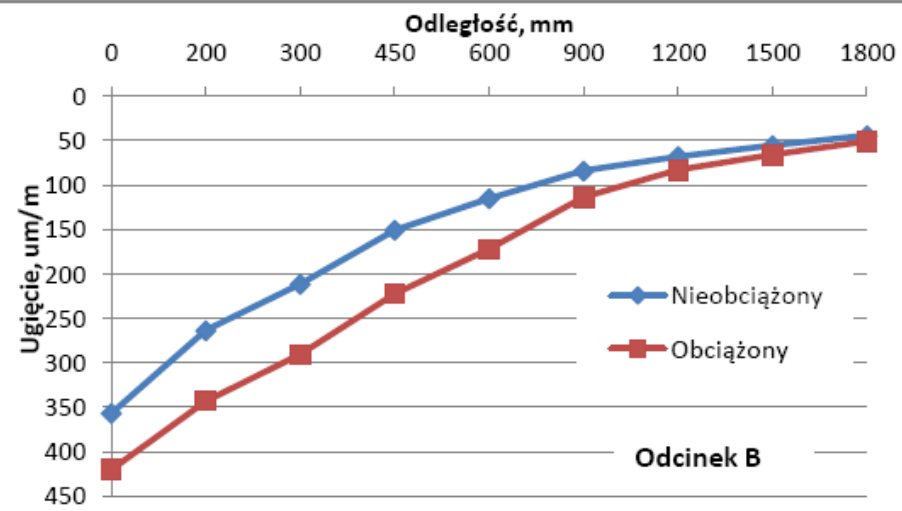
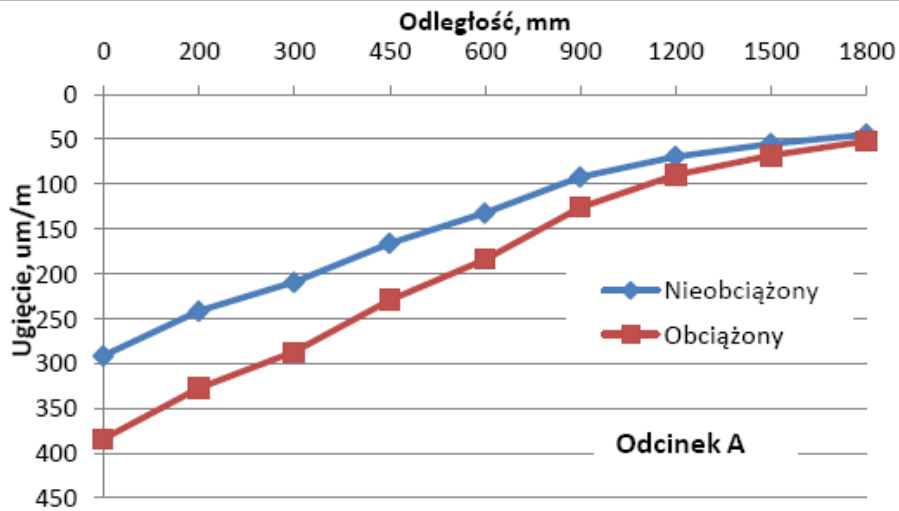
Niewielka deformacja



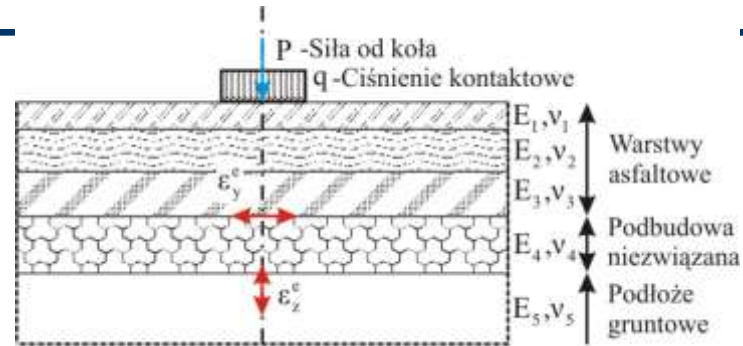
Szkoda zmęczeniowa ?



Badania FWD

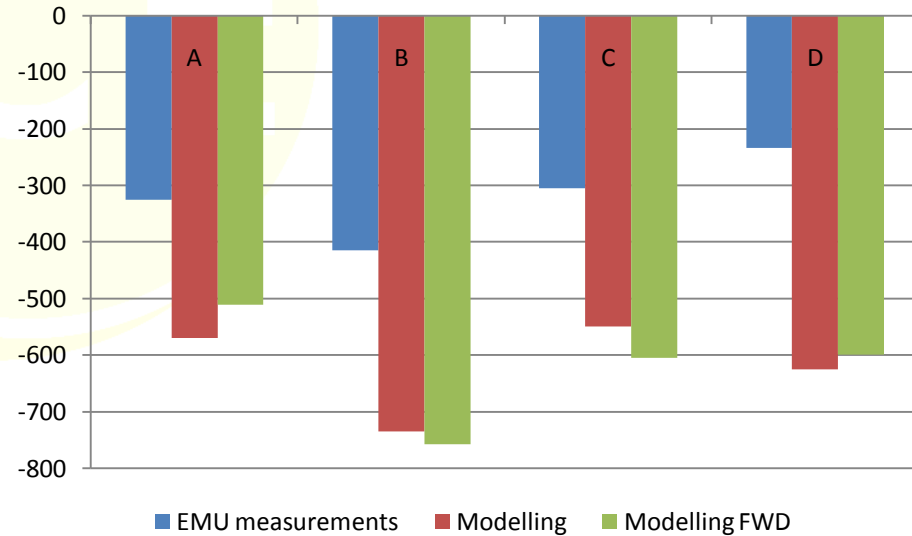
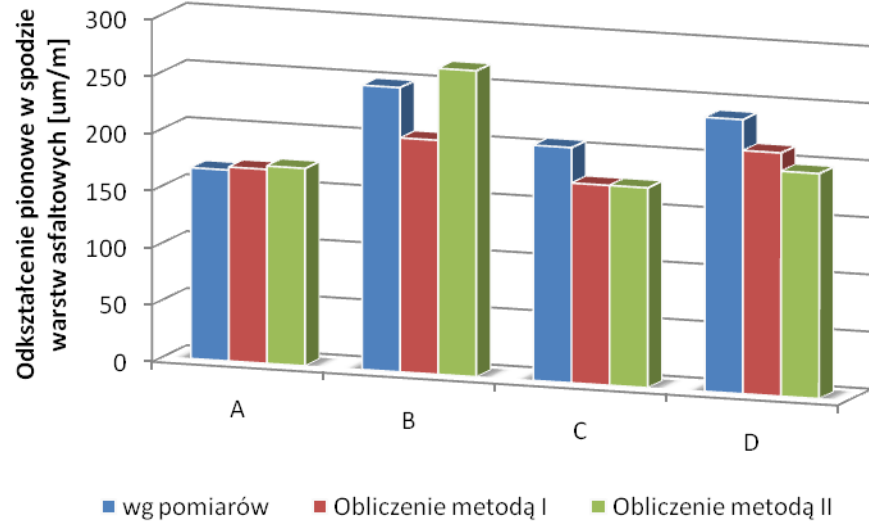


OBLICZENIA MECHANISTYCZNE

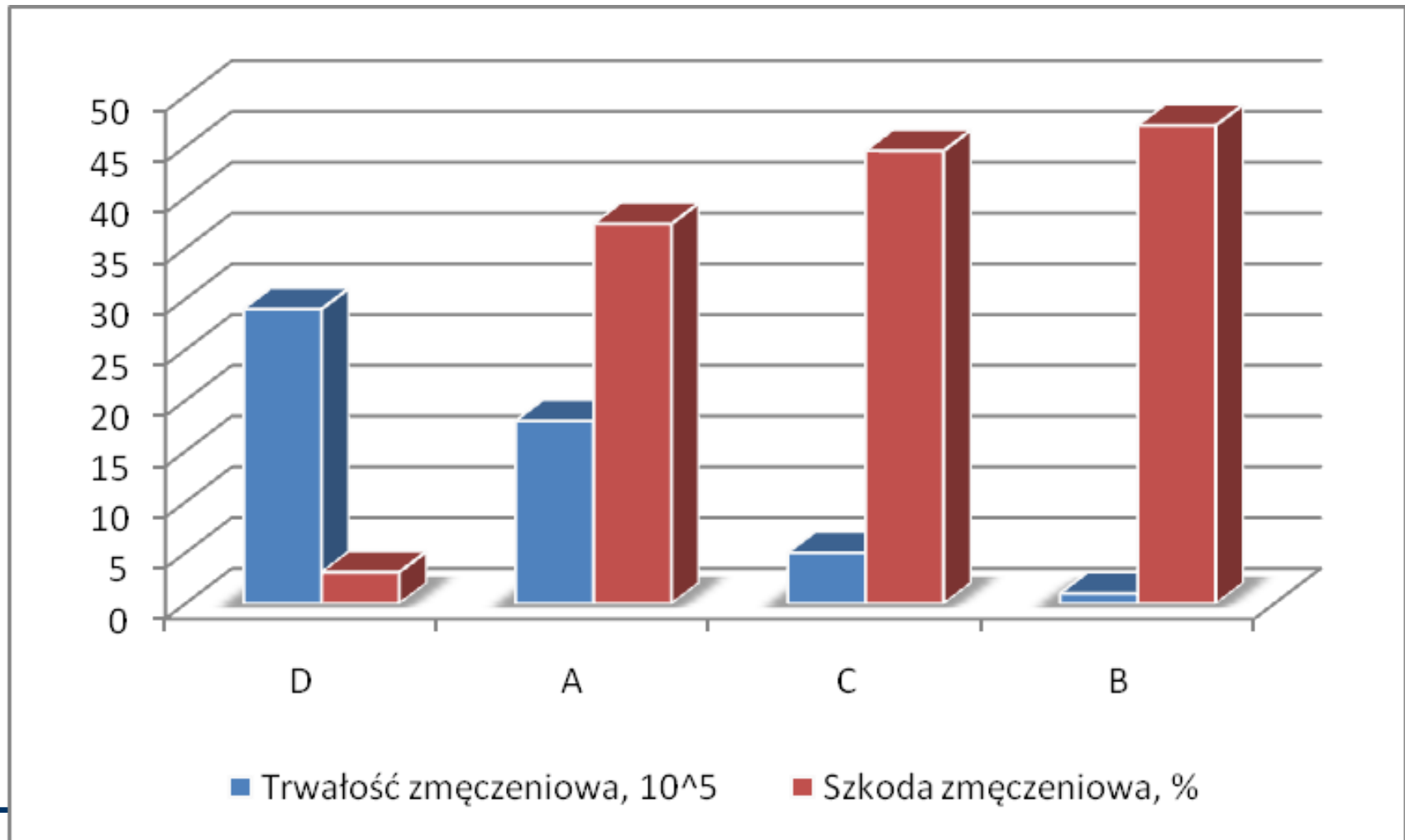


Obciążenie koła 60kN		Obciążenie koła 80kN		Trwałość zmęczenia wg IA (mln)		Trwałość zmęczenia wg badań laboratoryjnych, (mln)		Trwałość ze względu na odkształcenie podłoża, (mln)	
$\epsilon_{asf}, \mu m/m$	$\epsilon_{grunt}, \mu m/m$	$\epsilon_{asf}, \mu m/m$	$\epsilon_{grunt}, \mu m/m$	60 kN	80 kN	60 kN	80 kN	60 kN	80 kN
Odcinek A									
170	-570	202	-740	1,9	1,1	1,3	0,4	0,3	0,1
Odcinek B									
205	-736	234	-948	0,3	0,2	5,6	2,7	0,1	0,03
Odcinek C**									
175	-550	206	-711	0,5	0,3	0,16	0,06	0,36	0,11
Odcinek D									
86*	-626	99	-809	17,5	11,0	135,0	53,3	0,2	0,06
213		250		2,2	1,3	4,5	1,8		

Modelowanie a pomiary



Obliczenia a szkoda zmęczeniowa warstw asfaltowych



Sztywność i zmęczenie

1. **Sztywność 4PB** (PN-EN 12697-26) 10°C, 10Hz
 - Parametry do modelowania
 - Szkoda zmęczeniowa (zmiana sztywności)
2. **Zmęczenie 4PB** (PN-EN 12697-24) 10°C, 10Hz
 - Charakterystyka zmęczeniowa (18-20 próbek na mieszankę)
 - Szkoda zmęczeniowa (zmiana trwałości zmęczeniowej)



1. Przygotowane w laboratorium

HMAC 16 rec

AC 16 rec

PA rec

2. Wycięte z nawierzchni

Strefa obciążona (śląd koła):

- HMAC 16 A & HMAC 16 D
- AC 16 B & AC 16 C

Strefa nieobciążona (obok śladu):

- HMAC 16 A' & HMAC 16 D'
- AC 16 B' & AC 16 C'

Zmęczenie:

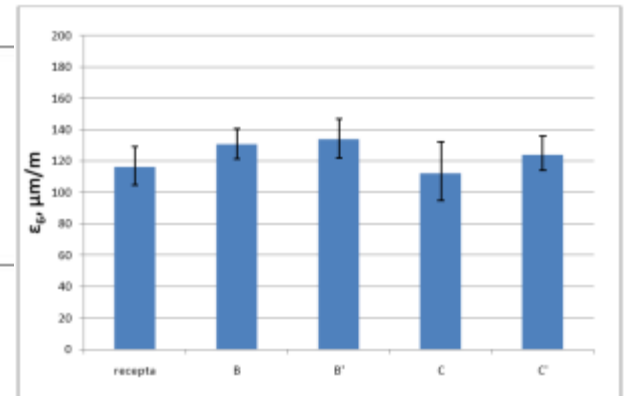
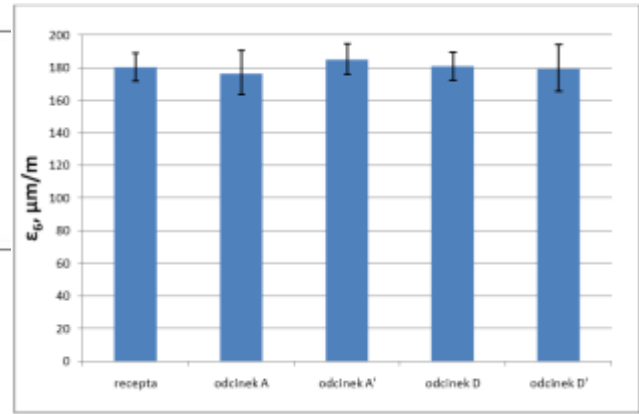
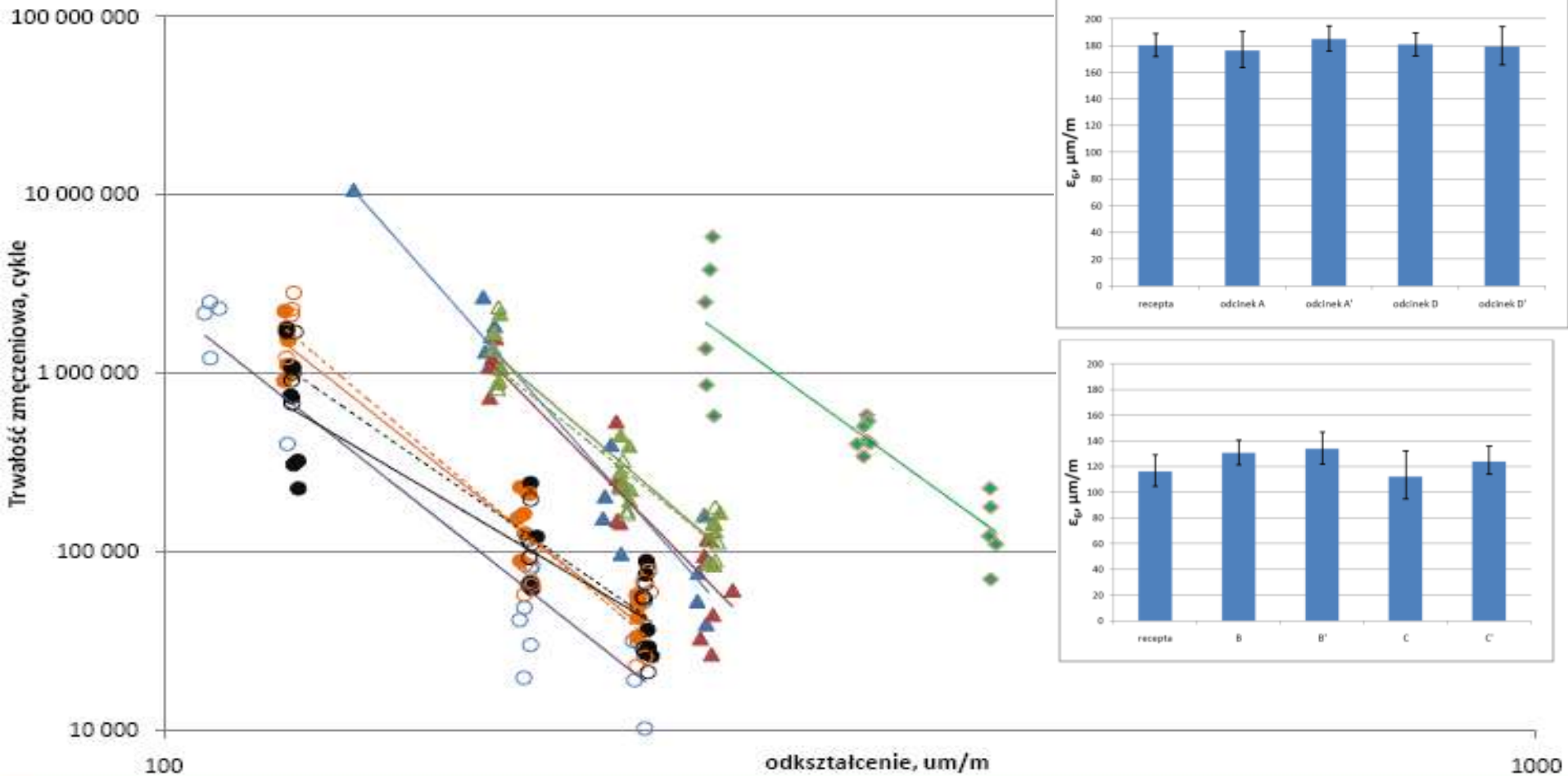
11 pełnych badań

≈ 215 próbek

≈ 140 mln cykli

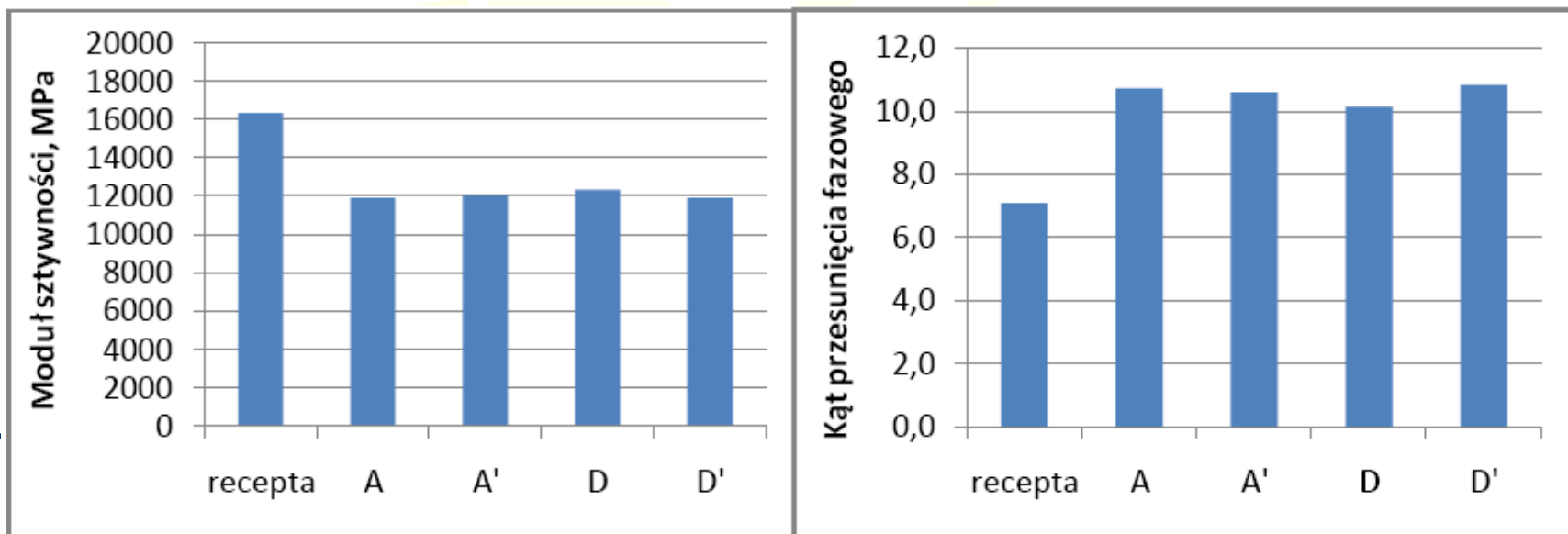
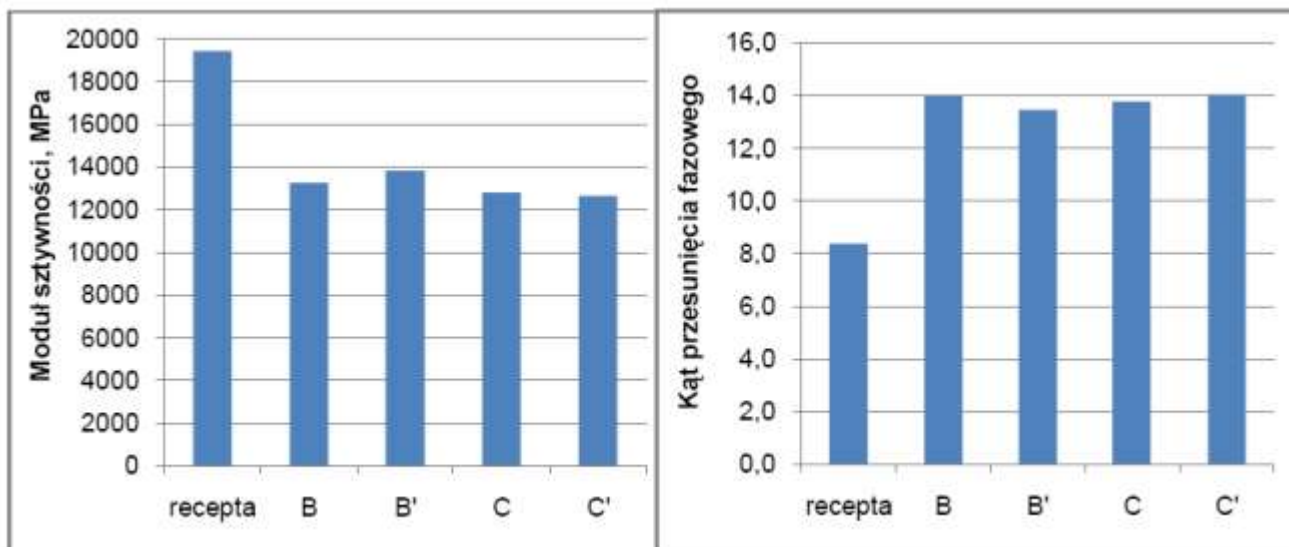
≈ 160 dni/24h

Badania laboratoryjne - zmęczenie



▲ AC WMS 16
 ▲ A AC WMS 16
 ▲ D AC WMS 16
 ▲ D' AC WMS16
 ○ AC 16 recepta
 ● B AC 16
 ● C AC 16
 ◆ AP AF recepta
 ○ B' AC 16
 ○ C' AC 16

Sztywność, 4PB



Samonaprawa – „healing”

- Zjawisko **samonaprawy** określane jest przez odzyskanie właściwości mechanicznych – sztywności, trwałości zmęczeniowej po zaprzestaniu obciążania nawierzchni/próbki lub w okresie pomiędzy kolejnymi obciążeniami
- Badania w okresie **letnich upałów** (czerwiec/lipiec 2008),
- Utrzymywana temperatura nawierzchni 10°C,
- Badania FWD 2-3 dni po odślonięciu nawierzchni
- Pobranie próbek sierpień (5-6 tygodni później)
- Wzrost temperatury nawierzchni o kilkadziesiąt stopni mógł spowodować zamknięcie mikrospękań, odzyskanie właściwości mechanicznych – zjawisko samonaprawy

Ogólna ocena konstrukcji

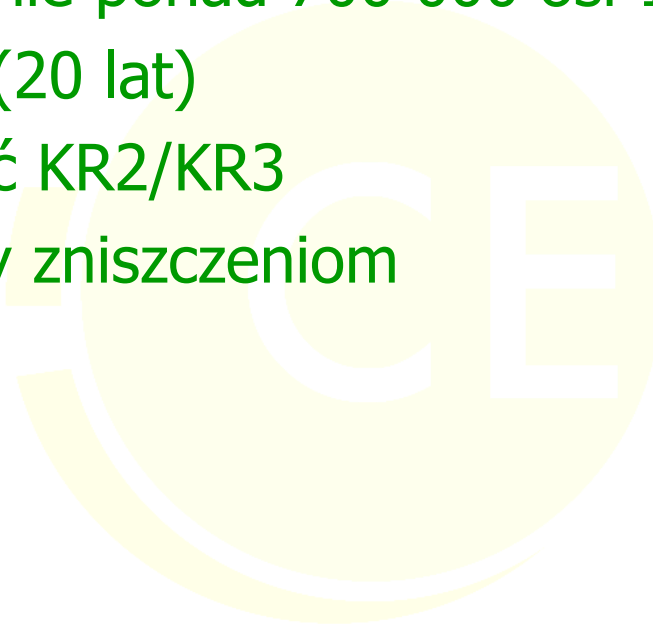
Obciążenie 200 000 (koło 60 kN) + 100 000 (koło 80 kN) w 14 dni

Równoważne obciążenie ponad 700 000 osi 100 kN

Kategoria ruchu KR3 (20 lat)

Konstrukcje – grubość KR2/KR3

Konstrukcje nie uległy zniszczeniom



Wnioski

- Dobre właściwości zaprojektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych stwierdzone w laboratorium znalazły potwierdzenie w badaniach HVS
- Wszystkie konstrukcje charakteryzowały się dobrą nośnością
- Lepsza praca konstrukcji z AC WMS
- Przydatność **kruszywa wapiennego** do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności stwierdzona w badaniach laboratoryjnych została potwierdzona w badaniach w skali rzeczywistej pod zwiększonym obciążeniem
- Zastosowanie **warstwy antyzmęczeniowej** w spodzie warstw asfaltowych jest efektywnym sposobem na zwiększenie trwałości konstrukcji nawierzchni



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!