

Typowe konstrukcje nawierzchni z warstwami AC WMS

Wojciech Bańkowski

dr hab. inż., prof. Instytutu

INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE



www.ibdim.edu.pl

KONGRES NAWIERZCHNI 2023

Kraków, 22-24 listopada

www.konferencjespecjalistyczne.pl



Przepis na AC WMS

Trwałość zmęczeniowa

BETON ASFALTOWY O WYSZYJNYCH PODATNYCHCI... CZYLI NIE SAMYM MOD

Wojciech Bank

VI KRAKOWSKIE DNI NAWIERZCHNI 2

www.konferencjespec

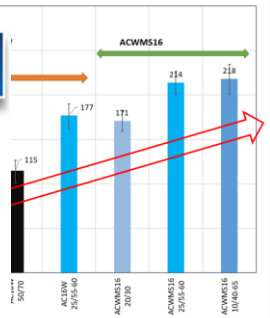
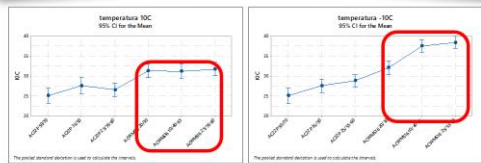
Sustainable Pavements for European New Member States (2006-2009)

- WP4.2
- Dostosowanie zaleceń AC WMS w wybranych krajach (Szwecja, Serbia, Chorwacja, Estonia, Bułgaria, Słowenia)
- Badania przyspieszone w skali rzeczywistej (HVS)
- Symulacja obciążenia od pojazdów ciężkich, 20 lat KR3 w dwa tygodnie



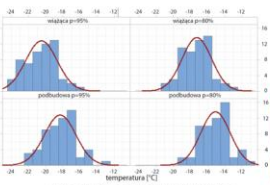
- Zmieni uziarnieni mieszanki mineralnej
- Dodaj więcej asfaltu
- Zmieni na twardsze drogowy
- lub zmieni na pol...

Odporność na propagację pęknięcia

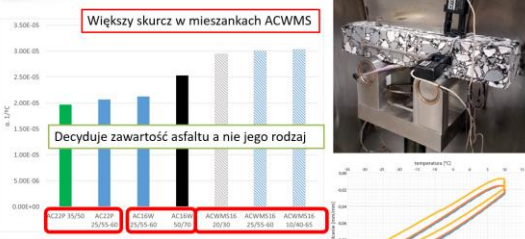


Ocena ryzyka pęknięcia niskotemperaturowego

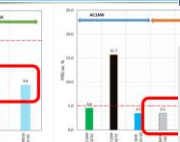
$$T_{min}^d = -1,56 + 0,72 \cdot T_{air} - 0,004 \cdot \phi^2 + 6,26 \cdot \log_{10}(\epsilon)$$



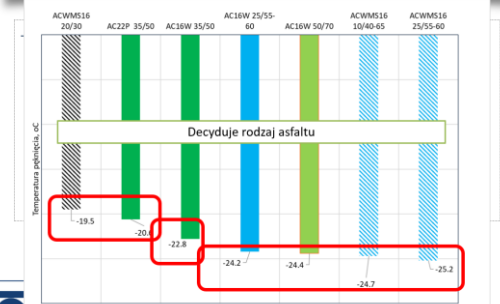
Badanie współczynnika rozszerzalności termicznej



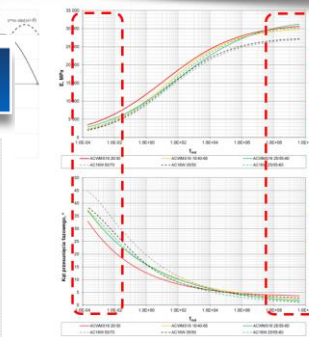
Oporność na koleiny



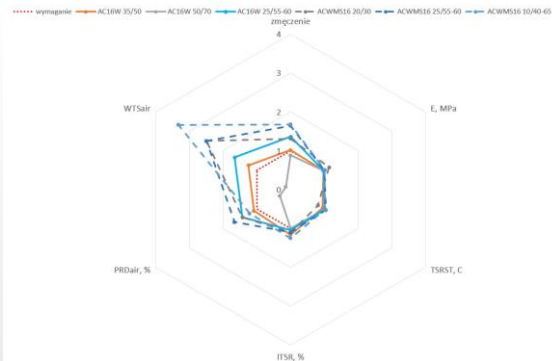
Odporność niskotemperaturowa



zespółny



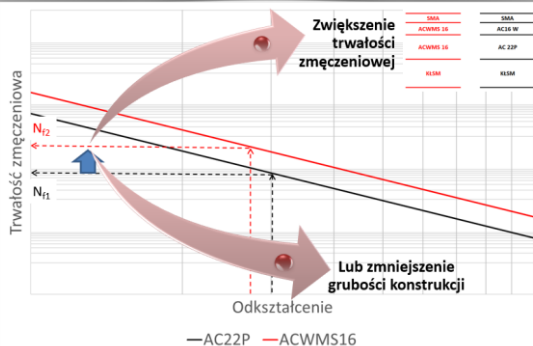
AWIERZ
22-24 listop
jespecj



Wnioski:

- (...)
- Wskazane opracowanie typowych konstrukcji
- Konieczne korekty wymagań w WT-2 w zakresie ACWMS, szczególnie w zakresie sztywności, wskazane określenie wymagań TSRST
- (...)

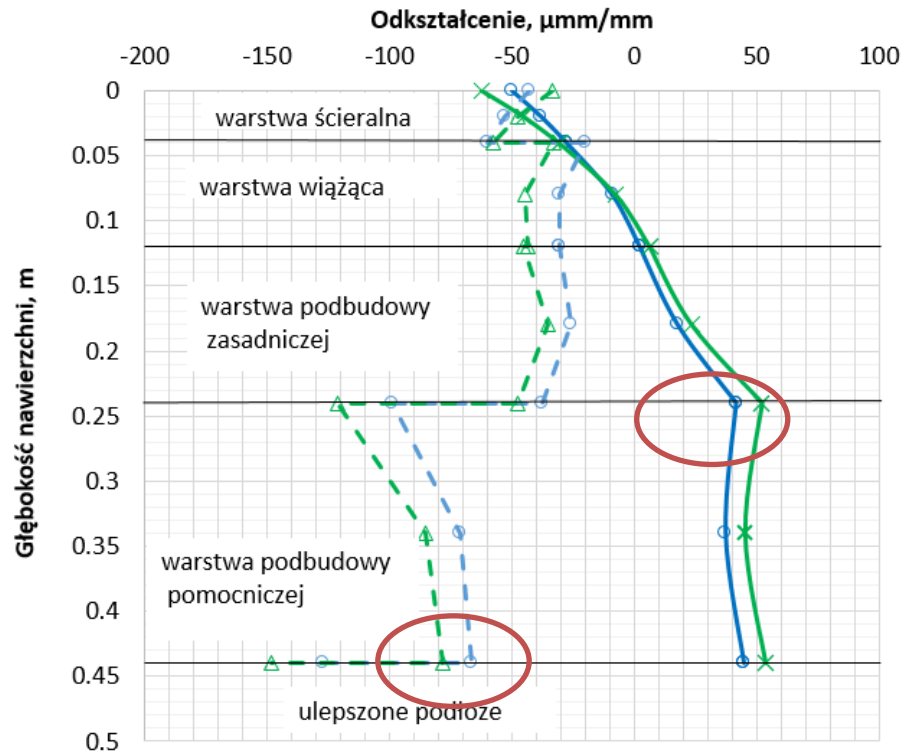
Trwałość zmęczeniowa w projektowaniu konstrukcji



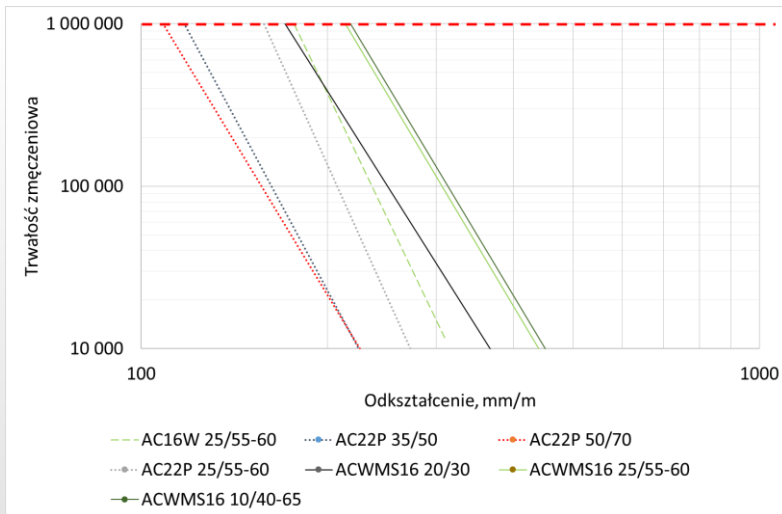
KONGRES NAWIERZCHNI 2023

Kraków, 22-24 listopada

ACWMS w projektowaniu konstrukcji



- odkształcenia poziome, konstrukcja z warstwami ACWMS
- ×— odkształcenia poziome, konstrukcja z warstwami AC
- odkształcenia pionowe, konstrukcja z warstwami ACWMS
- △- odkształcenia pionowe, konstrukcja z warstwami AC



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

$$C = 10^M$$

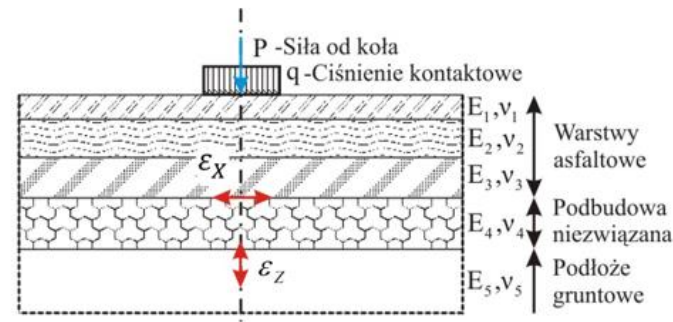
$$M = 4,84 \cdot \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69 \right)$$

$$k_1' = \frac{1}{0,000398 + \frac{0,003602}{1 + e^{(11,02 - 1,374 h_{ac})}}}$$

Francja -30%	Corté, J. Development and uses of Hard-Grade Asphalt and of High-Modulus Asphalt Mixes in France. Transportation Research Circular, 503, 2001, pp. 12-31.
USA – 16% (RAP, RAS)	Wielinski, J. C., and G. A. Huber. Evaluation of French High Modulus Asphalt (EME) in Pavement Structural Design (MEPDG). Journal of the AAPT, Vol 80, 2011, pp 697-718.
Szwecja – 25%	Espersson M.: "Effect in the high modulus asphalt concrete with the temperature", Construction and Building Materials, vol. 71 2014, 638-643
Australia – 20-30% Nawierzchnie długowieczne	Guyot, X. Use of High Modulus Asphalt - "EME" Case Studies in the Indian Ocean Area. 15th AAPA, International Flexible Pavements Conference, Brisbane, Australia, 2013; Newcomb, D. E., D. H. Timm, and R. Willis. Perpetual Asphalt Pavements: A Synthesis. Asphalt Pavement Alliance, Lanham, Md., 2010.
Tajlandia -20%	Lenfant, M. High Rutting Resistant Asphalt Pavement. Seminar for Thailand Department of Highways, TIPCO Asphalt Public Company Limited, Bangkok, Thailand, 269-289.
Irak – 3 lata AC = 20 lat EME	Albayati H.K.A., Lateif R.H.: „Evaluating the Performance of High Modulus Asphalt Concrete Mixture for Base Course in Iraq”, Journal of Engineering, vol.23, 2017
Polska -10 do -20%	Sybilski D., Bańkowski W., Horodecka R.: „Wpływ zastosowania betonu o wysokim module sztywności na trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni”, GDDKiA, TN-234, 2004 ,
Polska -30 do -50% (PMB)	Plewa A. „Ocena trwałości zmęczeniowej mieszanek mineralno-asfaltowych o wysokim module sztywności”, Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej, z. 59, nr 3/IV, 2012
Polska....	Bańkowski W.: „Charakterystyka właściwości i zastosowanie betonu asfaltowego o wysokim module sztywności w konstrukcjach nawierzchni drogowych”, 2019 , IBDiM

Projektowanie typowych konstrukcji Założenia

- Ogólna metodyka wg KTKNPiP
- $P=50 \text{ kN}$, $q=850 \text{ kPa}$, $t=13^\circ\text{C}$,
- Kryterium zmęczenia wg AASHTO 2004 (FC=10%)
- Kryterium odkształcenia podłoża wg IA
- KR3-7, górne granice kategorii
- *Moduły warstw asf. 13°C / 0,2 s.

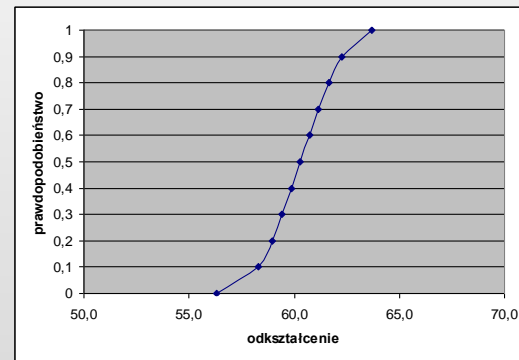
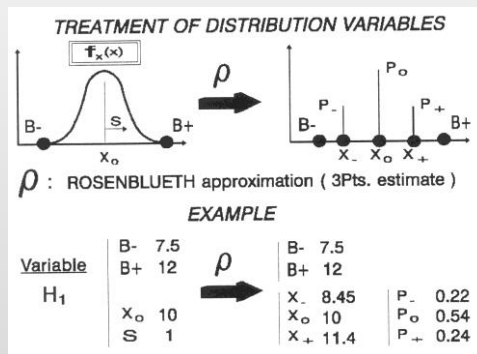
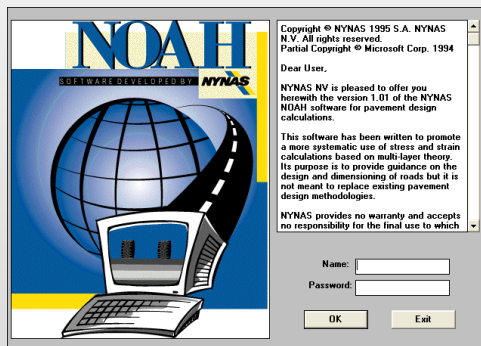


Warstwa	Moduł sztywności, MPa	Współczynnik Poissona
SMA	7 300	0,3
AC WMS 20/30	12 000/14 300 (14 000/17 000)*	0,3
AC WMS PMB 25/55-60	11 300 (13 000)*	0,3
Podbudowa pomocnicza $C_{90/3}$	400	0,3
Podbudowa pomocnicza $C_{50/30}$	300	0,3
Dolne warstwy konstrukcyjne KR3-4	100	0,35
Dolne warstwy konstrukcyjne KR5-7	120	0,35

Projektowanie konstrukcji typowych

Założenia

- Zastosowano dwie metody:
- Metoda deterministyczna (KTKNPiP)
- Metoda probabilistyczna



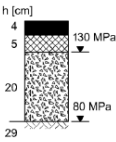
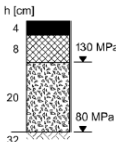
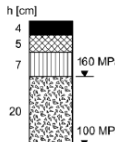
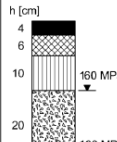
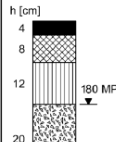
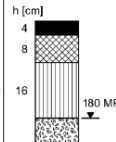
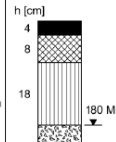





Dystrybuanta prawdopodobieństwa

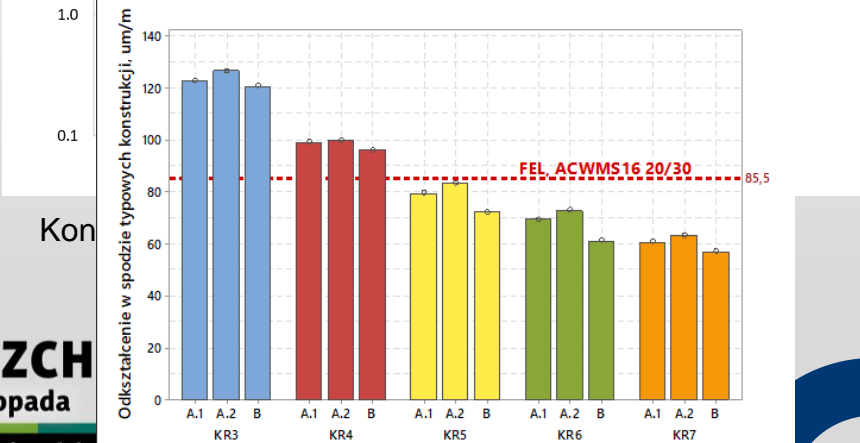
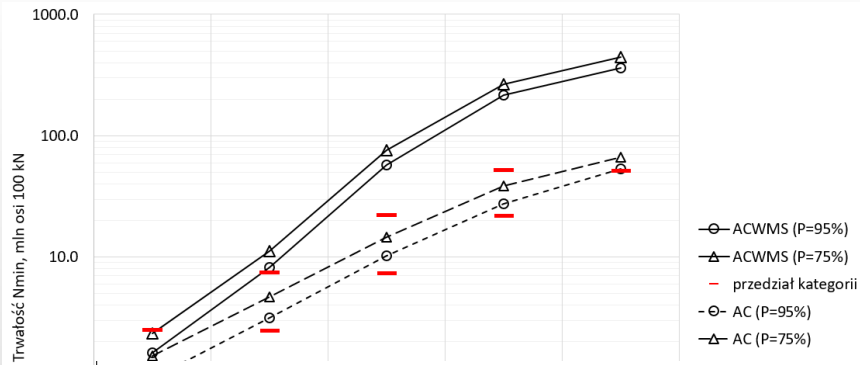
KONGRES NAWIERZCHNI 2023

Kraków, 22-24 listopada

Projektowanie typowych konstrukcji obliczenia wstępne

Tablica 9.1. TYP A1 - Typowe konstrukcje górnych warstw nawierzchni podatnych
 Podbudowa zasadnicza: beton asfaltowy AC, mieszanka niezwiązana z kruszywem C_{90/3}

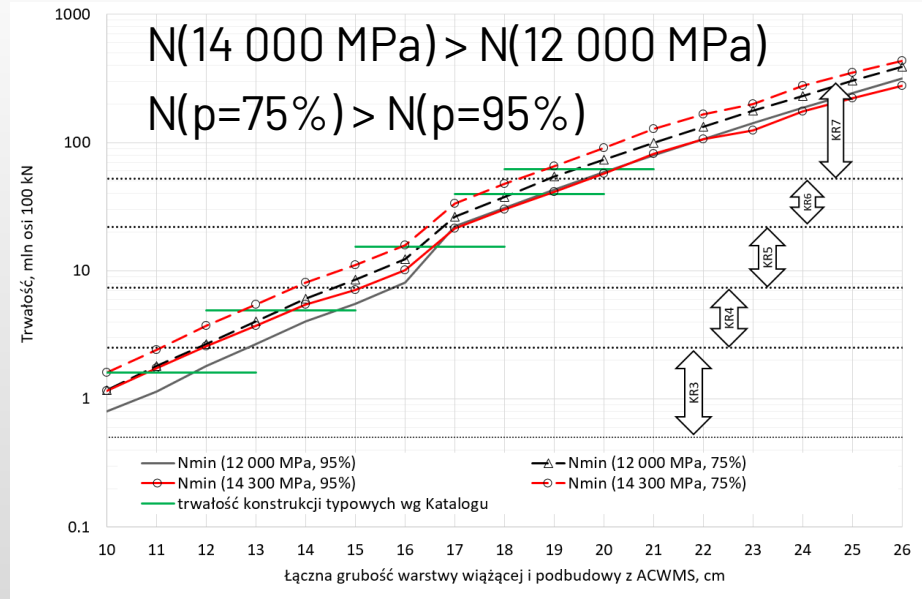
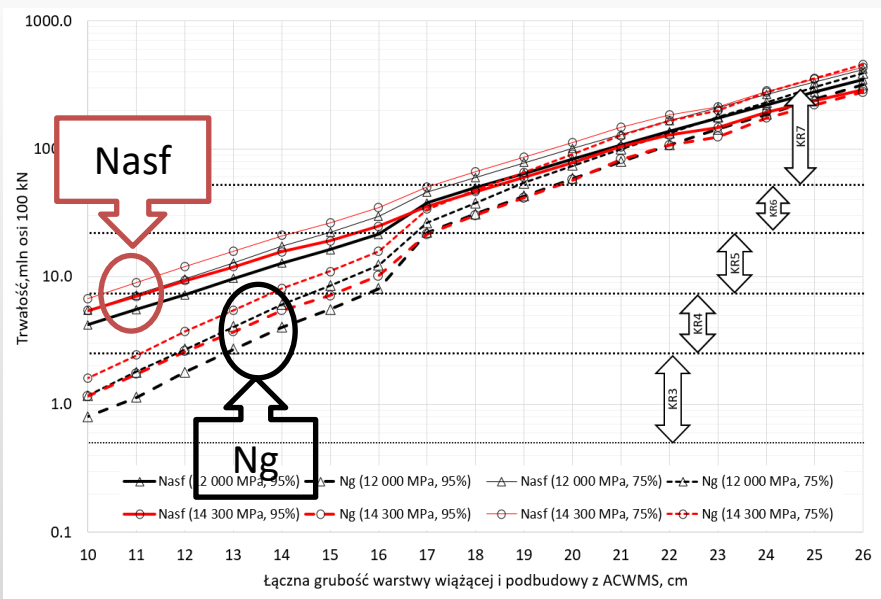
Kategoria ruchu	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6	KR7
Ruch projektowy (min osi 100 kN)	0,03 - 0,09	0,09 - 0,5	0,5 - 2,5	2,5 - 7,4	7,4 - 22,0	22,0 - 52,0	> 52,0
TYP A1							
LEGENDA:	<ul style="list-style-type: none">  warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-asfaltowej;  warstwa wiążąca z betonu asfaltowego;  warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego;  warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C_{90/3};  wymagany wtórny moduł odkształcenia E₂ 						



KONGRES NAWIERZCH
 Kraków, 22-24 listopada

Projektowanie typowych konstrukcji

Obliczenia dla konstrukcji typ A.1



Konstrukcja Typ A.1, AC WMS (dwa kryteria)

Konstrukcja Typ A.1, AC WMS (trwałość)

KONGRES NAWIERZCHNI 2023

Kraków, 22-24 listopada

Projektowanie typowych konstrukcji

Wyniki

Redukcja grubości (**Typ A.1**)

Kategoria ruchu	Redukcja grubości łącznej warstwy wiążącej i podbudowy w porównaniu do typowych konstrukcji z betonem asfaltowym	Redukcja grubości całego pakietu warstw asfaltowych względem konstrukcji typowych konstrukcji z betonem asfaltowym
KR3	od 0 do 2 cm	od 0 do 13%
KR4	od 1 do 3 cm	Od 5 do 15%
KR5	od 3 do 4 cm	od 13 do 17%
KR6	od 5 do 6 cm	od 18 do 21%
KR7	od 5 do 7 cm	od 17 do 23%

KONGRES NAWIERZCHNI 2023

Kraków, 22-24 listopada

Projektowanie typowych konstrukcji

Wyniki

Redukcja grubości (**Typ A.2**)

Kategoria ruchu	Redukcja grubości łącznej warstwy wiążącej i podbudowy w porównaniu do typowych konstrukcji z betonem asfaltowym	Redukcja grubości całego pakietu warstw asfaltowych względem konstrukcji typowych konstrukcji z betonem asfaltowym
KR3	od 0 do 1 cm	od 0 do 6%
KR4	od 1 do 2 cm	od 5 do 10%
KR5	4 cm	17%
KR6	od 6 do 7 cm	od 21 do 25%
KR7	od 6 do 7 cm	od 20 do 23%

KONGRES NAWIERZCHNI 2023

Kraków, 22-24 listopada

Projektowanie typowych konstrukcji

Ostatnia wersja konstrukcji

Końcowy etap uzgodnień wewnętrznych GDDKiA

Konstrukcja K17 78.91 mln osł.100 kN	Konstrukcja K18 37.82 mln osł.100 kN	Konstrukcja K19 14.722 mln osł.100 kN	Konstrukcja K20 5.073 mln osł.100 kN	Konstrukcja K21 1.623 mln osł.100 kN
Mieszanka SMA - 3 cm AC 19MM 10.00	Mieszanka SMA - 3 cm AC 19MM 10.00	Mieszanka SMA - 4 cm AC 19MM 10.00	Mieszanka SMA - 4 cm AC 19MM 10.00	Mieszanka SMA - 3 cm AC 19MM 10.00
AC 19MM 10.00	AC 19MM 10.00	AC 19MM 10.00	AC 19MM 10.00	AC 19MM 10.00
AC 19MM 10.00	AC 19MM 10.00	AC 19MM 10.00	AC 19MM 10.00	AC 19MM 10.00
Podbudowa zasadnicza / mieszanka nieszlufanej / kruszywem C ₈₀₀ 20 cm	Podbudowa zasadnicza / mieszanka nieszlufanej / kruszywem C ₈₀₀ 20 cm	Podbudowa zasadnicza / mieszanka nieszlufanej / kruszywem C ₈₀₀ 20 cm	Podbudowa zasadnicza / mieszanka nieszlufanej / kruszywem C ₈₀₀ 20 cm	Podbudowa zasadnicza / mieszanka nieszlufanej / kruszywem C ₈₀₀ 20 cm
dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany sferyczny moduł odkształcenia E > 120 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany sferyczny moduł odkształcenia E > 120 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany sferyczny moduł odkształcenia E > 120 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany sferyczny moduł odkształcenia E > 100 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany sferyczny moduł odkształcenia E > 100 MPa

Projektowanie typowych konstrukcji Założenia

Koncepcja odłożona na przyszłość....

Kategorie „połówkowe”

Konstrukcja KR6.5	Konstrukcja KR5.5	Konstrukcja KR4.5	Konstrukcja KR3.5	Konstrukcja KR2.5
52				10 kN
Mie	Katalog WMS	Zakres kategorii w mln osi 100 kN	KTKN <i>PiP</i>	Zakres kategorii w mln osi 100 kN
	KR 3a	$0,50 < N_{100} \leq 1,50$	KR 3	$0,50 < N_{100} \leq 2,50$
	KR 3b	$1,50 < N_{100} \leq 2,50$		
	KR 4a	$2,50 < N_{100} \leq 5,00$	KR 4	$2,50 < N_{100} \leq 7,30$
	KR 4b	$5,00 < N_{100} \leq 7,30$		
	KR 5a	$7,30 < N_{100} \leq 14,7$	KR 5	$7,30 < N_{100} \leq 22,00$
Podmieszkru	KR 5b	$14,7 < N_{100} \leq 22,0$		
	KR 6a	$22,0 < N_{100} \leq 37,0$	KR 6	$22,00 < N_{100} \leq 52,00$
	KR 6b	$37,0 < N_{100} \leq 52,0$		
dolne wymiary	KR 7a	$52,0 < N_{100} \leq 78,0$	KR 7	$N_{100} > 52,00$
odkształcenia $E_2 \geq 120$ MPa	KR 7b	$78,0 < N_{100} \leq 91,0$		

KR7b	27 cm
KR7a	25 cm
KR6b	25 cm
KR6a	23cm
KR5b	22cm
KR5a	21cm
KR4b	19cm

KONGRES NAWIERZCHNI 2023

Kraków, 22-24 listopada

4.	Lepiszczce	<ul style="list-style-type: none"> Asfalt drogowy 20/30 w I i II strefie klimatycznej wg rys.1 WT-2 2014 cz. 1, wymaganie dodatkowe: temperatura tężliwości wg Fraassa po teście RTFOT nie wyższa niż -5° C Asfalty modyfikowane : PMB 25/55-60, PMB 10/40-65 wymaganie dodatkowe: temperatura tężliwości wg Fraassa po teście RTFOT nie wyższa niż -10° C
----	------------	--

war
wym

Warstwa wiążąca ^a			
Odporność na pękanie- temperatura- pęknięcia ^a	C.1.20, wałowanie, P ₉₈ -P ₁₀₀ ^a	PN-EN-12697-46, punkt-8.2 ^a	≤-25°C ^a

wiążąca + podbudowa

Propozycja IBDiM

Właściwość	Warunki zagęszczenia wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	Wymaganie
Uziarnienie MM oraz zawartość lepiszcza		PN-EN 12697-1	Tabela 22. WT-2 2014 – część I
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1..3, ubijanie, 2 x 75 uderzeń	PN-EN 12697-8, p. 4	V _{min} 2,0 V _{max} 4,0
Wrażliwość na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2 x 35 uderzeń	Instrukcja badawcza: Określanie wrażliwości próbek mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody i mrozu, Załącznik 1 do WT-2 2014 cz. 1	ITSR ₉₀
*Odporność na deformacje trwałe ^{a, c)}	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	WTS _{A1R 0,10} PRDA _{1R 5,0}
*Odporność na deformacje trwałe ^{c)}	C.1.20, wałowanie, P ₉₈ -P ₁₀₀	PN-EN 12697-22, aparat duży, 60°C, 30 000 cykli, grubość płyty 100 mm	P _{7,5}
Sztwywność [MPa] ^{c)}	C.1.20, wałowanie, P ₉₈ -P ₁₀₀	PN-EN 12697-26, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	S _{min} 14 000 ¹ S _{min} 13 000 ² S _{max} 17 000

Odporność na spękania niskotemperaturowe, °C	C.1.20, wałowanie, P ₉₈ -P ₁₀₀	PN-EN 12697-46, pkt 8.2	<i>Podać wartość</i>
Odporność na zmęczenie, kategoria nie niższa niż c ¹⁾	C.1.20, wałowanie, P ₉₈ -P ₁₀₀	PN-EN 12697-24, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	E6-130µm/m ¹ E6-170µm/m ²

^{a)} grubość płyty: AC WMS 16 – 60 mm, AC WMS 22 – 80 mm;
^{b)} ujednoliconą procedurę badania odporności na działanie wody z jednym cyklem zamrażania podano w załączniku 1 WT-2 2014 cz. I;
^{c)} procedurę kondycjonowania krótkoterminowego MMA przed zagęszczeniem próbek do badań podano w załączniku 2 WT-2 2014 cz. I;
 * odporność na deformacje trwałe – należy wybrać jedną z metod;
¹ dotyczy tylko mieszanek z asfaltem 20/30
² dotyczy mieszanek z polimeroasfaltami PMB 25/55-60 i PMB 10/40-65

RES NAWIERZCHNI 2025
Kraków, 22-24 listopada

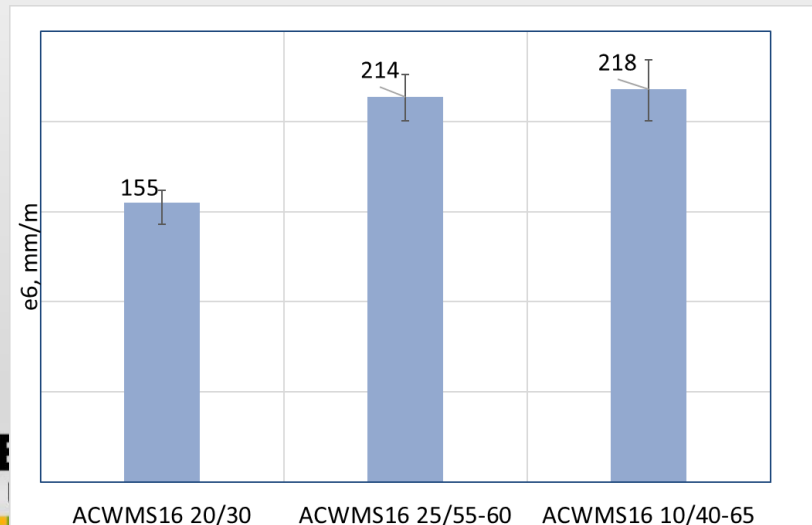
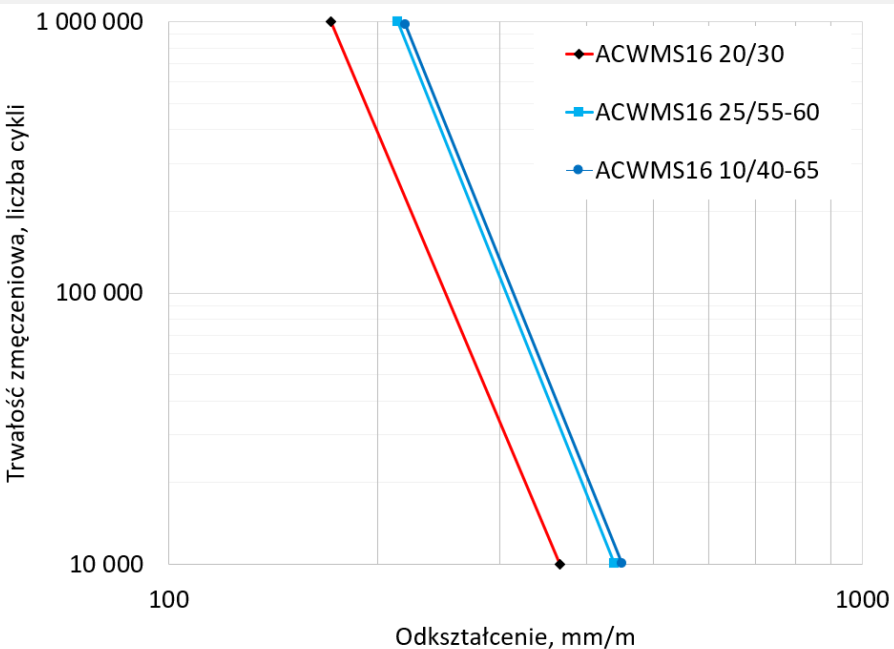
Projektowanie konstrukcji typowych

Zmęczenie i sztywność AC WMS

Wymagania

Dlaczego różne wymagania zmęczeniowe dla 20/30 i PMB?

Odporność na zmęczenie, kategoria nie niższa niż c)	C.1.20, wałowanie, P ₉₈ -P ₁₀₀	PN-EN 12697-24, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	$E_6-130\mu\text{m}/\text{m}^1$ $E_6-170\mu\text{m}/\text{m}^2$
---	--	--	--



Projektowanie konstrukcji typowych

Zmęczenie i sztywność AC WMS

Wymagania

Dlaczego różne wymagania sztywności dla 20/30 i PMB?

- ACWMS z 20/30: sztywność **14 000** – 17 000 MPa (12 000 – 14 300 MPa)
- ACWMS z PMB: sztywność **13 000** – 17 000 MPa (11 300 – 14 300 MPa)



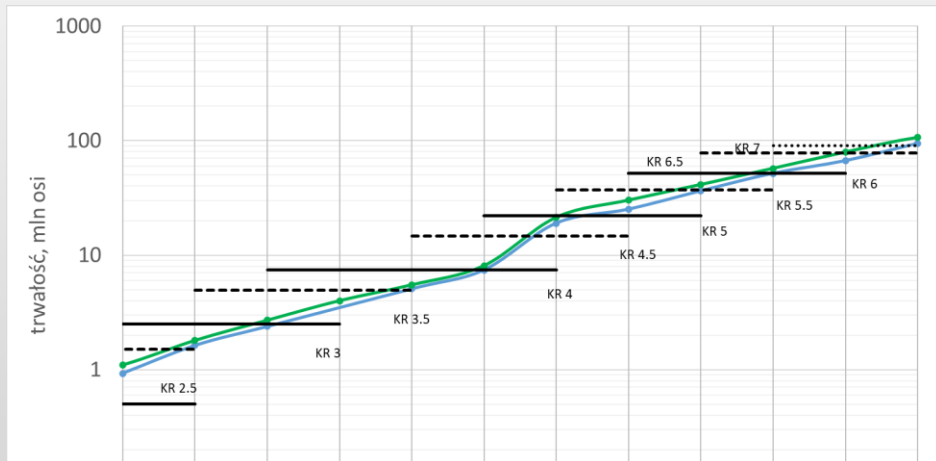
**BETON ASFALTOWY O WYSOKIM MODULE
 SZTYWNOŚCI W NAWIERZCHNIACH
 PODATNYCH**

...CZYLI NIE SAMYM MODULEM WMS STOI

VI KRAKÓW
 www.k...

Podsumowanie

- ACWMS jest mieszanką o **specjalnych i zrównoważonych** właściwościach
- **Sztywność nie jest wyznacznikiem „jakości”** czy też za



Niewielka różnica w trwałości obliczeniowej
 Te same grubości wynikowe dla KR

Dodatkowy zapas związany z lepszą charakterystyką zmęczeniową PMB

Projektowanie konstrukcji typowych Wnioski

- W projektowaniu wdrożono **metodykę** stosowaną przy opracowaniu **KTKNPIp (2014)**
- Dodatkowo przeprowadzono analizy **metodą probabilistyczną** z uwzględnieniem zmienności wybranych parametrów
- Metoda probabilistyczna wprowadza **dodatkowy zapas bezpieczeństwa** w porównaniu do metody deterministycznej
- Uwzględniono **zmienność sztywności** warstw AC WMS odpowiadającą **nowym wymaganiom** GDDKiA
- Analizy potwierdziły **istotnie wyższe trwałości** zmęczeniowe konstrukcji z AC WMS, potencjał nawierzchni **długowiecznych**, spełniony warunek **FEL**
- Typowe konstrukcje z ACWMS mają **mniejszą grubość** pakietu asfaltowego przy **zachowaniu** wymaganej **trwałości**
- Potencjał **redukcji kosztów** i zużycia **materiałów** nieodnawialnych
- **Najwyższa efektywność** stosowania ACWMS względem trwałości zmęczeniowej jest w **najwyższych KR**

KONGRES NAWIERZCHNI 2023

Kraków, 22-24 listopada

Zapraszam do lektury...

S studia
i materiały
zeszyt **81**

Instytut
Badawczy
Dróg
i Mostów

Wojciech Bańkowski

CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI
I ZASTOSOWANIE BETONU ASFALTOWEGO
O WYSOKIM MODULE SZTYWNOŚCI
W KONSTRUKCJACH NAWIERZCHNI DROGOWYCH



Warszawa 2019

- Przegląd stanu wiedzy
- Badania laboratoryjne i terenowe
- Również asfalty HiMA
- Analizy pracy konstrukcji (zmęczenie, niskie temperatury)
- Projektowanie konstrukcji (metody, konstrukcje typowe)

KONGRES NAWIERZCHNI 2023

Kraków, 22-24 listopada

www.konferencjespecjalistyczne.pl

Dziękuję za uwagę



**INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW**
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

wbankowski@ibdim.edu.pl