



Nawierzchnie Asfaltowe

Zakres działalności i możliwości badawcze Zakładu Technologii Nawierzchni IBDiM

Wojciech Bańkowski

Kierownik Zakładu TN

24.06.2025



Ogólne spojrzenie na problematykę projektowania nawierzchni

Projektowanie nawierzchni

Nawierzchnia drogowa w **wykonaniu** jest jedną z **najprostszych** konstrukcji inżynierskich

Nawierzchnia drogowa w **analizie i projektowaniu** jest jedną z **najtrudniejszych** konstrukcji inżynierskich

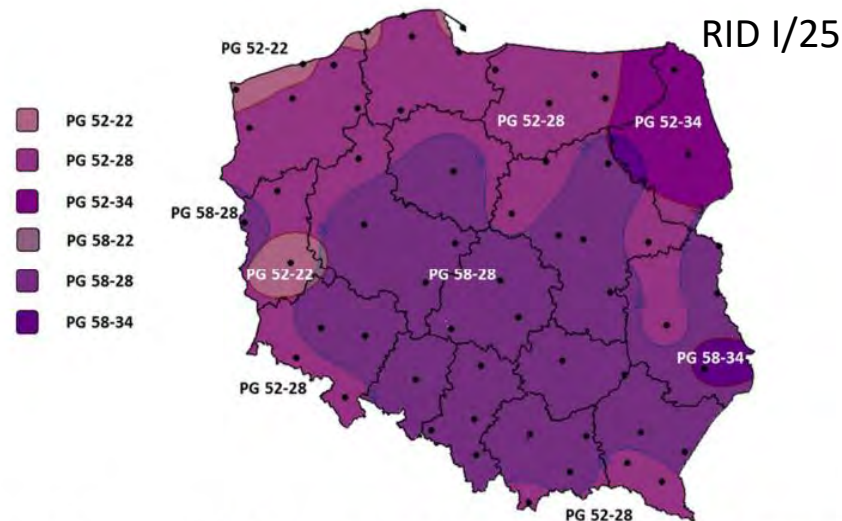
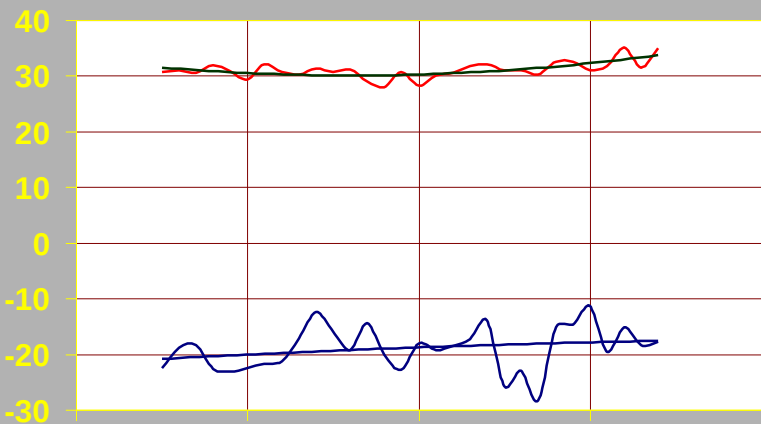
Rzadko jest przyczyną uszkodzenia ciała lub śmierci użytkownika

Konsekwencje **finansowe** są natomiast nadzwyczaj duże, zwłaszcza związane z kosztami utrzymania infrastruktury oraz kosztami społecznymi

Projektowanie nawierzchni

Oddziaływania klimatyczne

- Roczna amplituda między najwyższą a najniższą **temperaturą powietrza** może sięgać nawet **około 60-70°C**
- Amplituda **temperatury nawierzchni**, w szczególności warstwy ścieralnej może być wyższa (nawet ponad 90°C)
- Cykliczne przejścia przez 0°C
- (Oddziaływanie wody)

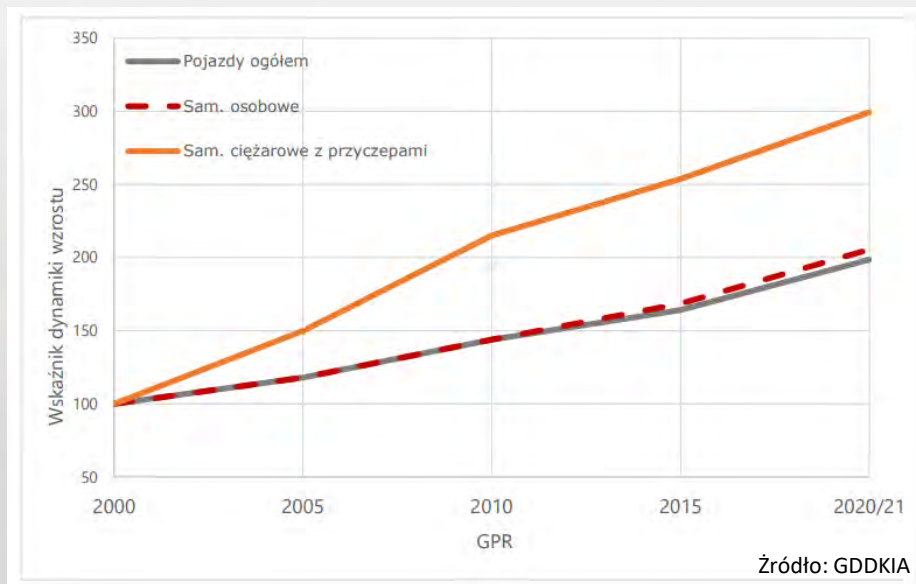


Rys. 4.1 Strefy klimatyczne do doboru rodzaju funkcjonalnego asfaltów stosowanych do warstwy ścieralnej, P=98%

Projektowanie nawierzchni

Obciążenia od pojazdów

Ciągły trend wzrostowy w zakresie liczby pojazdów ciężkich z przyczepami
(wzrost liczby obciążeń)



Projektowanie nawierzchni

Obciążenia od pojazdów
(wzrost wielkości obciążenia)

wzrost obciążenia osi: ze 100 do 115 kN

wzrost ciśnienia w oponie



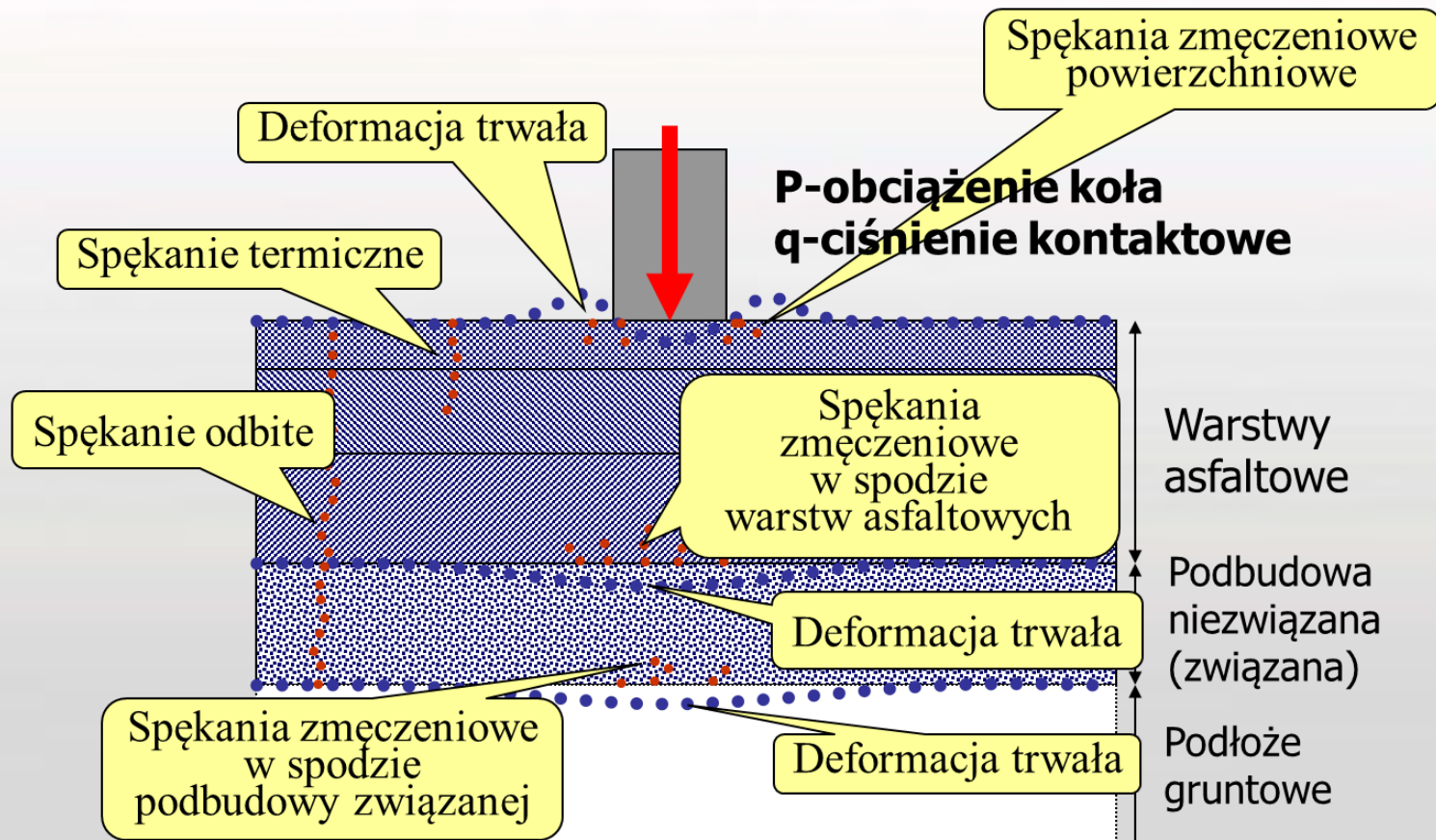
Ciśnienie $0,6 \div 0,7$ MPa

Ciśnienie $0,8 \div 1,1$ MPa

pojazdy przeciążone...

nowe rodzaje pojazdów (pociągi drogowe, Platooning (transport w kolumnie autonomicznej)) – wzrost częstotliwości obciążenia, superpozycja obciążeń

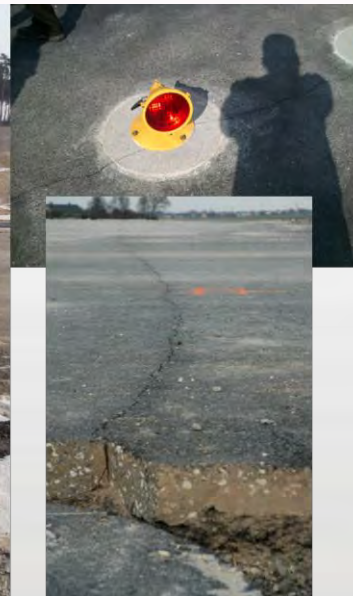
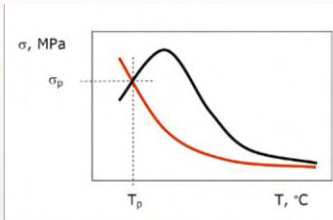
Potencjalne uszkodzenia i ich mechanizmy



Zmęczenie



Spękania niskotemperaturowe



Błąd w sztuce budowlanej

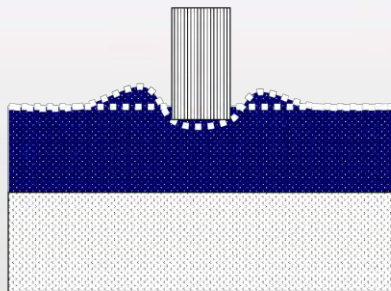
Oddziaływanie temperatury - temperatury ujemne - układ trójwarstwowy



Deformacje trwałe

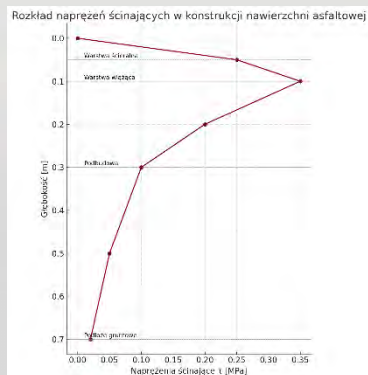
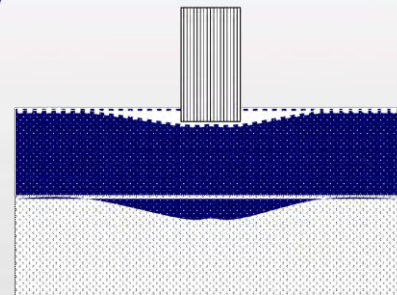
Deformacje trwałe lepkoplastyczne

wada materiałowa
warstw
asfaltowych



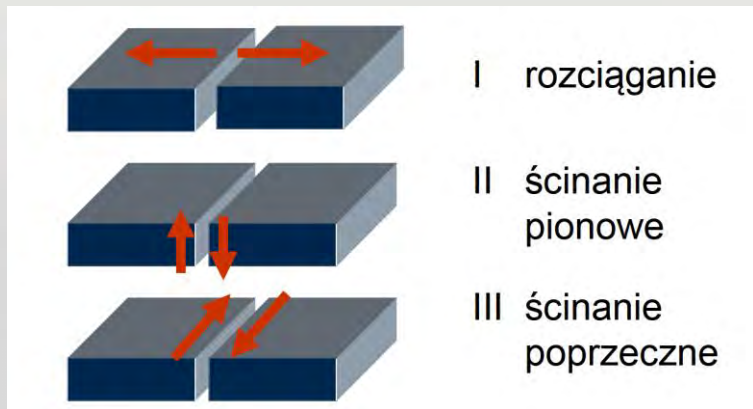
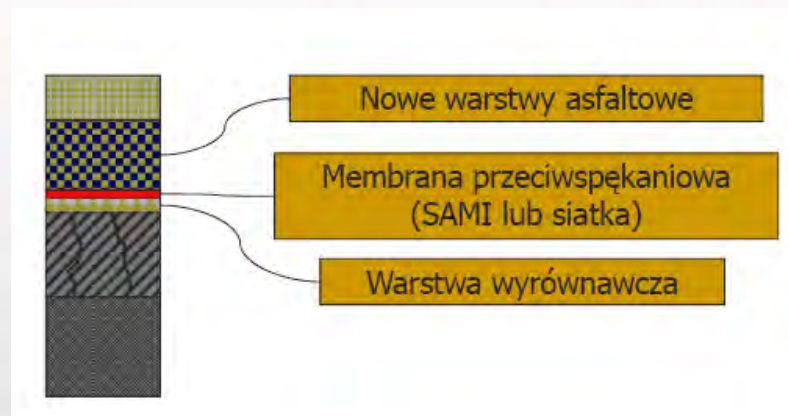
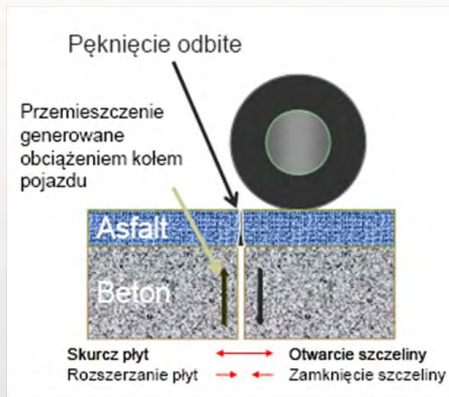
Deformacje trwałe strukturalne

wada konstrukcji,
niedostateczna
grubość
słabe podłoże



Spękania odbite

Problem
nawierzchni
kompozytowych i
półsztywnych,
remonty



Woda w nawierzchni



Błędy w sztuce – odwodnienie (błąd projektowy),
połączenie międzywarstwowe, słaba adhezja (błąd
wykonawczy)

Czy możemy zapobiec uszkodzeniom?

Tak, możemy!

Znamy mechanizmy, znamy przyczyny, mamy środki, metody i materiały, aby temu zapobiegać

W większości przypadków uszkodzenie jest skutkiem błędu lub kumulacji błędów, które mogą powstać na każdym etapie procesu od projektu po wykonanie i utrzymanie

Niektóre uszkodzenia można całkowicie wyeliminować np. deformacje trwałe, ubytki powierzchniowe

W przypadku innych możemy minimalizować ryzyko lub wyeliminować całkowicie już na etapie projektu:

- spękania niskotemperaturowe – dobór asfaltu

- zmęczenie – dobór mieszanki, asfaltu, nawierzchnie długowieczne

- spękania odbite – zabiegi przeciwspekaniowe

Projektowanie nawierzchni

Projektowanie nawierzchni to:

Wymiarowanie czyli dobór układu i grubości warstw konstrukcyjnych tak w odniesieniu obciążenia ruchem

Technologia czyli dobór mieszanek i materiałów do warunków obciążenia ruchem i klimatem, plus ewentualne techniki zapobiegania spękanom

Cele projektowania:

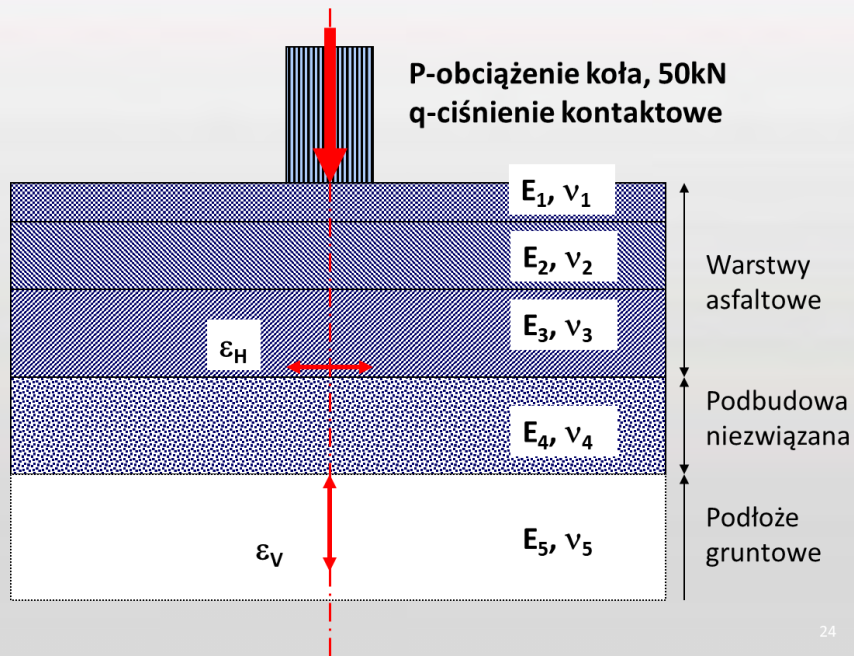
Zapewnienie **nośności** czyli zdolności do przenoszenia obciążenia w założonym okresie obliczeniowym

Zapewnienie **bezpieczeństwa i komfortu** użytkowników

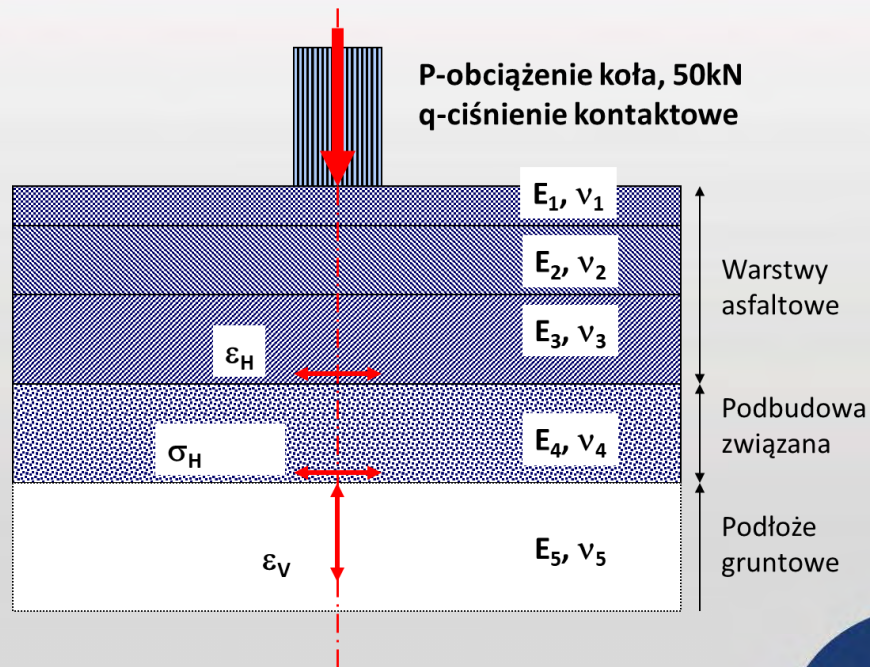
Uwzględnienie aspektów oddziaływania na **środowisko** i człowieka

Projektowanie nawierzchni Metoda mechanistyczna

Wymiarowanie nawierzchni podatnej



Wymiarowanie nawierzchni półsztywnej



Projektowanie nawierzchni

Metoda mechanistyczna

1. Kryteria trwałości zmęczeniowej
2. Obciążenie ruchem – liczba osi obliczeniowych N100
3. Dane o konstrukcji, podłożu warunkach gruntowo-wodnych
4. Sprawdzenie warunku wysadzinowości

Zastosowanie:

1. Wszystkie kategorie ruchu
2. Nawierzchnie nowe
3. Nawierzchnie wzmacniane i przebudowywane
4. Uwzględnienie właściwości mechanicznych każdej warstwy
5. Uwzględnienie połączenia międzywarstwowego
6. Możliwość uwzględnienia probabilistyki

Metoda trudna, wymagająca doświadczenia

$$N_{asf} = 7,3557 \cdot (10^{-6}) \cdot C \cdot k'_1 \cdot (\epsilon_t^{-3,9492}) \cdot E^{-1,281}$$

w którym:

$$C = 10^M$$

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

N_{asf} – trwałość zmęczeniowa, (liczba osi obliczeniowych),

ϵ_t – odkształcenie rozciągające, ($\mu\text{m/m}$),

E – moduł sztywności, (MPa),

V_b – zawartość objętościowa asfaltu, (% v/v),

V_a – zawartość objętościowa kruszywa, (% v/v),

h_{ac} – grubość pakietu warstw asfaltowych,

k_1 – parametr wg wzoru:

$$k'_1 = \frac{1}{0,000398 + \frac{0,003602}{1 + e^{(11,02 - 1,374 \cdot h_{ac})}}}$$

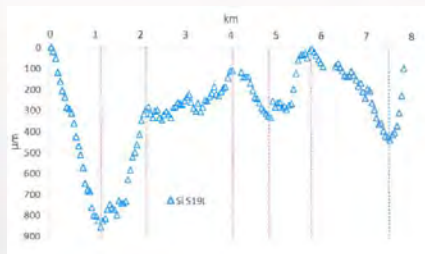
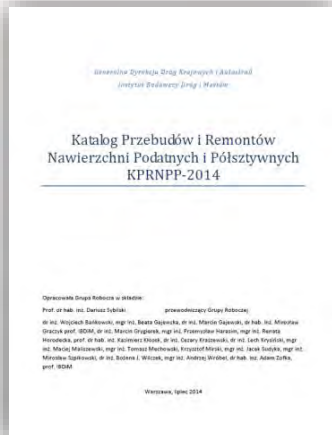
$$\epsilon_P = 0,0105 \cdot N_{gr}^{-0,223}$$

$$\log N_f = 11,784 - 12,121 \cdot \frac{\sigma_t}{R_{zgin}}$$

$$N_{100} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot (N_C \cdot r_C + N_{C+P} \cdot r_{C+P} + N_A \cdot r_A)$$

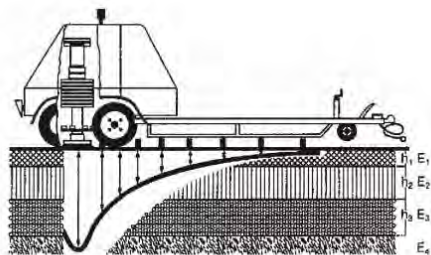
Projektowanie nawierzchni

Metoda ugięć

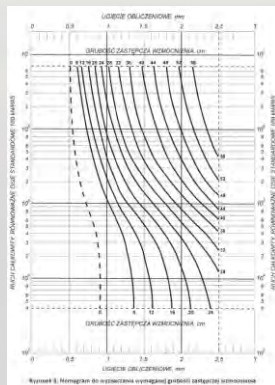


$$U_{obl} = U_m \cdot f_T \cdot f_S \cdot f_P$$

1. Kategoria KR1-KR4
2. Nawierzchnie wzmacniane
3. Zalety i ograniczenia
4. Pomiar ugięcia
5. Odcinki jednorodne
6. Nomogram
7. Grubość zastępcza nakładki



Rysunek 2 Schemat badania ugięciomierzem FWD (wraz z czaszą ugięć)

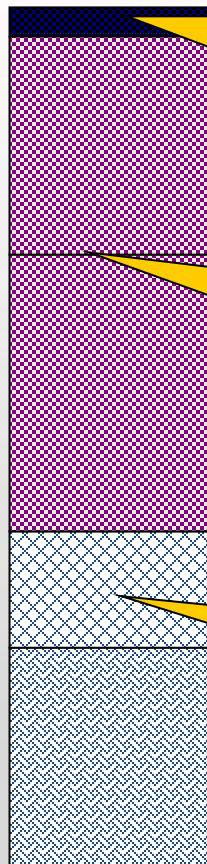


Projektowanie nawierzchni Technologia

Projektowanie **metodą mechanistyczną**, metodą ugięć koncentruje się na **nośności** – trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni

Katalog TKNPiP podaje tylko ogólne informacje i zalecenia w zakresie warstw i materiałów

Konieczne jest uwzględnienie specyfiki **warunków obciążenia**, które są związane z innymi mechanizmami niż tylko proces zmęczenia czy deformacji podłoża gruntowego, np. **ruch powolny, niska temperatura, zabezpieczenie przed spękaniami odbitym**



Warstwa ścieralna:

Cienka Cicha Równa Szorstka Wodoodporna
Odporna na niską temperaturę Odporna na
zmęczenie i deformacje

Warstwa wiążąca i warstwa podbudowy:

Grubość według projektu
Odporna na deformacje
Odporna na zmęczenie

Ulepszone podłoże:

Stabilne w okresie budowy i eksploatacji
Nie generujące spękań odbitych

Projektowanie nawierzchni

Ograniczenie oddziaływania na środowisko i człowieka:

Stosowanie materiałów z **recyklingu** nawierzchni drogowych

Stosowanie **produktów ubocznych (odpadów)** z innych dziedzin przemysłu

Technologie **niskoemisyjne** (mieszanki na zimno, WMA)

Wykorzystanie materiałów **lokalnych** (ograniczenie potrzeb transportowych)

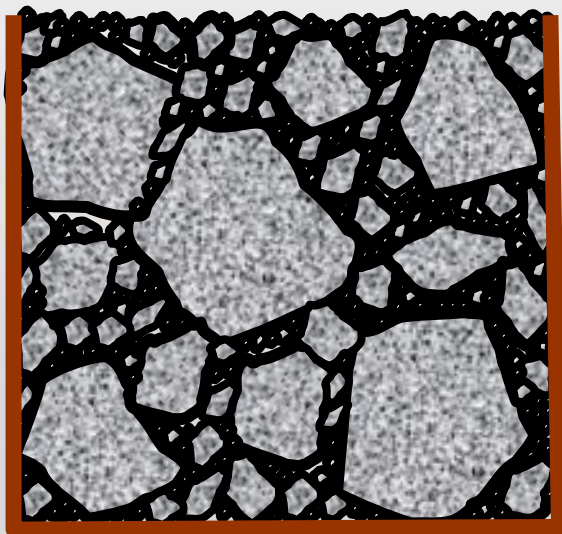
Ograniczenie **hałasu** (dobór mieszanki warstwy ścieralnej)

Rozwój technologii w ostatnich 30-latach

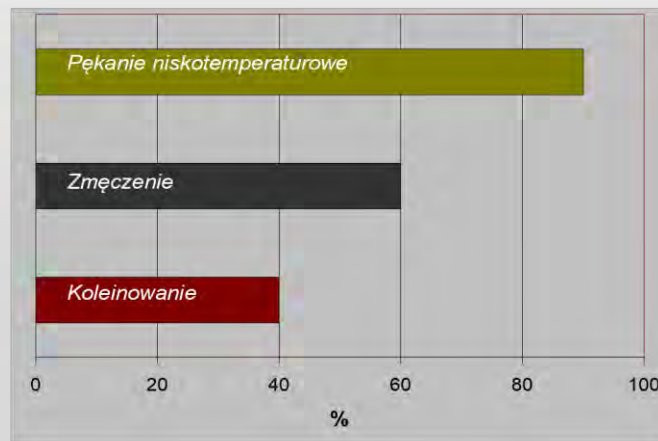
1. Lata 90-te wdrożenie do stosowania asfaltów modyfikowanych polimerami
2. Intensywna rozbudowa sieci dróg, w tym dróg ekspresowych i autostrad
3. Rozwój firm drogowych, nowoczesna baza sprzętowa, przeszkolona kadra
4. Wdrożenie nowych metod badań, potem również wdrożenie norm EN
5. Rozwój technologii mieszanek mineralno-asfaltowych
 - doskonalenie, nowe wymagania
 - nowe mieszanki
 - stosowanie dodatków
6. Zeszyty IBDiM, Wytyczne WT
7. Katalogi, metody projektowania
8. Wydłużenie okresu projektowego, nawierzchnie długowieczne
9. Projekty badawcze – krajowe i międzynarodowe
 - transfer wiedzy
 - współpraca nauka – administracja drogowa – przemysł - firmy drogowe
10. Dalszy rozwój w zakresie lepiszczy asfaltowych PMB, HiMA, CR, (MG)
11. Recykling i ochrona środowiska

Asfalty

1. Asfalt jest spoiwem w mieszance mineralno-asfaltowej
2. Jego rodzaj (właściwości) oraz zawartość mają kluczowy wpływ na właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej, a finalnie na nawierzchnię
3. Dobór asfaltu – warunki obciążenia, klimat, rodzaj mieszanki, warstwa



Wpływ asfaltu na uszkodzenia nawierzchni



Asfalty

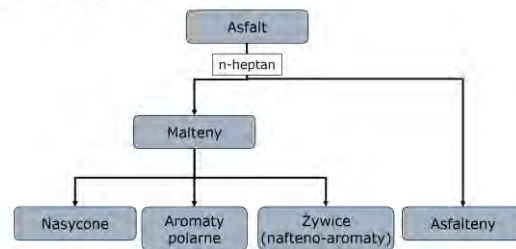
Właściwości asfaltów można rozpatrywać od strony:

- Chemicznej
- Właściwości fizycznych
- **Właściwości reologicznych**

Skład elementarny

- C – 82-88%
- H – 8-11%
- S – 0-6%
- O – 0-1,5%
- N – 0-1%

Skład grupowy asfaltów



Stan reologiczny (właściwości) asfaltu zależny od **temperatury** i **czasu** obciążenia:

Stan **sprężysty** (**ciało stałe**) - niska temperatura lub krótki czas obciążenia

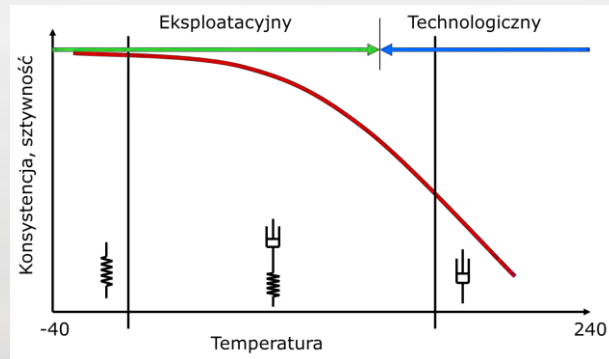
Stan **lepkosprężysty** – pośrednia temperatura lub pośredni czas obciążenia

Stan **leпки** (**ciecz**) – wysoka temperatura lub długi czas obciążenia

Asfalty

Asfalt jest materiałem **termoplastycznym**, tzn. zmienia swoje właściwości fizyczne pod wpływem temperatury:

- staje się miękki i plastyczny po podgrzaniu, a po schłodzeniu twardnieje,
- wysoka temperatura to właściwości cieczy, niska temperatura jak ciało stałe
- proces ten jest odwracalny.

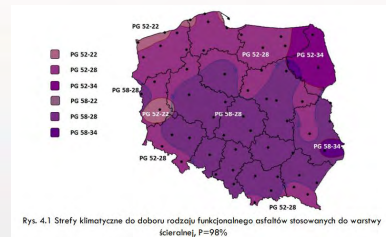


Plusy tego zjawiska:

- wykorzystanie w procesie produkcji i logistyce (pompowanie, transport, otoczenie kruszywa, zagęszczenie warstwy)
- recykling

Minusy:

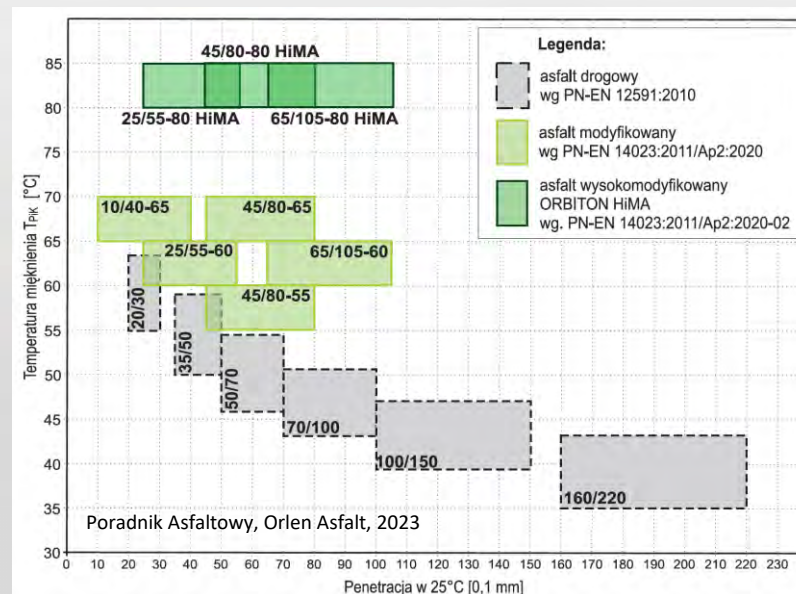
- możliwość deformacji w podwyższonej temperaturze (koleinowanie),
- możliwość pękania w niskiej temperaturze.



Metody zapobiegawcze:

- dobór rodzaju asfaltu do rodzaju mieszanki, warstwy, warunków obciążenia i temperatury
- stosowanie polimeroasfaltów (PMB) i asfaltów wysokomodyfikowanych (HiMA) i innych (CR, MG)

Asfalty specjalne: asfalty WMA, asfalty do recyklingu

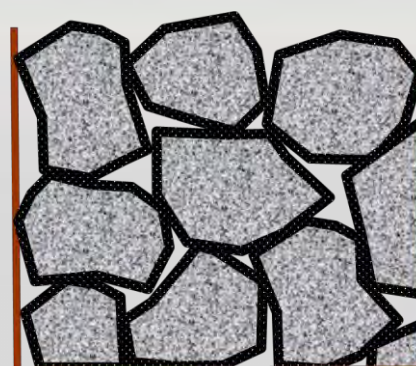
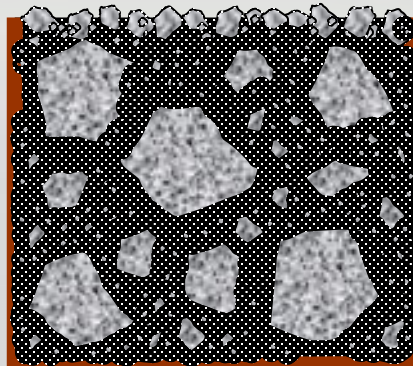
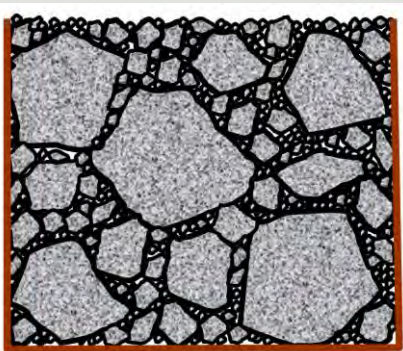


Asfalty modyfikowane PMB i HiMA

1. Mniejsza wrażliwość termiczna
2. Jednocześnie poprawa właściwości w niskiej i wysokiej temperaturze eksploatacji (odporność pękanie i koleinowanie)
3. Poprawa trwałości zmęczeniowej
4. Lepsza kohezja (ciągłość, nawrót sprężysty)
5. Lepsza adhezja
6. Odporność na starzenie
7. Asfalty HiMA – asfalty modyfikowane polimerami klasy premium
8. Lepsze właściwości asfaltu = lepsze właściwości MMA = trwalsza nawierzchnia

Mieszanki mineralno-asfaltowe

1. Beton asfaltowy AC
2. Mieszanka SMA
3. Beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS
4. Asfalt lany MA
5. Mieszanka o nieciągłym uziarnieniu MNU, BBTM
6. Asfalt porowaty PA ±
7. Inne SMA JENA, SMA MA, SMA LA

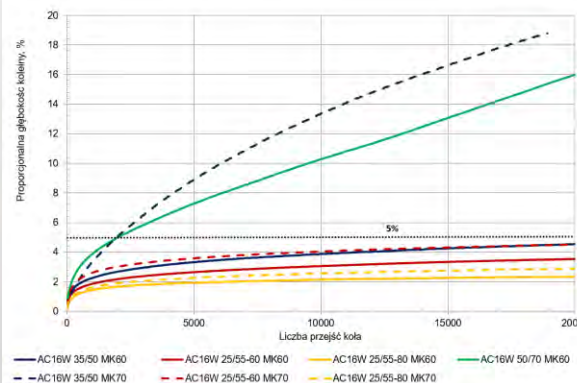
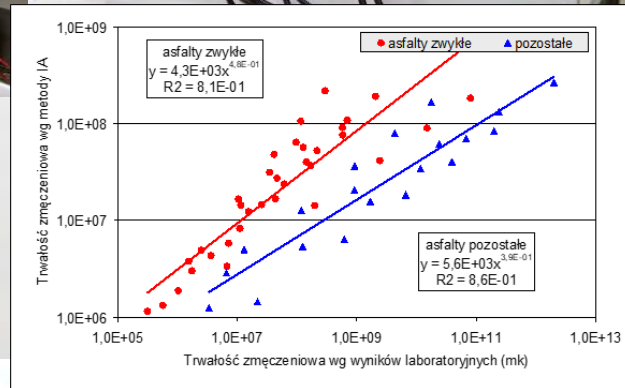


Mieszanki mineralno-asfaltowe

1. Wybór mieszanki zależy od:
 1. Warstwy (wś, ww, wp)
 2. Przeznaczenia (np. droga, most, droga dla rowerów)
 3. Warunków obciążenia KR
 4. Celu (np. obniżenie hałasu)
5. Projektowanie MMA
 - Uziarnienie (grubość warstwy, przeznaczenie, cel)
 - Dobór materiałów
 - Dobór składu i badania

WT-1, WT-2
SST
dokumenty Zamawiającego

Metody badań

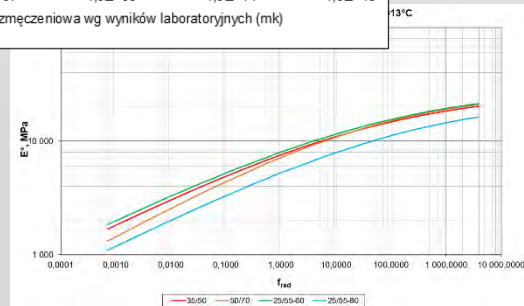
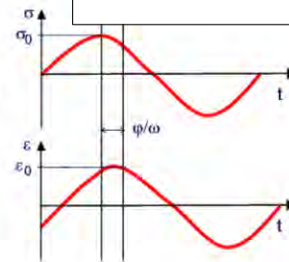


$$E^* = E' + iE''$$

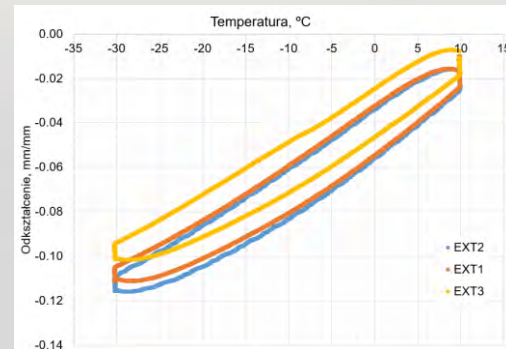
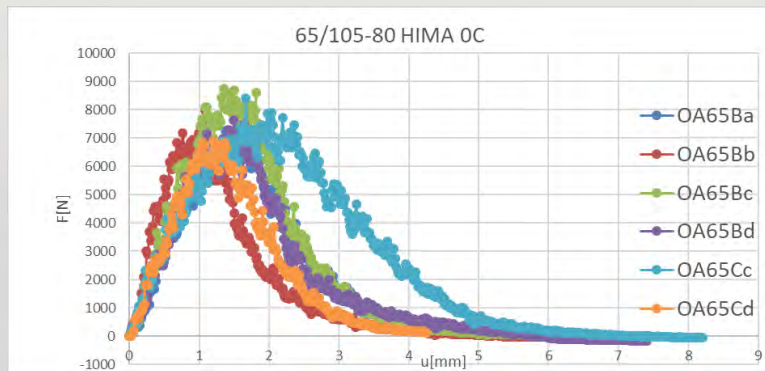
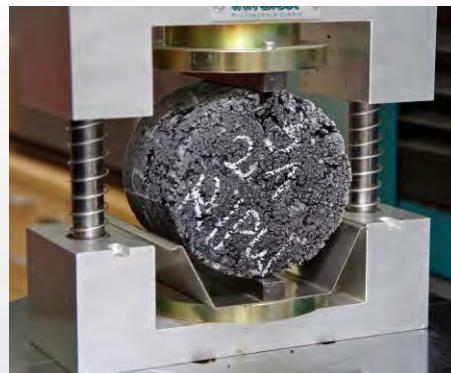
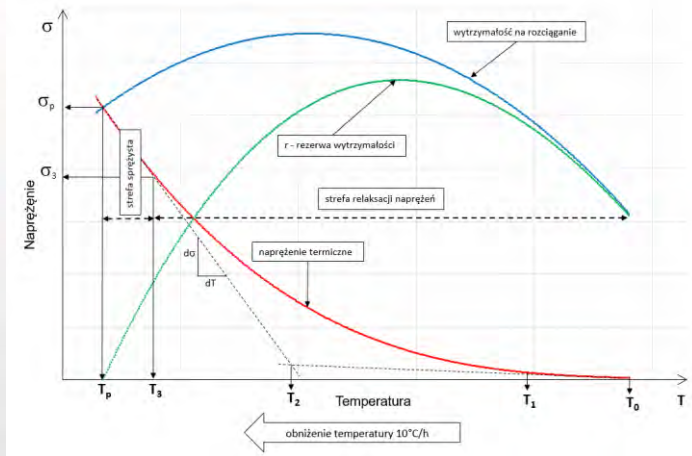
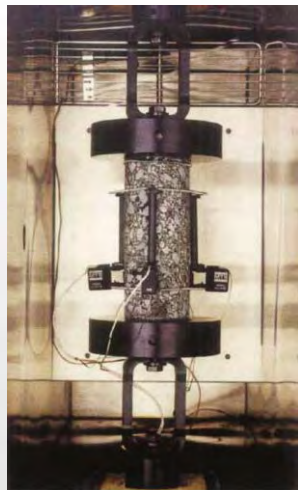
E' - faza pracy sprężystej
 E'' - faza pracy lepkiej

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

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



Metody badań



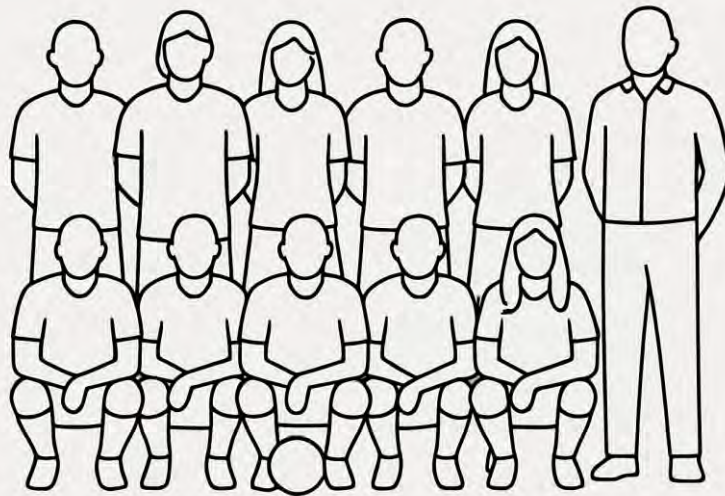
Zakład Technologii Nawierzchni

Szczegółowy zakres
możliwości
badawczych na
stronie
www.ibdim.edu.pl



Zakład Technologii Nawierzchni

**Doświadczona kadra naukowo-inżynierska i techniczna
12 osób**



Zakład Technologii Nawierzchni

TN1 – Pracownia
Materiałów
Asfaltowych

TN2 – Pracownia
Nawierzchni
Asfaltowych

AB 422
*Laboratorium
Badawcze*

AB 423
*Laboratorium
Badawcze*

Zakład Technologii Nawierzchni współpraca

Zakłady Naukowe IBDiM

Jednostka Oceny Technicznej

Dział Certyfikacji Wyrobów

Dział Wydawnictw i Informacji

Firmy drogowe, stowarzyszenia
i powiązane z drogownictwem

Administracja drogowa

Biura Projektowe

Uczelnie wyższe

Zakład Technologii Nawierzchni

czym się zajmujemy

Asfalty
Emulsje asfaltowe

Destrukt
Granulat Asfaltowy

Geosyntetyki

Dodatki
do asfaltów i mma

Nawierzchnie

Materiały odpadowe

**Mieszanki mineralno-
asfaltowe**
Mieszanki MCE

Inne

Taśmy i masy
dylatacyjne, kity,
zalewy, papy

Zakład Technologii Nawierzchni co wykonujemy

Badania laboratoryjne

Projektowanie MMA

Ekspertyzy i opinie

Badania terenowe

**Badania kontrolne
Nadzory**

**Prace naukowe
Projekty badawcze**

**Mieszanki mineralno-
asfaltowe MMA
Mieszanki MME, MCE**

**Projektowanie konstrukcji
nawierzchni
nowych i remontowanych**

Doradztwo techniczne

Zakład Technologii Nawierzchni

wybrane obszary prac badawczych

**Projektowanie
konstrukcji**

**Beton asfaltowy o
wysokim module
sztywności**

**Recykling
Rozwiązania
niskoemisyjne**

**Nawierzchnie
długowieczne**

Ciche nawierzchnie

Modelowanie

**Technologia szybkich
remontów**

Wykorzystanie mikrofal

Drogi dla rowerów

Wybrane przykłady projektów i obszarów działalności Zakładu TN

Projekty badawcze

2003 ECOSERVE (UE)

2009 Reroad (UE)

2009 Direct-Mat (UE)

2015-2018 InnGA (NCBiR) – Lider projektu

2016-2018 RID I/6 (NCBiR, GDDKiA) – Lider Projektu

2018-2020 Techmatstrateg (NCBiR) – Udział w Konsorcjum

2018-2023 (POIR) - Podwykonawca

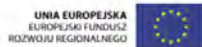
2023-2025 RID rSMA2 (NCBiR, GDDKiA) Lider Projektu

2025-

Recykling

„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



DOTACJE NA INNOWACJE

→ Konsorcjum:

- Instytut Badawczy Dróg i Mostów (lider)
- Politechnika Warszawska, Zespół Technologii Materiałów i Nawierzchni Drogowych
- BUDIMEX S.A.



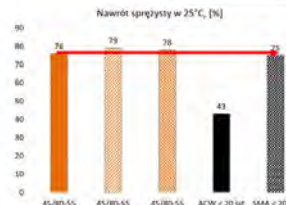
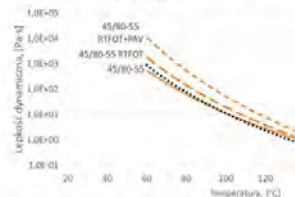
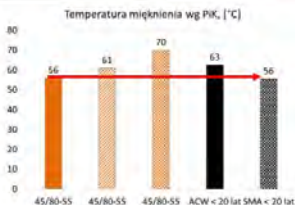
budimex

Wybrane problemy i zadania badawcze

- **Analiza rynku** pod względem dostępności destruktu/granulatu
- **Badania** pozyskanego **destruktu** o różnym pochodzeniu (warstwa) i wieku
- **Ocena skuteczności dodatków** odnawiających oraz miękkich asfaltów na właściwości asfaltu
- **Badania właściwości** lepkosprężystych **mieszanek** mineralno-asfaltowych referencyjnych i z granulatem
- **Badania mma** nad **określeniem maksymalnej** ilości granulatu (>30%) z uwzględnieniem stosowania dodatków regenerujących i asfaltów miękkich

Wybrane problemy i zadania badawcze (cd.)

- Ocena podatności na starzenie krótkoterminowe (technologiczne) i długoterminowe (eksploatacyjne) mma z granulatem
- Wykonanie **odcinka prototypowego**
- Opracowanie dokumentacji technicznej, wytycznych do stosowania mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem destruktu asfaltu dla pracowników firmy



Wskaźnik zastąpienia

$$\text{Binder Replacement, \%} = \frac{(A \times B)}{C} \times 100\%$$

gdzie:

A – % zawartość lepiszcza w RA/GRA

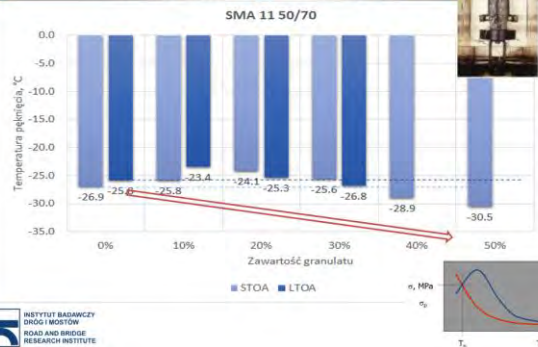
B – % zakładana zawartość RA/GRA w mieszanice

C – całkowita zawartość lepiszcza

30+ czyli doświadczenia krajowe w recyklingu na gorąco



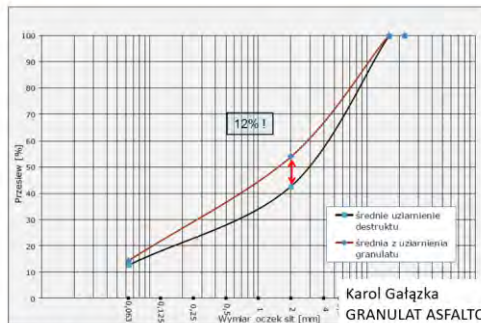
Odporność na pękanie niskotemperaturowe



Recykling

Granulować czy nie?

Wpływ granulowania na uziarnienie MM w destrukcie



Karol Gałązka
GRANULAT ASFALTOWY na DROGACH
KLASY A, S

- Przeprowadzone badania wykazały, że jest możliwe zaprojektowanie MMA o zwiększonej zawartości GA (nawet do 50%)
- 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”
- Analizy mechanistyczne trwałości konstrukcji pozwalają pozytywnie ocenić przydatność MMA z GA do zastosowania w typowych konstrukcjach nawierzchni podatnych

Recykling

(obwodnica Jędrzejowa)

[illegible]

Pozyskanie i przetworzenie destruktu

Składowanie destruktu na WMB.



Pozyskanie i przetworzenie destruktu

Frezowanie próbne.

Celem frezowania było pozyskanie destruktu do badań laboratoryjnych.

Przeprowadzono 7 frezowań długości ok 200 metrów i głębokości 10 cm.



Pozyskanie i przetworzenie destruktu

Sposób pozyskania destruktu z hałdy dodatkowo ujednodził granulaty.



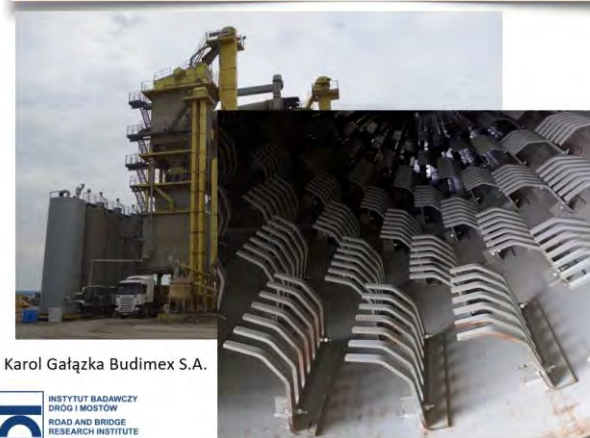
Pozyskanie i przetworzenie destruktu

Granulowanie.

Zastosowana kruszarka udarowa (granulator) przetwarzał destrukty do wymaganej wielkości kawałka granulatu **U** dodatkowo wychwytyjąc materiały obce.



Dozowanie na gorąco



Dozowanie na gorąco



Dozowanie na gorąco



postać granulatu w dozatorze



postać granulatu po „czarnym bębnie”

AC11S PMB 45/80-55 15%G

Tabela 37 Właściwości podstawowe i funkcjonalne mieszanki AC11S 45/80-55 15%G

Właściwość	Jednostka	Właściwość laboratoryjna	Właściwość produkcji (BDM)	Właściwość produkcji (PW)	WT-2 2014 KR-4
Właściwości podstawowe					
Gęstość objętościowa MMA	g/cm ³	2.420	2.419	2.408	-
Gęstość MMA	g/cm ³	2.486	2.480	2.475	-
Zawartość wolnych przestrzeni	% v/v	2.7	2.5	2.7	2.0 - 8.0
Wrażliwość na działanie wody	ITSR	%	95	90.4	88.0 ± 8.0
Odporność na deformację trwałą, metoda B	WTS ₂₀ mm/1000cykl	0.08	-	0.11	≤ 0.15
	PRD ₂₀ %	7.7	-	7.3	± 9.0
Właściwości funkcjonalne					
Odporność na deformację trwałą, duży aparat, 30000 cykl	p	%	-	5.4	-
Sprężalność, 10°C, 10s	E	MPa	-	1.109	-
Odporność na pękanie niskotemperaturowe	T	°C	-	-35.0	-
	σ	MPa	-	8.3	-

SMA11 PMB 45/80-55 30%G

Tabela 39 Właściwości podstawowe i funkcjonalne mieszanki SMA11 45/80-55 30%G

Właściwość	Jednostka	Właściwość laboratoryjna	Właściwość produkcji (BDM)	Właściwość produkcji (PW)	WT-2 2014 KR-7
Właściwości podstawowe					
Gęstość objętościowa MMA	g/cm ³	2.383	2.379	2.357	-
Gęstość MMA	g/cm ³	2.460	2.433	2.429	-
Zawartość wolnych przestrzeni	% v/v	3.1	2.8	3.0	2.0 - 3.5
Wrażliwość na działanie wody	ITSR	%	96	97	≥ 90
Odporność na deformację trwałą, metoda B	WTS ₂₀ mm/1000cykl	0.05	0.05	0.08	≤ 0.1
	PRD ₂₀ %	5.8	8.0	8.9	± 7.0
Właściwości funkcjonalne					
Odporność na deformację trwałą, duży aparat, 30000 cykl	p	%	-	7.1	-
Sprężalność, 10°C, 10s	E	MPa	-	7.633	-
Odporność na pękanie niskotemperaturowe	T	°C	-	-29.0	-
	σ	MPa	-	3.8	-

AC16W PMB 25/55-60 50%G

Tabela 41 Właściwości podstawowe i funkcjonalne AC16W 25/55-60 50%G

Właściwość	Jednostka	Właściwość laboratoryjna	Właściwość produkcji (BDM)	Właściwość produkcji (PW)	WT-2 2014 KR-4
Właściwości podstawowe					
Gęstość objętościowa MMA	g/cm ³	2.379	2.417	2.390	-
Gęstość MMA	g/cm ³	2.505	2.518	2.509	-
Zawartość wolnych przestrzeni	% v/v	5	4.0	4.7	4.0 - 7.0
Wrażliwość na działanie wody	ITSR	%	99	77	≥ 80
Odporność na deformację trwałą, metoda B	WTS ₂₀ mm/1000cykl	0.14	0.18	0.14	≤ 0.15
	PRD ₂₀ %	6.2	7.7	7.1	± 7.0
Właściwości funkcjonalne					
Odporność na deformację trwałą, duży aparat, 30000 cykl	p	%	-	3.4	-
Trwałość zmęczeniowa, 10°C, 10s	a ₀	µm/m	-	133	-
Sprężalność, 10°C, 10s	E	MPa	-	14.609	-
Odporność na pękanie niskotemperaturowe	T	°C	-	-20.4	-
	σ	MPa	-	3.8	-

Wdrożenie

ACWMS16 PMB 25/55-60 50%G

Tabela 47 Właściwości podstawowe i funkcjonalne ACWMS16 25/55-60 50%G

Właściwość	Jednostka	Właściwość laboratoryjna	Właściwość produkcji (BDM)	Właściwość produkcji (PW)	WT-2 2014 KR-7
Właściwości podstawowe					
Gęstość objętościowa MMA	g/cm ³	2.376	2.428	2.433	-
Gęstość MMA	g/cm ³	2.475	2.502	2.498	-
Zawartość wolnych przestrzeni	% v/v	4.0	3.0	3.4	2.0 - 4.0
Wrażliwość na działanie wody	ITSR	%	90	88	≥ 80
Odporność na deformację trwałą, metoda B	WTS ₂₀ mm/1000cykl	0.1	0.1	0.1	≤ 0.15
	PRD ₂₀ %	5.0	6.5	6.5	± 5.0
Właściwości funkcjonalne					
Odporność na deformację trwałą, duży aparat, 30000 cykl	p	%	-	4.7	± 5.5
Trwałość zmęczeniowa, 10°C, 10s	a ₀	µm/m	-	170	± 130
Sprężalność, 10°C, 10s	E	MPa	-	12.732	11 000 do 17 000
Odporność na pękanie niskotemperaturowe	T	°C	-	-23.7	-
	σ	MPa	-	3.6	-

Odcinki testowe



Wdrożenie

Odcinki testowe.



DK 78 – długość odcinka 1000 m, szerokość 2 x 3,5 m

➤ SMA 11 PMB 45/80-55 KR 3-7 – 30% GRA.

➤ AC WMS 16 PMB 25/55-60 KR 3-7 – 50% GRA.

30+ czyl doświadczenia krajowe w recyklingu na granicy

© 2025 Budimex Sp. z o.o. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Wszystkie prawa zastrzeżone. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Wszystkie prawa zastrzeżone. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Wszystkie prawa zastrzeżone. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Wszystkie prawa zastrzeżone. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Uziarnienie GA jest głównym czynnikiem wprowadzenia do mieszanek jego

Zbyt duża zawartości **frakcji wypychalnej** bardzo ogranicza możliwości zaprzestania zawartości wolnych przestrzeni.

Możliwe jest zastosowanie GA ciekawą. W przypadku mieszanek materiału odzyskanego pochodzącego z ciekawej SMA. **SMA z 30 % udziału** odbiegająca od mieszanek SMA b

W przypadku **mieszanek o ciągłej** podbudowy możliwe jest zastosowanie frezowania niższych warstw nawierzchni

Recykling na gorąco wymaga

- Odpowiedniego wyposażenia
- Doświadczenia i kultury stosowania procedur i dokumentacji
- Dostępności granulatów
 - Rozpoznanie
 - Ilość, jakość
- Dostosowania zapisów
 - Pozwolenie + zachęta
 - lub obowiązek stosowania

1. Informacja ogólna na stronie www.ibdim.edu.pl o realizacji projektu
2. „Wykorzystanie destruktu asfaltowego – konieczność i innowacja”, Wojciech Bańkowski, Dariusz Sybilski, Jan Król, Karol Kowalski, Piotr Radziszewski, Piotr Skorek, Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 157-167
3. „Wykorzystanie destruktu asfaltowego – konieczność i innowacja”, Wojciech Bańkowski, Dariusz Sybilski, Jan Król, Karol Kowalski, Piotr Radziszewski, Piotr Skorek, Konferencja "Ochrona środowiska i estetyka w budownictwie komunikacyjnym", 27-29.04.2016, Politechnika Lubelska
4. „Doświadczenia z projektowania mma z destruktem dozowanym na gorąco” – Jan Król, Wojciech Bańkowski, XXXV Seminarium Techniczne PSWNA - PROGRAM „INNOWACJE JAKO ELEMENT OPTYMALIZACJI KOSZTÓW I OCHRONY ŚRODOWISKA” 19-21.10 2016, LUBOŃ k/POZNANIA
5. „Przygotowanie granulatu asfaltowego na potrzeby budowy drogi ekspresowej S7, z istniejącej DK 7 odcinek Jędrzejów – granice województwa świętokrzyskiego” – Karol Gałązka, XXXV Seminarium Techniczne PSWNA - PROGRAM „INNOWACJE JAKO ELEMENT OPTYMALIZACJI KOSZTÓW I OCHRONY ŚRODOWISKA” 19-21.10 2016, LUBOŃ k/POZNANIA
6. Prezentacja projektu na seminarium zorganizowanym przez Konsorcjum w dniu 05/07/2016 w miejscowości Potok Wielki koło Jędrzejowa
7. Prezentacja i pokaz działania wytwórni w ramach seminarium zorganizowanym przez Konsorcjum w dniu 05/07/2016 w miejscowości Potok Wielki koło Jędrzejowa
8. Informacja o seminarium projektu zorganizowanym przez Konsorcjum w dniu 05/07/2016 w miejscowości Potok Wielki koło Jędrzejowa na stronie internetowej IBDiM
9. Bańkowski W., Król J., Gałązka K., Liphardt A., Horodecka R.: “Design and verification of bituminous mixtures with the increased content of reclaimed asphalt pavement”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 356 (2018) 012009 doi:10.1088/1757-899X/356/1/012009
10. Bańkowski W. “Evaluation of Fatigue Life of Asphalt Concrete Mixtures with Reclaimed Asphalt Pavement”, Applied Sciences 2018, 8(3), 469; doi:10.3390/app8030469
11. Referat i plakat: Bańkowski W., Król J., Gałązka K., Liphardt A., Horodecka R.: Projektowanie i walidacja produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych ze zwiększoną zawartością granulatu asfaltowego, konferencja Nowoczesna diagnostyka i naprawy nawierzchni drogowych, Kielce 2018,
12. Prezentacja: Bańkowski W. „Recykling na gorąco: właściwości granulatów i mieszanek mineralno-asfaltowych”, Kolokwium: Destrukt asfaltowy w budownictwie drogowym, Polski Kongres Drogowy, Łódź 2018
13. Prezentacja: Bańkowski W.: „Właściwości funkcjonalne mieszanek z granulatem asfaltowym”, IV Krakowskie Dni Nawierzchni, Kraków 2017
14. Prezentacja: Król J., Liphardt A.: „Projektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych z destruktem do zastosowania na odcinkach testowych”, Seminarium Sekcji Drogowej Rady Naukowej IBDiM, Warszawa 2017
15. Prezentacja: Bańkowski W.: „Właściwości funkcjonalne mieszanek z granulatem asfaltowym oraz ocena trwałości konstrukcji”, Seminarium Sekcji Drogowej Rady Naukowej IBDiM, Warszawa 2017
16. Prezentacja: Gałązka K.: „Granulat asfaltowy na drogach klasy A i S - Doświadczenia wykonawcy” - Seminarium Sekcji Drogowej Rady Naukowej IBDiM, Warszawa 2017
17. Informacja o wykonaniu odcinka próbnego w dniu 05/07/2017 w Jędrzejowie na stronie internetowej IBDiM
18. Informacja o wykonaniu odcinka testowego w dniach 22-28.08.2017 w Jędrzejowie na stronie internetowej IBDiM



INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW

ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE



RID I/6 „WYKORZYSTANIE MATERIAŁÓW POCHODZĄCYCH Z RECYKLINGU”

dr inż. Wojciech Bańkowski

Z-ca Kierownika Projektu

Józefów, 10.10.2018

Konsorcjum naukowe

1. Instytut Badawczy Dróg i Mostów – **lider**
2. Politechnika Gdańska
3. Politechnika Warszawska
4. Politechnika Wrocławska
5. Politechnika Świętokrzyska
6. Instytut Ochrony Środowiska
7. Instytut Nowych Syntezy Chemicznych
8. Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX"



INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

Cel:

- określenie dostępnych zasobów poszczególnych materiałów wtórnych pod względem ilości i rodzaju oraz ich obecnego i potencjalnego zakresu stosowania w budownictwie drogowym.

Zrealizowane zadania badawcze:

- przegląd przepisów prawnych dotyczących stosowania odpadów przemysłowych budowlanych i komunalnych w budownictwie,
- identyfikacja głównych rodzajów materiałów wtórnych (z innych dziedzin przemysłowych), w tym przydatnych do stosowania w drogownictwie,
- analiza doświadczeń krajowych i zagranicznych w zakresie wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu,
- analiza możliwości zastosowania materiałów z recyklingu w budowie dróg (nasypy, roboty ziemne, warstwy konstrukcyjne – podbudowy, itd.)
- badania ankietowe wśród:
 - inwestorów/zarządców dróg
 - wykonawców robót drogowych
 - producentów/sprzedawców materiałów wtórnych
 - ekspertów w dziedzinie budownictwa drogowego

Opracował: prof. dr hab. inż. Piotr Radziszewski, Politechnika Warszawska
mgr inż. Adam Libański, Politechnika Warszawska

Zadanie 4



MIESZANKI MINERALNO-CEMENTOWO-EMULSYJNE (MCE)

Przygotowanie zaleceń stosowania, projektowanie głębokiego na

Wykonawca:

Instytut Ba

Zakres prac:

- Studia literatury
- Badania laboratoryjne
- Opracowanie zaleceń

Zadanie 7: Recykling materiałów odpadowych z przemysłu hutniczego, stalowego, włókienniczego etc.

Efekt Zadania 7

Opracowanie wytycznych stosowania kruszyw z surowców odpadowych w budownictwie drogowym

z uwzględnieniem

Rodzaj surowca odpadowego do produkcji kruszywa

Z recyklingu gruzu
Żużle pośladowe
Żużle pocynkowe
Łupek powęglowy
Materiały z przemysłu
Fosfogipsy
Gipsy z procesów odsiarczania spalin
Żużle stalownicze
Pyły mineralne z obróbki skal i z WMB

Identyfikacja specyficznych właściwości kruszywa

Określenie możliwości zastosowania kruszywa

- **bezpośrednio:** gwarancja właściwości w czasie i niezależność od warunków naturalnych
- **po przystosowaniu:** podsuszenie, nawilżenie, naparzenie, przemiel, ...
- **po ulepszeniu:** aktywacja właściwości puculanowych, wypełnienie pustek kruszywami drobnoziarnistymi, ...
- **bez możliwości zastosowania lub jako dodatek** - do innych kruszyw

RECYKLING NA GORĄCO

Przygotowanie zaleceń technologicznych w zakresie recyklingu na gorąco, które umożliwią praktyczne wdrożenie tej technologii w Polsce przy zachowaniu odpowiedniej trwałości nawierzchni.

Wykonawcy: IBDiM i Politechnika Gdańska

Zakres prac:

- Studia literatury
- Badania laboratoryjne
- Opracowanie zaleceń



Instytut Badawczy Dróg i Mostów
WYDZIAŁ INŻYNIERSTWA I ARCHITEKTURY

Badania właściwości reologicznych asfaltów drogowych z dodatkiem środków organicznych oraz badania cech fizycznych piany asfaltowej



Cele:

- Identyfikacja dodatków stosowanych w technologii WMA o korzystnym działaniu z punktu widzenia właściwości odświeżających lepiszcza z destruktu,
- Opracowanie zaleceń w zakresie stosowania technologii na ciepło do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych z destruktem.

Realizowane zadania badawcze:

- Zaprojektowano mieszanki mineralno-asfaltowe typu: SMA, AC, AC-WMS do warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy zawierających granulaty asfaltowy w ilości 10-50%
- Trwają badania wpływu dodatków WMA różnego typu i pochodzenia na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych z destruktem asfaltowym produkowanych w technologii na ciepło
- Trwają badania mające na celu określenie wpływu dodatków WMA na odświeżanie lepiszczy z destruktu asfaltowego

Politechnika Wroclawska

Zadanie 6: Recykling nawierzchni betonowych Zakład Dróg i Lotnisk - Politechnika Wroclawska

PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW NIEZWIĄZANYCH



Jednostka	P1	P2	Współczynnik wgt. WTA	
			główna pomocnicza	podobna
10	[N]	44,4	32,2	14,2
15	[N]	5,1	8,2	3,1
		5,0	6,7	2,2
		4,5	5,3	1,8
		4,8	5,8	2,1
20	[N]	4,56	5,76	2,16
		4,47	5,60	2,07
		2,55	4,48	1,48

Ignoranci jest wymagane tylko dla kruszyw powyżej 25% koła utępnionego wg WT4 powyżej wg WT4

Zadanie 8 Opracowanie procedur oceny bezpieczeństwa środowiskowego dla strumieni odpadów przydatnych do budowy dróg

- Instytut Ochrony Środowiska (IOŚ-PIB)
- Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM)
- Instytut Nowych Syntezy Chemicznych (INSCH)
- Rozpoczęcie zadania marzec/kwiecień 2017

Recykling RID I/6

Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Road and Bridge Research Institute

ul. Instytutowa 1, PL 03-002 Warszawa, Polska / Poland
tel. (48 22) 888 00 00, 814 50 25, fax 814 50 28



Naczelne Centrum
Badań i Rozwoju



Raport końcowy z realizacji projektu RID I/6 pt.
„Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu”

Nr umowy DZP/RID-I-06/1/NCBR/2016

1. Raport końcowy część 5a
2. Raport końcowy część 5b
3. Wynik z realizacji prac nad projektem wraz załącznikami:
 - a. Załącznik 1 – raport z realizacji zadania 1
 - b. Załączniki 2.1, 2.2, 2.3 – raport z realizacji zadania 2
 - c. Załącznik 3 – raport z realizacji zadania 3
 - d. Załącznik 4 – raport z realizacji zadania 4
 - e. Załącznik 5 – raport z realizacji zadania 5
 - f. Załącznik 6 – raport z realizacji zadania 6
 - g. Załączniki 7.1, 7.2, 7.3 – raport z realizacji zadania 7
 - h. Załączniki 8.1, 8.2 – raport z realizacji zadania 8
4. Przedmiot umowy (zbiór dokumentów)
 - a. Załącznik 9.2.1 – Wytyczne w zakresie pozyskania oraz oceny przydatności granulatu asfaltowego.
 - b. Załącznik 9.2.2 – Zalecenia w zakresie produkcji masy z granulatem na odczarkach cyklicznych
 - c. Załącznik 9.2.3 – Wytyczne cząstkowe w zakresie wymagań i projektowania masy z granulatem asfaltowym
 - d. Załącznik 9.3 – Zalecenia stosowania technologii na ciepło mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkami WMA oraz granulatem asfaltowym produkowanych w tradycyjnej wytwórni
 - e. Załącznik 9.4.1 – Wytyczne stosowania technologii recyklingu głębokiego na zimno z wykorzystaniem emulsji i cementu wraz z zasadami projektowania nawierzchni z wykorzystaniem warstw z mieszanki MCE
 - f. Załącznik 9.4.2 – Instrukcja projektowania i wbudowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)
 - g. Załącznik 9.4.3 – Zalecenia bezpiecznego stosowania destruktu asfaltowego ze smołą w warstwach wykonanych w technologii MCE
 - h. Załącznik 9.5.1 – Procedury projektowania oraz wytyczne stosowania materiałów odpadowych i z recyklingu do technologii wytwarzania mieszanek mineralno-cementowych z asfaltem spienionym (MCAS)
 - i. Załącznik 9.5.2 – Wytyczne w zakresie recyklingu na zimno i półciepło z asfaltem spienionym
 - j. Załącznik 9.6 – Wytyczne w zakresie recyklingu nawierzchni betonowych
 - k. Załącznik 9.7 – Wytyczne w zakresie recyklingu materiałów odpadowych z przemysłu hutniczego, stalowego, włókienniczego
 - l. Załącznik 9.8.1 – Procedura postępowania stosowana do strumienia odpadów wykorzystywanych do budowy dróg umożliwiająca podjęcie decyzji w zakresie ich stosowności z ekologicznego punktu widzenia
 - m. Załącznik 9.8.2 – Wytyczne do technologii przeróbki oraz określenie przeznaczenia nowego materiału
5. Załącznik 10 - Ocena efektów ekonomicznych zastosowania wyników realizacji projektu RID-I/6



Recykling rSMA2 (2023-2025)



INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

www.ibdim.edu.pl

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

Projekt rSMA²



Recykling



Konkurs RID II

Projekt realizowany w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID,
finansowany ze środków
Narodowego Centrum Badań i Rozwoju
oraz
Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad

Skład konsorcjum naukowego

Instytut Badawczy Dróg i Mostów (lider)

Dr hab. inż. Wojciech Bańkowski, prof. IBDiM

Zadania 3-5-7

Politechnika Gdańska

Dr hab. inż. Piotr Jaskuła, prof. PG

Zadania 1-4

Politechnika Warszawska

Dr inż. Adam Liphardt

Zadania 2-6

Recykling rSMA2 (2023-2025)

Cel projektu:

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

Część 1 - studialna

- studia literatury krajowej i zagranicznej w zakresie rozpoznania, pozyskania, oceny przydatności i przetwarzania destruktu z warstwy SMA, a także projektowania i produkcji mieszanki SMA z granulatem asfaltowym oraz wykonania nowej warstwy ściernalnej, analiza potencjału mieszanek stosowanych na drogach GDDKiA jako źródła destruktu oraz przegląd praktyk w zakresie recyklingu warstw SMA w Polsce.
- Opracowanie konspektu wytycznych

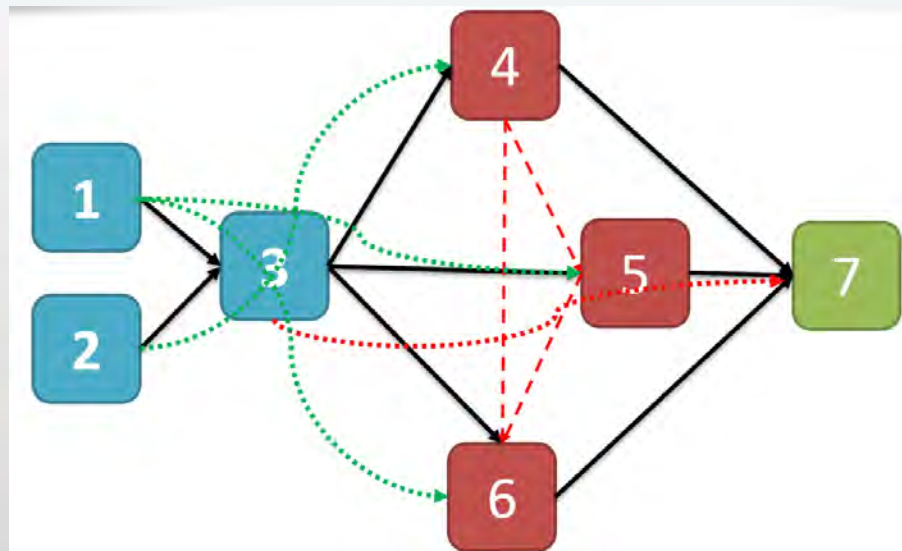
Część 2 - laboratoryjna

- określenia niezbędnych badań, jakim powinien być poddany destrukc asfaltowy SMA
- określenie sposobu jego przetworzenia,
- opracowania wytycznych projektowania mieszanek SMA z granulatem asfaltowym
- określenie technologii produkcji mieszanki i wykonania nowej warstwy ściernalnej.

Zakończenie

- opracowanie wytycznych

Recykling rSMA2 (2023-2025)



	Konkurs RID II
Projekt realizowany w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID, finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad	
Przedmiot umowy pl.: Wytyczne techniczne projektowania i wykonywania warstwy ścieralnej SMA z zastosowaniem destruktu pochodzącego z warstwy SMA Tytuł przedmiotu umowy: Opracowanie wytycznych powtórzonego wykorzystania destruktu asfaltowego z warstw SMA do nowych warstw ścieralnych układanych w tej samej technologii	
Akronim Projektu: rSMA2 Numer umowy: RID2/0009/2022 Lider i Współwykonawcy: Instytut Badawczy Dróg i Mostów (Lider) Politechnika Gdańska Politechnika Warszawska	
Kierownik Projektu: dr hab. inż. Wojciech Benikowski Data rozpoczęcia: 16.06.2023 Data zakończenia: 15.03.2025	
	

„Opra
asfalt

Głów



Article

Effects of Impurities and Ageing on the Functional and Rheological Properties of Asphalts with Additives from Recovered and Pyrolysis-Processed Plastics

Marcin Daniel Gajewski ^{1,*}, Renata Horodecka ¹, Wojciech Bańkowski ¹, Krzysztof Mirski ¹, Aleksandra Grzegórska ² and Maciej Kłopotczyński ²

¹ Road and Bridge Research Institute, 03302 Warsaw, Poland; rhorodecka@ibdim.edu.pl (R.H.);

wbankowski@ibdim.edu.pl (W.B.); kmirski@ibdim.edu.pl (K.M.)

² Green Park VI Sp. z o.o., 87700 Aleksandrów Kujawski, Poland; agrzegorska@greencapitalsa.com (A.G.); m.klopoczinski@greencapitalsa.com (M.K.)

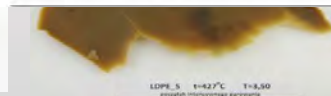
* Correspondence: mgajewski@ibdim.edu.pl

Abstract: This article is a continuation of work on the use of plastic waste (such as PP, PS, LDPE, HDPE, and their mixtures) processed in the proprietary pyrolysis process as asphalt additives. The article carried out detailed tests of the mixes of selected additives with pen-graded bitumen 50/70, taking into account, among others, the influence of impurities and the ratio of PE to PP in the additives as well as short- (RTFOT) and long-term (RTFOT + PAV) ageing. An extensive research program was carried out, including functional and rheological tests in a wide range of temperatures. First, tests of stability and adhesion to various types of aggregates were carried out, demonstrating the usefulness of the proposed additives. Then, the elastic recovery and the impact of technological ageing on penetration, Fraas breaking temperature, and plasticity range were assessed. The same binder mixes were subjected to rheological tests in a wide range of technological and operational temperatures, assessing, among others, viscosity, the norm of the complex shear modulus, elastic recovery and compliance in the MSCR test, and stiffness in the bending beam rheometer. This entire class of tests was carried out for clean samples and those containing impurities, indicating their impact on individual material parameters.

Keywords: plastics; recycling; asphalt; rheological properties; road pavement; ageing; impurities



Citation: Gajewski, M.D.; Horodecka, R.; Bańkowski, W.; Mirski, K.; Grzegórska, A.; Kłopotczyński, M. Effects of Impurities and Ageing on the Functional and Rheological Properties



arzan

podw

tworz

brudzi

nia as

mm

tymal

ór do



MARCIN GAJEWSKI¹⁾
RENATA HORODECKA²⁾
WOJCIECH BAŃKOWSKI¹⁾
ALEKSANDRA GRZEGÓRSKA⁴⁾
MACIEJ KŁOPOTCZYŃSKI⁵⁾

EVALUATION OF THE EFFECT OF PROCESSED PLASTIC ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF PAVING GRADE BITUMEN

OCENA WPLYWU DODATKÓW Z PRZETWORZONYCH TWORZYW SZTUCZNYCH NA WŁAŚCIWOŚCI ASFALTÓW DROGOWYCH

STRESZCZENIE. Asfalty modyfikowane są powszechnie stosowane w budownictwie drogowym. Znane są różne metody modyfikacji, a za najlepszą i najprościej stosowaną uznaje się modyfikację polimerem SBS. W artykule zaprezentowano wyniki badań nad możliwością modyfikacji zwykłych lepiszczy drogowych w inny sposób, tj. przy wykorzystaniu przetworzonych tworzyw sztucznych pochodzących z recyklingu. Wzruszeniem wyjściowym dla tego typu modyfikacji jest zapewnienie stabilności wytworzonego materiału oraz nieograniczenie jego właściwości funkcjonalnych w porównaniu do lepiszcza bazowego. W pracy zaprezentowano wybrane wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych na materiałach uzyskanych ze zniszczenia konwencjonalnych asfaltów drogowych 50/70 oraz 70/100 z dodatkami wytworzonymi z PP, PS, LDPE, HDPE (oraz ich mieszankami). Dodatki te używano w procesie pilotowy przy różnych temperaturach wytwarzania z uwzględnieniem różnych wartości temperatury i czasu przetwarzania. Przeprowadzono badania podstawowe na 56 różnych kompozycjach asfaltu i dodatku, w celu wykonania potencjalnie najlepszych wariantów do dalszej poszerzonej analizy. Zaproponowano metodę dwakrotnego wyboru najlepszych mieszanin asfaltów z dodatkami. Nie jest to klasyczna metoda rankingowa (przyszanowanie punktów), a metoda bazująca na funkcji celu będącej sumą trzech funkcji składowych odpowiadających poszczególnym parametrom z odpowiednimi wagami. Metoda ta może być dość swobodnie kształtowana poprzez dobór wag albo odmienne propozycje funkcji składowych. Na tej podstawie wyłoniono dodatki, które mają najkorzystniejsze właściwości pod względem zastosowania do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych.

SŁOWA KLUCZOWE: asfalt drogowy, HDPE, LDPE, PP, PS, recykling, tworzywa sztuczne, właściwości funkcjonalne.

ABSTRACT. Modified bituminous binders are widely used in road construction. Various types of modification are known; SBS polymer modification is considered the most advantageous and popular. The article presents the results of research focused on the possibility of modification of typical road binders in a different manner, i.e. by using processed recycled plastics. The basic requirement in the case of this type of modification is that storage stability of the obtained material is ensured and that performance properties of the material do not deteriorate in comparison to those of the base binder. The work presents chosen test results of materials obtained by blending conventional paving grade bitumen 50/70 and 70/100 with additives produced from PP, PS, LDPE, HDPE (and their combinations). The additives were obtained in the process of pyrolysis, using different production parameters – processing temperature and time. Basic tests were performed on 56 different bitumen-additive blends in order to identify the most promising variants for further wide analysis. A method for objective selection of the best bitumen-additive blends was proposed. The proposed method is not a classic ranking method (attribution of points); it is based on an objective function composed of three component functions, which correspond to individual blend parameters and are assigned adequate weights. The method may be adjusted by selection of weights or use of different component functions. Based on the adopted method, additives with the most advantageous properties in terms of use in asphalt mixture production were identified.

KEYWORDS: HDPE, LDPE, PP, PS, paving grade bitumen, performance properties, plastics, PP, PS, recycling.

onenty

o. o.

kładowiskach, dla



Projektowanie konstrukcji nawierzchni

Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, 1997

Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, 2001

Katalog Przebudów i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, 2014

Projekt nawierzchni Autostrady A2 na odcinku koncesyjnym, 2002/3

(Sybilski D., Szydło A., Bańkowski W.)

Warstwa ścieralna: BA 0/16 mm (DE 30B)	4 cm
Warstwa podbudowy: BA 0/25 mm (35/50)	11 cm
Stabilizacja cementem ($R_{28}=3,5-7,0$ MPa)	20 cm
Stabilizacja cementem ($R_{28}=2,0-3,5$ MPa)	20 cm
Warstwa odsączająca	20 cm
Podłoże gruntowe	

Warstwa ścieralna: BA 0/16 mm OLE 30B	4 cm
Warstwa wiążąca: BA 0/25 mm 35/50	8 cm
Warstwa podbudowy: BA 0/25 mm 35/50	18 cm
Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie	20 cm
Warstwa odsączająca	20 cm
Podłoże gruntowe	

Warstwa ścieralna: BA 0/16 mm lub SMA 0/12,8 mm (DE 30B)	4 cm
Warstwa wiążąca: remix plus BA 0/20 mm (35/50+DE30B)	11 cm
Warstwa podbudowy: BA 0/25 mm (35/50)	10 cm
Stabilizacja cementem ($R_{28}=3,5-7,0$ MPa)	20 cm
Stabilizacja cementem ($R_{28}=2,0-3,5$ MPa)	20 cm
Warstwa odsączająca	20 cm
Podłoże gruntowe	

Projektowanie konstrukcji nawierzchni

2024/2025 Poszerzenie autostrady A2 na odcinku węzeł „Łódź Północ” (z węzłem) – węzeł „Konotopa” (bez węzła) o dodatkowe pasy ruchu

Współpraca z biurem projektowym Databout Sp. z o. o. w zakresie badań i projektu konstrukcji nawierzchni (jako podwykonawca)

Inne zadania projektowe:

Indywidualne projektowanie konstrukcji nawierzchni dróg każdej KR

Metoda ugięć, metoda mechanistyczna

Szybkie remonty weekendowe

Konstrukcje nowe i przebudowane, remonty

Katalogi typowych konstrukcji

Opinie, koreferaty

Konstrukcje zamienne

Projektowanie konstrukcji nawierzchni

Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych z AC WMS
(oczekuje na publikację)
Praca na zlecenie GDDKiA
IBDiM

Tablica 1. Typ A1 WMS Typowe konstrukcje górnych warstw nawierzchni podatnych

**Podbudowa zasadnicza: beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS,
mieszanka niezwiązana z kruszywem C_{90/3}**

Konstrukcja KR7 52-91 mln osi 100 kN	Konstrukcja KR6 22-52 mln osi 100 kN	Konstrukcja KR5 7,4-22 mln osi 100 kN	Konstrukcja KR4 2,5-7,4 mln osi 100 kN	Konstrukcja KR3 0,5-2,5 mln osi 100 kN
Mieszanka SMA, 4 cm	Mieszanka SMA, 4 cm	Mieszanka SMA, 4 cm	Mieszanka SMA, 4 cm	Mieszanka SMA, 4 cm
AC WMS, 11 cm	AC WMS, 9 cm	AC WMS, 8 cm	AC WMS, 7 cm	AC WMS, 5 cm
AC WMS, 12 cm	AC WMS, 12 cm	AC WMS, 10 cm	AC WMS, 8 cm	AC WMS, 7 cm
Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{90/3} 20 cm	Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{90/3} 20 cm	Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{90/3} 20 cm	Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{90/3} 20 cm	Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{90/3} 20 cm
dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 120 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 120 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 120 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 100 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 100 MPa

Tablica 2. Typ A2 WMS Typowe konstrukcje górnych warstw nawierzchni podatnych

**Podbudowa zasadnicza: beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS,
mieszanka niezwiązana z kruszywem C_{50/30}**

Konstrukcja KR7 52-91 mln osi 100 kN	Konstrukcja KR6 22-52 mln osi 100 kN	Konstrukcja KR5 7,4-22 mln osi 100 kN	Konstrukcja KR4 2,5-7,4 mln osi 100 kN	Konstrukcja KR3 0,5-2,5 mln osi 100 kN
Mieszanka SMA, 4 cm	Mieszanka SMA, 4 cm	Mieszanka SMA, 4 cm	Mieszanka SMA, 4 cm	Mieszanka SMA, 4 cm
AC WMS, 10 cm	AC WMS, 9 cm	AC WMS, 8 cm	AC WMS, 7 cm	AC WMS, 5 cm
AC WMS, 12 cm	AC WMS, 11 cm	AC WMS, 10 cm	AC WMS, 8 cm	AC WMS, 7 cm
Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{50/30} 22 cm	Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{50/30} 22 cm	Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{50/30} 22 cm	Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{50/30} 22 cm	Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C _{50/30} 22 cm
dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 120 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 120 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 120 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 100 MPa	dolne warstwy konstrukcyjne, wymagany wtórny moduł odcztałcenia E ₂ ≥ 100 MPa

Projektowanie konstrukcji nawierzchni



POLITECHNIKA
GDAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
(ŚRODOWISKA)

Politechnika
Warszawska



Instytut
Badawczy
Dróg i Mostów

PROJEKT BADAWCZY



Politechnika
Warszawska



„Optymalizacja konstrukcji asfaltowej
nawierzchni drogi
dzięki zastosowaniu asfaltów
modyfikowanych”

15.05.2019 – 28.02.2021

budimex

LOTOS

ORLEN Asfalt

CELE PROJEKTU

1. Opracowanie nawierzchni podatnych, w których warstwa podbudowy asfaltowej będzie zwierzała asfalt wysokomodyfikowany HiMA
2. Opracowane nawierzchnie będą zgodne z systemem zastosowanym w KTKN PiP 2014 r. i będą ich uzupełnieniem
3. Spopularyzowanie nawierzchni z PmB HiMA - wynik pracy badawczej zostanie bezpłatnie udostępniony i rozpowszechniony



Politechnika
Warszawska



ZAKRES PROJEKTU

- Zadanie 1:** Określenie metodologii analiz z HiMA
- Zadanie 2:** Ocena cech funkcjonalnych lepszych asfaltowych - potwierdzenie parametrów
- Zadanie 3:** Optymalizacja w zakresie składu i badania właściwości MMA
- Zadanie 4:** Opracowanie konstrukcji nawierzchni z HiMA w podbudowie
- Zadanie 5:** Opracowanie nowych wymagań mieszanki AC22P HiMA.
- Zadanie 6:** Oszacowanie kosztów budowy, utrzymania i eksploatacji nawierzchni w pełnym cyklu życia. Określenie wskaźników oddziaływania na środowisko.

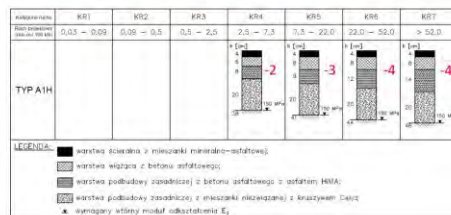


Politechnika
Warszawska



GÓRNE WARSTWY NAWIERZCHNI

REDUKCJA GRUBOŚCI PAKIETU WARSTW ASFALTOWYCH

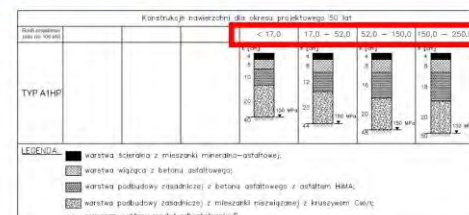


Politechnika
Warszawska



GÓRNE WARSTWY NAWIERZCHNI (2)

WYŁĘŻONA TRWAŁOŚĆ DO 50 LAT



Beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS

Historia stosowania ACWMS

- Francja (LCPC) – EME (**Enrobé à Module Elevé**) lata '80
 - BBTM + EME
 - Cel: odporność konstrukcji na koleinowanie, zmęczenie, odporność na działanie wody
- W Polsce prace od roku 1997
 - GDDKiA (Poznań)
 - IBDiM



Dostosowanie

- Dostosowanie do warunków krajowych: klimatycznych, materiałowych i technicznych
 - Nowe metody badań (koleinowanie, 4PB – zmęczenie i sztywność)
 - Wprowadzenie pojęcia temperatury równoważnej ze względu na zmęczenie T_{eff}
 - Ustalenie wymagań
 - Wybór materiałów
- Pierwsza MMA projektowana funkcjonalnie

Cykl prac badawczych

sygnalizacja 12, Białkowski W., Hosińska K., Winiarski A.: Aplikacja procedury wyznaczania temperatury równoważnej sztywności w projekcie, Praca badawcza TN-213 na zlecenie GDDKiA, 2001, praca niepublikowana

sygnalizacja 12, Białkowski W., Hosińska K., Winiarski A.: Wykonanie technicznych wytycznych dla wyznaczania temperatury równoważnej sztywności w projekcie, Praca badawcza TN-213 na zlecenie GDDKiA, 2001, praca niepublikowana

sygnalizacja 12, Białkowski W., Hosińska K., Winiarski A.: Wykonanie technicznych wytycznych dla wyznaczania temperatury równoważnej sztywności w projekcie, Praca badawcza TN-213 na zlecenie GDDKiA, 2001, praca niepublikowana

sygnalizacja 12, Białkowski W., Hosińska K., Winiarski A.: Wykonanie technicznych wytycznych dla wyznaczania temperatury równoważnej sztywności w projekcie, Praca badawcza TN-213 na zlecenie GDDKiA, 2001, praca niepublikowana

sygnalizacja 12, Białkowski W., Hosińska K., Winiarski A.: Wykonanie technicznych wytycznych dla wyznaczania temperatury równoważnej sztywności w projekcie, Praca badawcza TN-213 na zlecenie GDDKiA, 2001, praca niepublikowana

sygnalizacja 12, Białkowski W., Hosińska K., Winiarski A.: Wykonanie technicznych wytycznych dla wyznaczania temperatury równoważnej sztywności w projekcie, Praca badawcza TN-213 na zlecenie GDDKiA, 2001, praca niepublikowana

sygnalizacja 12, Białkowski W., Hosińska K., Winiarski A.: Wykonanie technicznych wytycznych dla wyznaczania temperatury równoważnej sztywności w projekcie, Praca badawcza TN-213 na zlecenie GDDKiA, 2001, praca niepublikowana

sygnalizacja 12, Białkowski W., Hosińska K., Winiarski A.: Wykonanie technicznych wytycznych dla wyznaczania temperatury równoważnej sztywności w projekcie, Praca badawcza TN-213 na zlecenie GDDKiA, 2001, praca niepublikowana

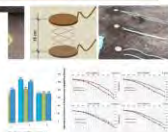
Sustainable Pavements for European New Member States (2006-2009)

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



Główne wnioski:

- Konstrukcje nie osiągnęły kryteriów zniszczenia
- **Potwierdzony korzystny efekt zastosowania ACWMS**
- **Efektywność zastosowania warstwy antyzmęczeniowej w połączeniu z ACWMS**
- Optymalizacja konstrukcji



Wymagania wobec AC WMS

Nawierzchnia o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie



Monografia



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

Beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS

ACWMS jest mieszanką o **specjalnych i zrównoważonych** właściwościach

Sztywność nie jest wyznacznikiem „jakości” czy też zalet mieszanek ACWMS

Wysoka trwałość zmęczeniowa AC WMS widoczna w badaniach lab. oraz w modelowaniu konstrukcji

Decydujący jest rodzaj mieszanki i rodzaj zastosowanego asfaltu

Opracowano katalog typowych konstrukcji

Możliwość redukcji grubości lub wydłużenie okresu projektowego (nawierzchnie długowieczne)

Konstrukcje z ACWMS to konstrukcje podatne

Mieszanki ACWMS są **odporne na deformacje trwałe**

W zakresie odporności na **pękanie niskotemperaturowe decyduje rodzaj zastosowanego asfaltu**

Mechanizm spękań termicznych jest złożony, decydują nie tylko właściwości materiałów,

ale również detale i jakość wykonania

Ograniczenie ryzyka spękań przez ograniczenie stosowania asfaltu 20/30 do warstwy wiążącej, do podbudowy bez ograniczeń

Dobrym kierunkiem jest wprowadzenie badań TSRST do WT-2

Nowe wymagania w dokumentach GDDKiA

Weekendowe remonty, szybkie remonty

SZYBKIE I EFEKTYWNE REMONTY DRÓG SAMORZĄDOWYCH

NA PRZYKŁADZIE DOŚWIADCZEŃ WARSZAWSKICH

dr hab. inż. Wojciech Bańkowski, Prof. IBDiM
dr inż. Maciej Maliszewski

SZYBKIE REMONTY NAWIERZCHNI NA ULICACH M.ST. WARSZAWY – DOBÓR TECHNOLOGII

dr inż. Maciej Maliszewski
Instytut Badawczy Dróg i Mostów

NAPRAWY WEEKENDOWE NAWIERZCHNI

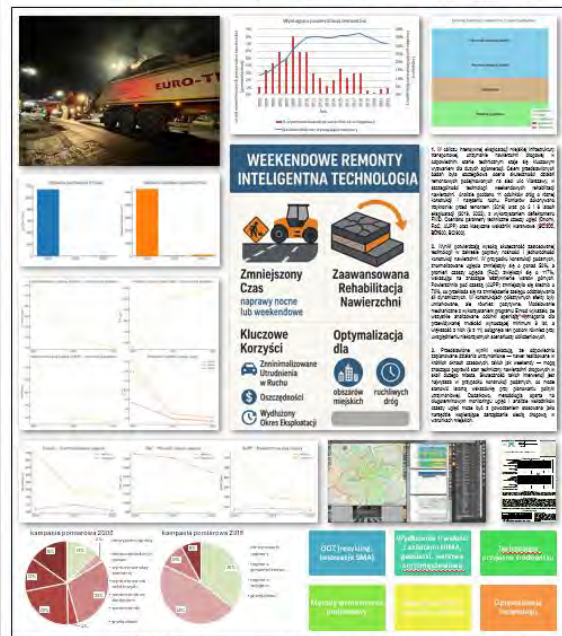
dr inż. Maciej Maliszewski
Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Weekendowe remonty, szybkie remonty

MIASTO I TRANSPORT 2025 PROBLEMATYKA UTRZYMANIA NAWIERZCHNI SIECI DROGOWEJ WARSZAWY



DOMINIKA MALISZEWSKA, MACIEJ MALISZEWSKI
instytut.badczy.drog.i.mostow, zaklad.technologii.nawierzchni
dominika.maliszewska@ibdm.edu.pl, maciej.maliszewski@ibdm.edu.pl



Ocena długoterminowej efektywności technologii weekendowych remontów nawierzchni w miejskich warunkach na sieci ulic Warszawy.

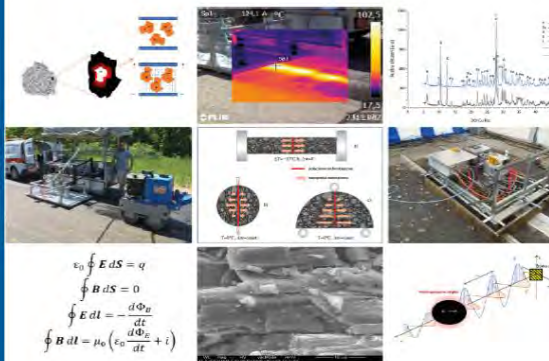
Metodologia: 11 odcinków dróg o różnej konstrukcji i natężeniu ruchu. Pomiary FWD: 2016 (przed remontem), 2019, 2022. Analiza parametrów: czasy ugięć (Dnorm, RoC, AUPP), klasyczne wskaźniki geometrii czaszy ugięć (SCI300, BDI600, BCI900) oraz ocena modułu sztywności

Wyniki: Zmniejszenie ugięć (>50%), wzrost RoC (+117%) Redukcja AUPP średnio o 70% Spełnienie wymagań trwałości ≥ 8 lat na 8 z 11 odcinków Pozytywne efekty także w konstrukcjach półsztywnych

Wnioski: Krótkoterminowe remonty weekendowe mogą skutecznie poprawiać nośność nawierzchni w dużych miastach **Największa skuteczność:** konstrukcje podatne, możliwość wdrożenia długoterminowego monitoringu FWD jako narzędzia wspierającego zarządzanie siecią drogową.

Maciej Maliszewski

ZASTOSOWANIE MIKROFAL PODCZAS WYKONYWANIA I NAPRAWY NAWIERZCHNI ASFALTOWEJ



Warszawa 2020

 Cel badania: Ocena przydatności technologii mikrofalowej jako alternatywnej metody wykonania i naprawy nawierzchni asfaltowych – pod kątem efektywności, trwałości i wpływu na materiały.

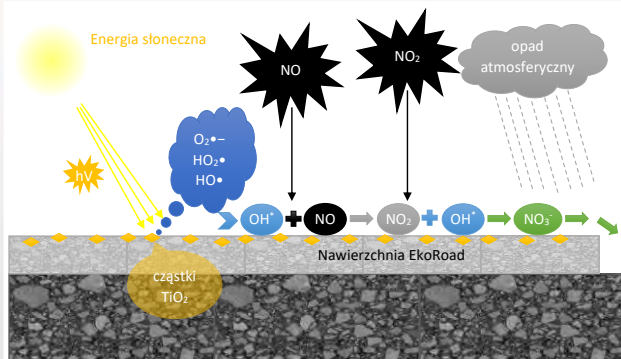
 Metodyka: Badania laboratoryjne i terenowe (odcinek testowy)
Analiza wpływu mikrofal na: mieszanki mineralno-asfaltowe (mm-a), asfalt drogowy i modyfikowany, połączenia technologiczne i spękania
Technika: mikrofalowe nagrzewanie o mocy 800 W – 7000 W

 Wyniki kluczowe

-  Mikrofalowe nagrzewanie: efektywne – zwłaszcza dla kruszyw stratnych – bez przegrzewania powierzchni szybkie i energooszczędne
-  Brak negatywnego wpływu na właściwości asfaltów i mm-a
-  Poprawa właściwości zmęczeniowych, koleinowania i odporności na pękanie
-  Najlepsze parametry połączeń uzyskano przy użyciu mikrofal (vs IR i metody tradycyjne)

 Wnioski i potencjał rozwoju: **Technologia zgodna z polityką gospodarki niskoemisyjnej, możliwość zastosowania w recyklingu nawierzchni, naprawach międzywarstwowych i punktowych, Wyzwania: optymalizacja przebiegu nagrzewania, kontrola emisji energii, zastosowanie "susceptorów"**

Technologia EkoRoad – Proekologiczna Nawierzchnia Drogowa



 Czym jest EkoRoad? Innowacyjna technologia asfaltowa, która oczyszcza powietrze ze smogu (NO_x) dzięki zjawisku fotokatalizy, zwiększa trwałość nawierzchni w trudnych warunkach eksploatacyjnych.

 Korzyści techniczne: Większa odporność na koleinowanie, zginanie i pękanie, wydłużenie żywotności warstwy ścieralnej o ≥ 4 lata, możliwość wtórnego użycia granulatu asfaltowego z recyklingu

 Zastosowanie: Idealna dla: zatok autobusowych, stref hamowania i skrzyżowań, zajezdni, centrów logistycznych, parkingów

 Opis konstrukcji: **Asfaltowa warstwa ścieralna wzbogacona zaprawą cementową, łączy zalety nawierzchni asfaltowej (łatwość wykonania) i betonowej (trwałość)**

MONOLITH – Innowacyjna Technologia Torowisk Tramwajowo-Drogowych



 Cel projektu: Opracowanie nowej technologii budowy **torowisk** dla ruchu tramwajowo-drogowego z zastosowaniem **prefabrykowanych lub monolitycznych kanałów szynowych i specjalnego systemu przytwierdzenia**.

 Kluczowe elementy technologii: Profile elastomerowe z materiałem z recyklingu (5%), zaprawa cementowo-polimerowa (PCC) – szybkie wiązanie, wysoka odporność, zmodyfikowane bramki montażowe i uchwyty, możliwość montażu na torowisku prefabrykowanym lub wylewanej konstrukcji



 Badania: Ocena wytrzymałości, trwałości i odporności profili oraz zapraw, budowa toru testowego (18 m), badania w skali rzeczywistej: uszkodzenia materiałów i styków, obserwacje w warunkach eksploatacyjnych, testy przyczepności, elastyczności i odporności UV

 Zastosowanie: przejścia dla pieszych i rowerowe, przejazdy torowo-drogowe w centrach miast, integracja z miejską infrastrukturą komunikacyjną

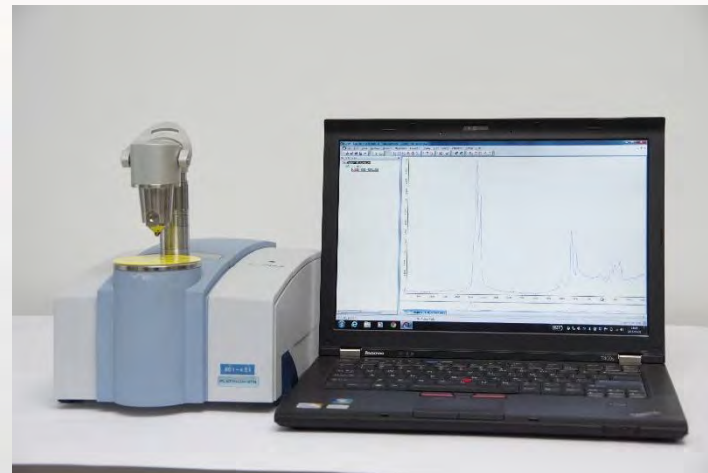
 Efekt: Technologia skracająca czas zabudowy 4-krotnie w porównaniu z tradycyjnymi metodami (ERS), z pełnym ruchem możliwym po 24 h od montażu.

Wyniki międzynarodowego testu biegłości RILEM TC 295-FBB TG1

 **Cel:** Ocena wpływu sześciu technik przygotowania próbek na powtarzalność widm ATR-FTIR dla trzech lepiszczy w różnych stanach starzenia (niestarzone, po RTFOT, po RTFOT i PAV).

 **Udział:** 21 laboratoriów z 12 krajów.

 **Publikacja:** „Evaluating the Repeatability and Reliability of Different Sample Preparation Techniques used for ATR-FTIR Spectroscopy from the RILEM 295-FBB TG1 Round Robin Test” - Materials and Structures (MaaS), 2025 (w recenzji)





Badania odporności nawierzchni asfaltowych na przecieranie (zużycie):

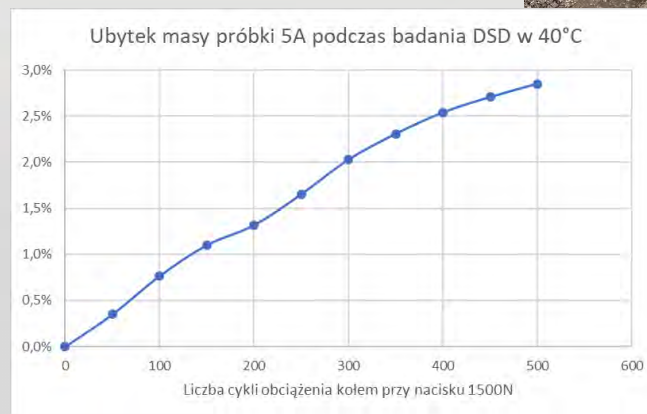
- parkingi,
- place manewrowe,
- ronda.



wg PN-EN 12697-50, część B:

- obciążenie do 1500 N,
- liczba cykli nieograniczona,
- płyty 260x260x40 mm,
- Temperatura badania 40°C.

Wynik – procentowy spadek masy próbki, wykres przyrostu masy ubytku w funkcji liczby cykli



Badania dodatków



- ☐ Środki adhezyjne,
- ☐ Dodatki do recyklingu (regenerujące i zmiękczające),
- ☐ Dodatki WMA obniżające temperatury technologiczne,



- ☐ Zbrojenie rozproszone stalowe,



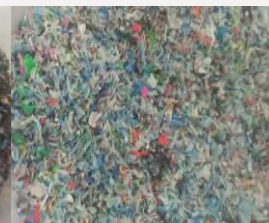
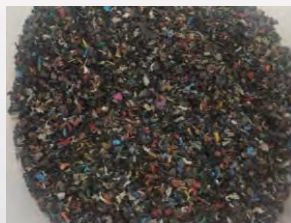
- ☐ Przetworzone odpady polimerowe jako komponenty asfaltów,



- ☐ Granulaty gumowe, gumowo-polimerowe i gumowo-asfaltowe



- ☐ Włókna celulozowe,



- ☐ Włókna polimerowe, włókna z recyklingu,



- ☐ Dodatki z odpadów papy,
- ☐ Inne ...

Technologia WMA

„Przyjazne dla środowiska mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło jako nowoczesne rozwiązanie technologiczne zwiększające wydajność budowy nawierzchni asfaltowych”

2010

Mostostal Warszawa – Lider projektu

IBDiM

Politechnika Warszawska



Międzynarodowa Konferencja Enviroad 2008 i 2009

Modelowanie analityczne i numeryczne

Modelowanie konstytutywne materiałów drogowych:

-lepiszcza asfaltowe, mieszanki mineralno-asfaltowe, elastomery



Badania doświadczalne pozwalające na wyznaczanie parametrów materiałowych w proponowanych modelach konstytutywnych

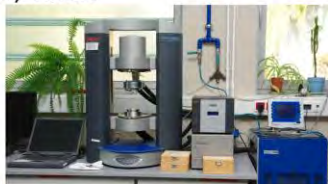
-DSR (wszystkie klasyczne + MSCR, LAS, BTSV, procedury autorskie), DMA, BBR, SCB, IT, ITCY, 4PB, TSRST, propagacja pęknięcia

Modelowanie analityczne i numeryczne materiałów i konstrukcji drogowych

- teoria sprężystości i plastyczności, MES, uczenie maszynowe

Badania doświadczalne pozwalające na wyznaczanie parametrów materiałowych w proponowanych modelach konstytutywnych

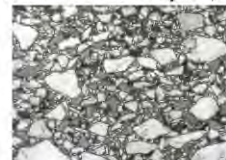
-DSR (wszystkie klasyczne + MSCR, LAS, BTSV, procedury autorskie), DMA, BBR, SCB, IT, ITCY, 4PB, TSRST



Modelowanie konstytutywne materiałów drogowych:

-lepiszcza asfaltowe, mieszanki mineralno-asfaltowe, elastomery

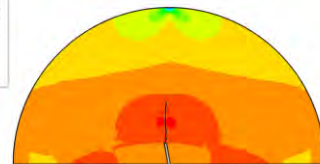
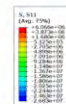
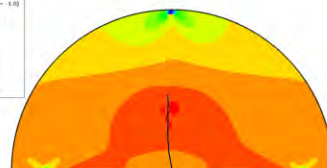
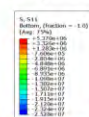
- Sprężystość i hipersprężystość;
- Lepkosprężystość (z uwzględnieniem temperatury i metodyki wyznaczania parametrów materiałowych);
- Sprężysto-plastyczność;
- Nieustalony i ustalony przepływ ciepła;
- Termo-sprężystość ze sprzężeniem pól mechanicznych i termicznych;
- Właściwości efektywne materiałów na bazie modeli hierarchicznych;
- Opis materiałów na potrzeby teorii małych i dużych deformacji;



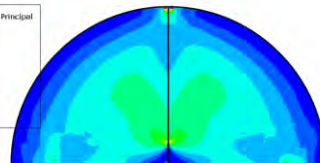
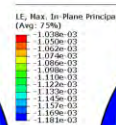
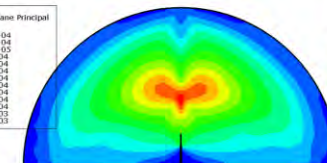
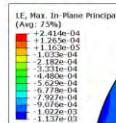
Modelowanie drogowych

- teoria s

Przykład 2: Modelowanie SCB



Przykład 1: Modelowanie właściwości efektywnych w pró rozciągania



I wiele innych zastosowań MES w drogownictwie....

Redukcja hałasu drogowego

Ocena wpływu typu i technologii wykonania nawierzchni drogowej na hałaśliwość ruchu drogowego i jego uciążliwość dla środowiska, WS-05, GDDKiA, 2005

„CiDRO – Innowacyjne technologie nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu” Projekt badawczy z Mostostalem Warszawa oraz Politechniką Warszawską, 2013-2015

RID „Ochrona przed hałasem drogowym”, 2016-2018, konsorcjum naukowe

Metoda OBSI



TECHNOLOGY FOR POLISH EXAMPLE OF CIDRO PROJECT

and Bridge Research Institute

ERVATIONS d cleaning

d automatically with farm
the amount of 180 g/m²



Cleaning machine on the test section

sion measurements



Noise emission tests:
• at 40 km/h
• at 50 km/h

Water permeability



Water permeability test results

roperties



roperties: (a) friction coefficient; (b) macrotexture depth

AND RECOMMENDATIONS

missing mixtures:
22-24% for high-speed roads located outside the cities
14% for medium speed roads located in urban locations
snc using "quiet asphalt":
tion (e.g. no road sections subjected for shearing forces from
icles)
f asphalt mixture assuming traffic characteristic (vehicle type and
water drainage with proper shoulders and pavement slope
ment maintenance which would allow for clean porous system

gements

leading to these paper has received funding from the National
research and Development (NCBR) in Poland for technological
and demonstration under grant agreement
U/172/18

fects only the author's views and the NCBR is not liable for any
be made of the information contained. The authors wish to
gratitude to colleagues from Warsaw University of Technology
dge Research Institute and from Mostostal Warszawa for their

Zróbmy hałas!!!

Grająca
nawierzchnia

Ciekawostka z
Japonii



NIPPO
New Tech.Series

Sonic Road

MELODY PAVE



An example of
A children's song, "I
Skyline" located on
border between K
Shizuoka. A melody
30 seconds when y
this route on which
constructed for abc
You can listen to the
http://www.nippo.co.jp/tech_info/general/SQ

Sticking out
above clouds

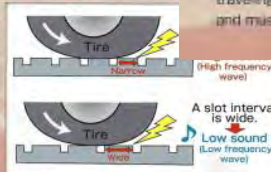
What is MELODY PAVE?

It is a pavement that a melody can be heard from a road surface when a vehicle tra road. It consists of transverse grooves with various intervals to the adjacent groove. Although there are some pavement methods with some grooves formed which prov surface drainage nature, slide resistance, and warning with sound or vibration, etc. co MELODY PAVE gives a completely new function "a road surface plays music" in addit pavement functions, and offers a safe and pleasant drive.

How can MELODY PAVE play music?

The musical pitch (high or low) of a MELODY PAVE is decided by how many grooves there are on the road surface on which a vehicle traveling at a fixed speed passes for a definite period of time. In other words, the more grooves are there in the section (groove interval is narrower), the higher sound is generated, and the fewer grooves are there (groove interval is larger), the lower sound is generated.

When a vehicle passes the road, a road surface sound can be heard as a melody, because grooving which make grooves intervals change variously are formed perpendicularly to the traveling direction in consideration of the speed of a vehicle and musical pitch and phonetic value the music.



What is MELODY PAVE?

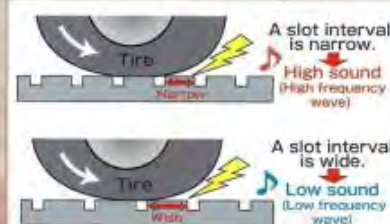
It is a pavement that a melody can be heard from a road surface when a vehicle travels through this road. It consists of transverse grooves with various intervals to the adjacent groove.

Although there are some pavement methods with some grooves formed which provide high road surface drainage nature, slide resistance, and warning with sound or vibration, etc. conventionally, MELODY PAVE gives a completely new function "a road surface plays music" in addition to existing pavement functions, and offers a safe and pleasant drive.

How can MELODY PAVE play music?

The musical pitch (high or low) of a MELODY PAVE is decided by how many grooves there are on the road surface on which a vehicle traveling at a fixed speed passes for a definite period of time. In other words, the more grooves are there in the section (groove interval is narrower), the higher sound is generated, and the fewer grooves are there (groove interval is larger), the lower sound is generated.

When a vehicle passes the road, a road surface sound can be heard as a melody, because grooving which make grooves intervals change variously are formed perpendicularly to the traveling direction in consideration of the speed of a vehicle and musical pitch and phonetic value the music.





Konstrukcja i rodzaje nawierzchni dróg rowerowych

dr inż. Wojciech Bańkowski

Drogi dla rowerów

Instytut Badawczy
Drog i Mostów

KONFERENCJA
DROGI I SZLAKI ROWEROWE
- NOWE MOŻLIWOŚCI

**Komfortowe nawierzchnie dróg i
szlaków rowerowych**

dr inż. Wojciech Bańkowski

WARSZAWA, 22.10.2014



„KOMFORTOWE NAWIERZCHNIE DRÓG ROWEROWYCH”

S studia
i materiały
zeszyt **95**



Instytut
Badawczy
Drog
i Mostów

Wojciech Bańkowski

VADEMECUM
PROJEKTOWANIA I BUDOWY
ASFALTOWYCH DRÓG DLA ROWERÓW



NAWIERZCHNIE DRÓG DLA ROWERÓW ZASTOSOWANIE SMA

dr hab. inż. Wojciech Bańkowski

Profesor IBDiM

eSeMa 2023

Józefów, 18-20 października 2023



PREMIERA PUBLIKACJI „VADEMECUM PROJEKTOWANIA I BUDOWY ASFALTOWYCH DRÓG DLA ROWERÓW”

dr hab. inż. Wojciech Bańkowski

Profesor IBDiM



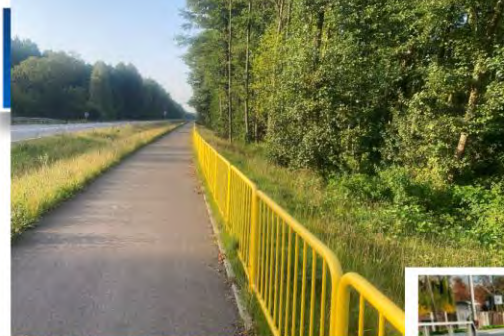
Seminarium PSWNA: „Stwierdzenie i wyzwanie branży drogowej w świetle sytuacji gospodarki i polityki unijnej”



Warszawa 2022

(3) Podstawowym typem nawierzchni do stosowania na drogach dla pieszych i rowerów jest nawierzchnia asfaltowa. Nawierzchnie przeznaczone do ruchu rowerów powinny być wykonane z asfaltu. W razie potrzeby w obszarach zabudowanych stosować nawierzchnie wielkoformatowych, np. płyt ciętych z kamienia naturalnego.

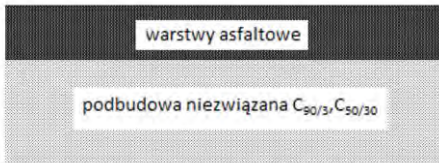
(6) Na drodze dla rowerów oraz drodze dla pieszych i rowerów nie dopuszcza się dla pieszych nie zaleca się stosowania kostki betonowej lub płyt chodnikowych krawężniach.



Fot. Mariusz Myślak



Fot. nr 4.2.2.25 Niebezpieczny odcinek drogi rowerowej nad przepustem



7 cm Dwie warstwy

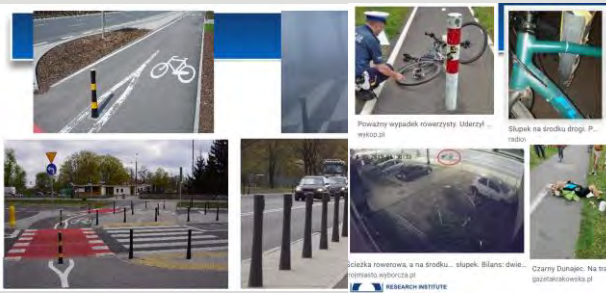
15 cm

50 MPa

Podłoże lub ulepszone podłoże (G3, G4)

Właściwości
Rodzaj
Uziębienie
Grubość
A
Kru

Asfalty kolorowe
Asfalty
Dodatki: włókna, pigmenty
Granulaty asfaltowe
Asfalt laminowany



Jezdnia boczna i ścieżka rowerowa wzdłuż S7 | Mateusz Szmelter / tynwarszawa.pl

Nasz dorobek naukowy

Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Seria „S” Studia i Materiały

Zeszyt 60

Wojciech Bańkowski

ANALIZA TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ
KOMPozyTÓW MINERALNO-ASFALTOWYCH
METODĄ KONWENCJONALNĄ
ORAZ METODĄ ENERGII ROZPROSZONEJ

Warszawa, 2008

mgr inż. Marcin Gajewski

ZASTOSOWANIE MES I MODELOWANIA
KONSTYTUTYWNEGO W ANALIZIE
SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNYCH MATERIAŁÓW
ANIZOTROPOWYCH

Rozprawa doktorska

Promotor
dr hab. Stanisław Jemioło, prof. PW



Warszawa 2007

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



POLITECHNIKA WARSZAWSKA

PRACE NAUKOWE • BUDOWNICTWO • z. 160
ISBN 9127-2297 • ISBN 978-83-7014-768-8

Marcin Gajewski

BADANIA LEPISZCZY ASFALTOWYCH
W REOMETRZE DYNAMICZNEGO ŚCINANIA –
RELACJE KONSTYTUTYWNE LEPKOSPĘŻYSTOŚCI,
HIPERSPĘŻYSTOŚCI I LEPKOHIPERSPĘŻYSTOŚCI



OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
WARSZAWA 2018

S studia
i materiały
zeszyt **86**

Instytut
Badawczy
Dróg
i Mostów

Praca zbiorowa pod kierunkiem
Barbary Rymczy

BEZPIECZNE I TRWAŁE
NAWIERZCHNIE DRÓG ROWEROWYCH

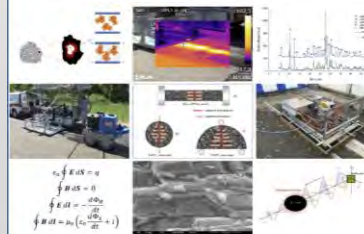


S studia
i materiały
zeszyt **85**

Instytut
Badawczy
Dróg
i Mostów

Maciej Maliszewski

ZASTOSOWANIE MIKROFAL.
PODZAS WYKONYWANIA I NAPRAWY
NAWIERZCHNI ASFALTOWEJ



Warszawa 2020

Warszawa 2020

Wojciech Bańkowski

VADEMECUM
PROJEKTOWANIA I BUDOWY
ASFALTOWYCH DRÓG DLA ROWERÓW



Warszawa 2022

Monografie

Publikacje naukowe

Konferencje

Seminaria

Patenty

Recenzje publikacji

Recenzje w przewodach doktorskich i habilitacyjnych

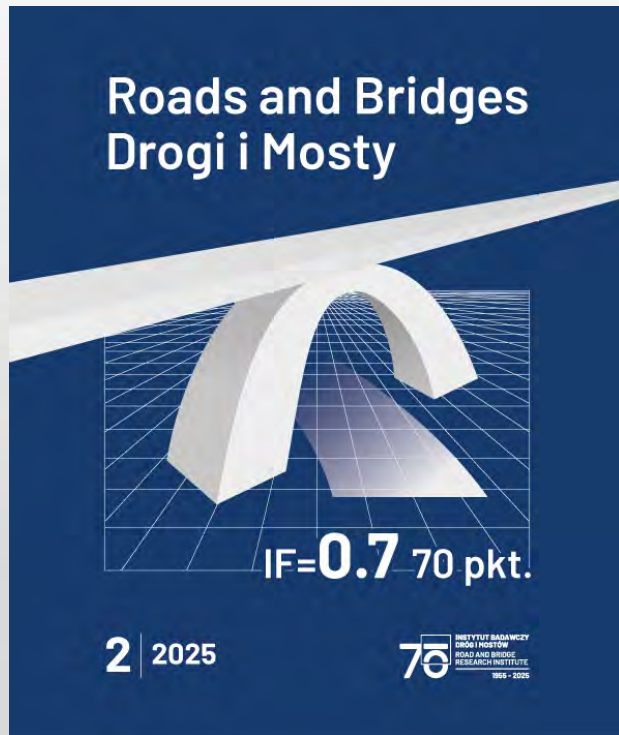
Promotorstwo prac dyplomowych

Działalność dydaktyczna na uczelniach wyższych PW, UTH

Współpraca zagraniczna RILEM, FEHRL

Członkostwo w komitetach redakcyjnych, konferencyjnych

(.....)



MRP'25

PATRONAT MEDIALNY

PARTNER TYTANOWY



O KONFERENCJI

DLA AUTORÓW

ZGŁASZANIE REFERATÓW

REJESTRACJA

PARTNERZY

KONTAKT

**Zapraszamy na II Międzynarodową Konferencję
"Nowoczesne nawierzchnie drogowe - recykling i dekarbonizacja" MRP'25
22-23 października 2025 r.**

**„....wakacje zaczynają się w
miejscu gdzie kończy się asfalt....”**



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

1955 - 2025

Dziękuję za uwagę

