



# **NAWIERZCHNIE POROELASTYCZNE ORAZ NAWIERZCHNIE Z PODBUDOWĄ ASFALTOWĄ HIMA**

**dr hab. inż. Piotr JASKUŁA, prof. PG**

**Katedra Inżynierii Drogowej i Transportowej  
Politechnika Gdańska**

**26-28/04/2022**



## ZAKRES – 2 PROJEKTY BADAWCZE

### **Nawierzchnie poroelastyczne**

- badania laboratoryjne (składy, szczepność, etc.)
- badania terenowe (produkcja, odcinki testowe, hałas, palność rozlanego paliwa)

### **Nawierzchnie z podbudową asfaltową HiMA**

- badania laboratoryjne
- analizy obliczeniowe (strukturalne i LCCA/LCA)
- efekt: zredukowana grubość oraz wydłużona trwałość



## ZAKRES – 2 PROJEKTY BADAWCZE

### Nawierzchnie poroelastyczne

- badania laboratoryjne (składy, szczepność, etc.)
- badania terenowe (produkcja, odcinki testowe, hałas, palność rozlanego paliwa)

### Nawierzchnie z podbudową asfaltową HiMA

- badania laboratoryjne
- analizy obliczeniowe (strukturalne i LCCA/LCA)
- efekt: zredukowana grubość oraz wydłużona trwałość



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

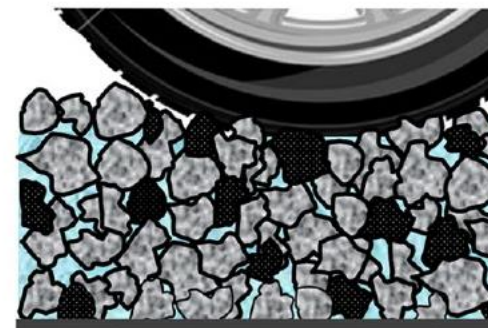


## NAWIERZCHNIA POROELASTYCZNA - SEPOR

**Cel:** opracowanie nawierzchni poroelastycznych, wykorzystujących **granulat gumowy** jako szkielet i **asfalt** jako lepiszcze

Nawierzchnia poroelastyczna:

- redukuje hałas drogowy (10-12 dB) i
- poprawia bezpieczeństwo ruchu poprzez zwiększoną wodoprzepuszczalność
- korzystne właściwości przeciwpoślizgowe oraz
- zdolność do opóźnienia pożarów rozlewisk paliwa.



## HISTORIA

- 1985 – PEAC (3-5 dB): von Meier and Heerkens
- 1993 – PERS (10 dB): Meiarashi
- 2004 – PERS (10 dB): Sandberg & Ejsmont
- 2005 – PERS QCITY (7 dB): Ulmgren & Nilson
- 2009 – PERSUADE (11 dB): Sandberg & Goubert
- 2015 – zakończenie PERSUADE (brak trwałości i brak szczepności)
- 2018 – **SEPOR** (12 dB): Ejsmont & Jaskuła & Gardziejczyk
- 2021 – zakończenie SEPOR (brak trwałości)





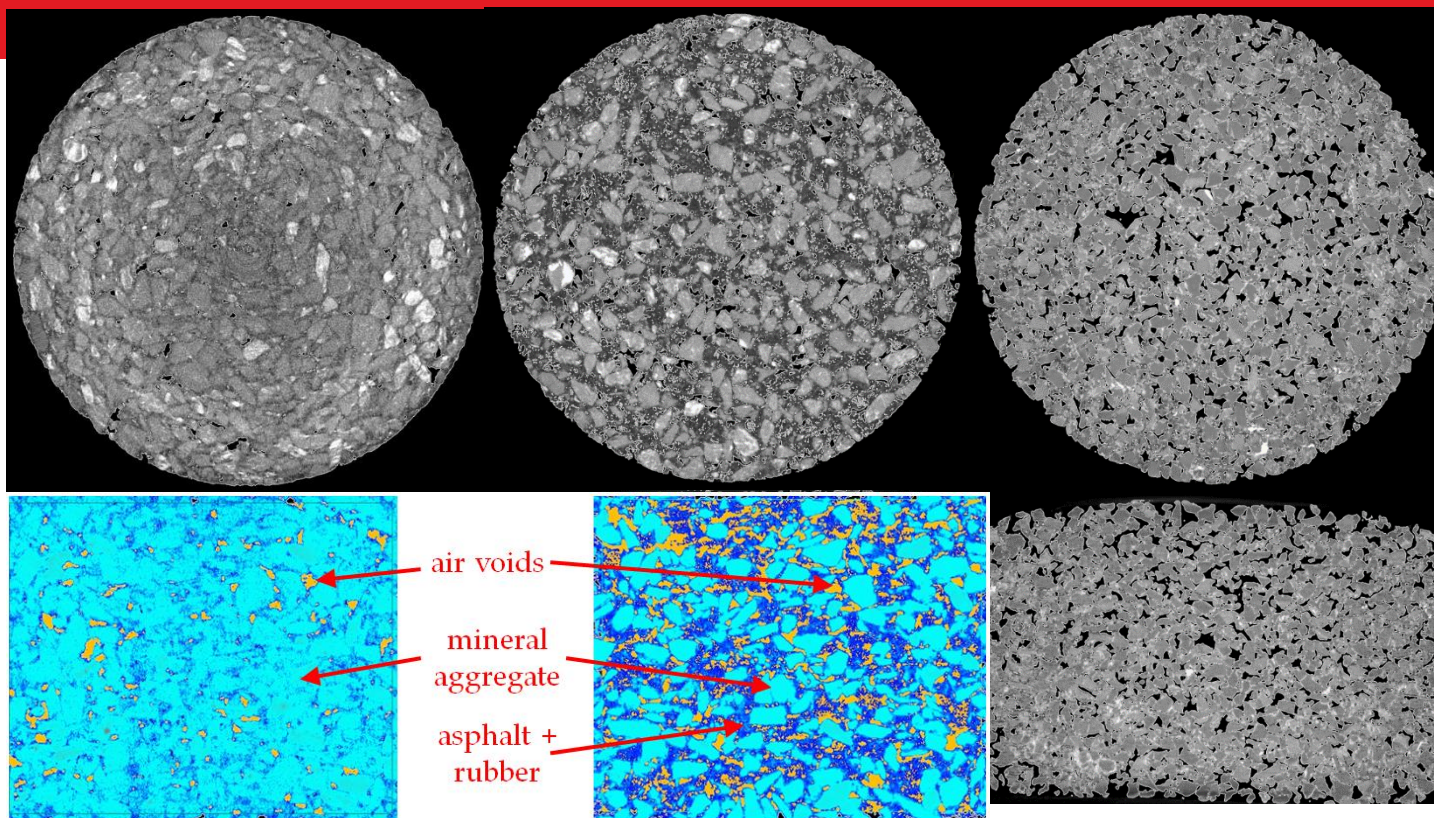
POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA



## ROZKŁAD GRYSU GUMOWEGO



**SMA 5 w 2/1**

CR=0%

v=3,7%; b=7,1% $\text{m/m}$

**SMA 5 w 2/1**

CR=33% $\text{v/v}$

v=16,6%; b=10% $\text{m/m}$

**SMA 4**

CR=93% $\text{v/v}$

v=31,3%; b=22% $\text{m/m}$



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

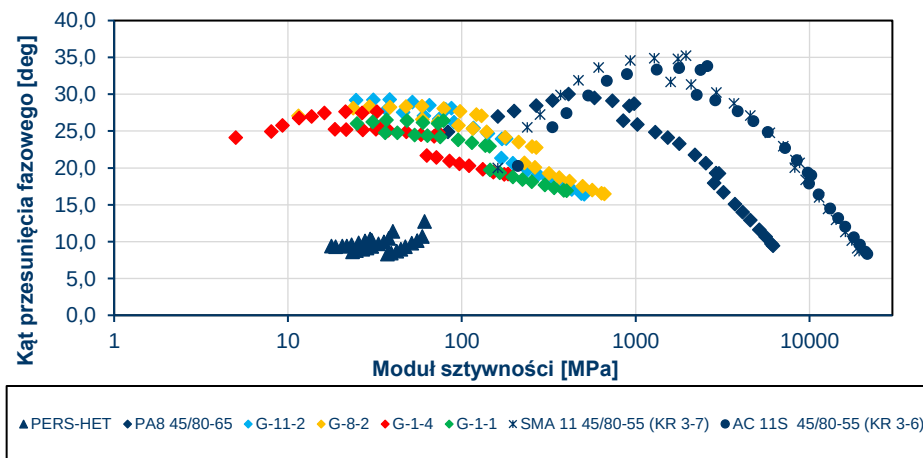
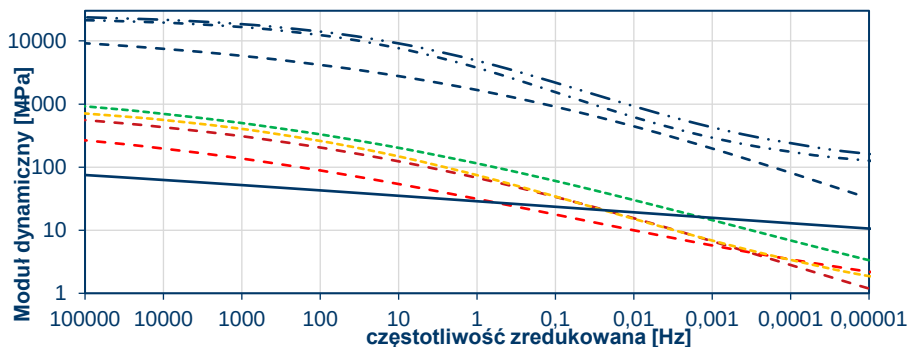


POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA



## WŁAŚCIWOŚCI MIESZANKI SEPOR

1. Moduł sztywności@20°C 200÷300 MPa (20% SMA)
2. Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie 200÷250 kPa (25%)
3. Wytrzymałość na ściskanie proste – brak zniszczenia
4. Cantabro – nie uległy zniszczeniu, odbijają się od bębna
5. Ścinanie wewnątrz warstwy - 0,5÷1,0 MPa (30-90%)
6. Koleinowanie – odporność, ale nieporównywalna do MMA







POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

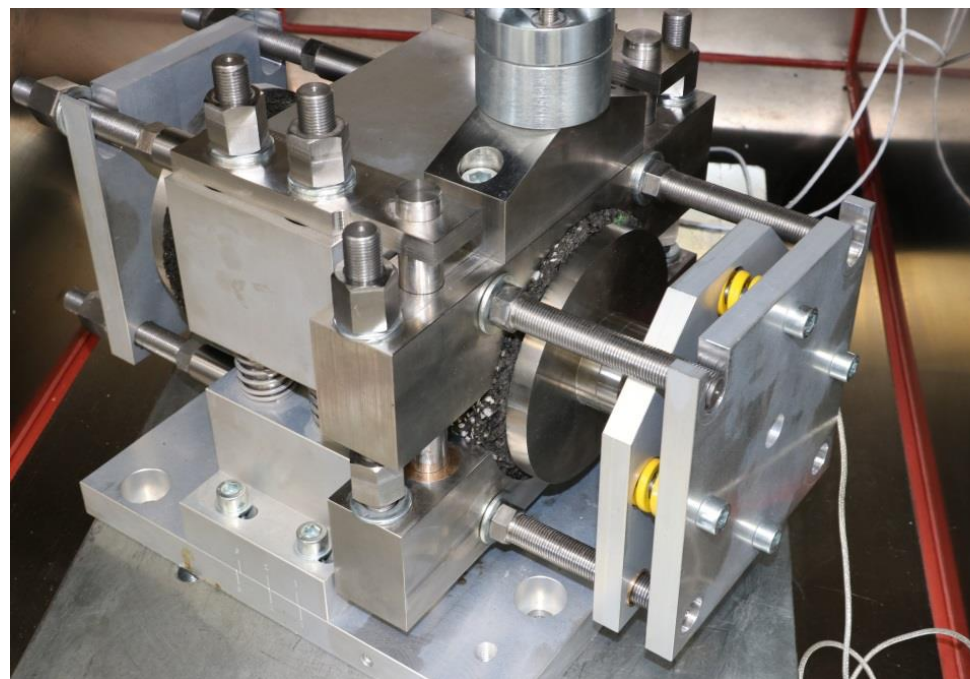


POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA



# SCZEPNOŚĆ MIĘDZYWARSTWOWA







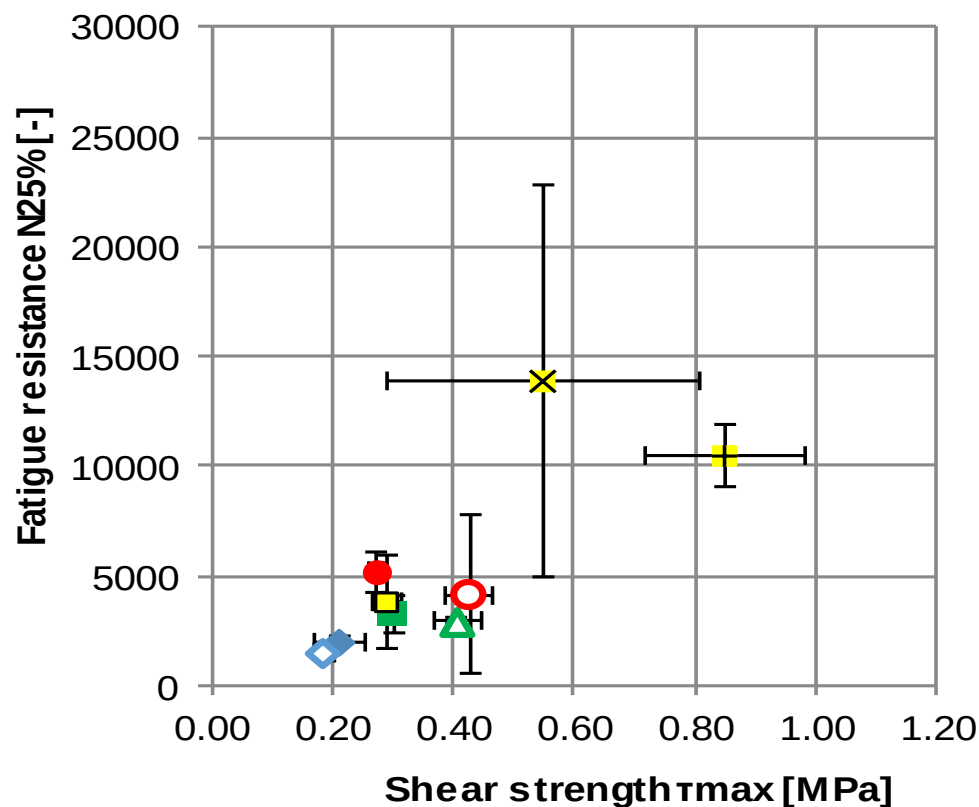
POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA



# SCZEPNOŚĆ MIĘDZYWARSTWOWA - WYNIKI



Low er layer

Bitumen

AC16

◆ 35/50 + SBS

■ 50/70 + SBS

● 70/100

SMA11

◆ 35/50 + SBS

▲ 50/70 + SBS

○ 70/100

■ 70/100 + SBS

SMA11 milled:  
crosswise

✕ 70/100 + SBS

lengthwise

✚ 70/100 + SBS



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

UCZELNIA  
BADAWCZA  
inicjatywa doskonałości



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

MTM

BR  
Narodowe Centrum  
Badań i Rozwoju

Politechnika  
Białostocka

# PRODUKCJA





POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

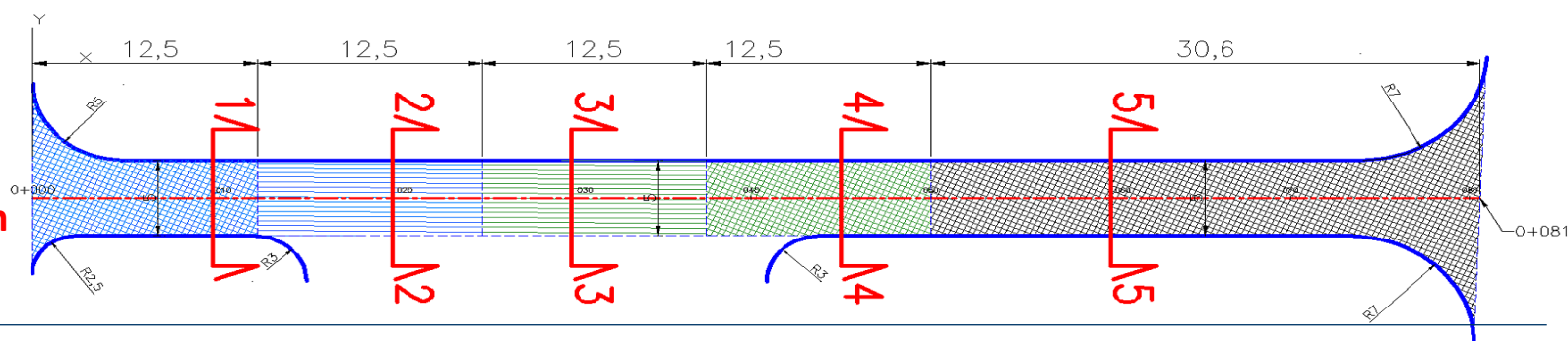


POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA



# ODCINKI DOŚWIADCZALNE

**TEST 1**  
80 m x 3 m



| Sekcja 8<br>20m         | Sekcja 7<br>20m | Sekcja 6<br>20m | Sekcja 5<br>20m | Sekcja 4<br>20m         | Sekcja 3<br>20m | Sekcja 2<br>20m | Sekcja 1<br>20m |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PSMA 5 w 4/1, CR15, A13 |                 |                 |                 | PSMA 5 w 4/1, CR15, A11 |                 |                 |                 |

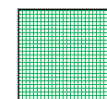
Skropienie emulsją asfaltową C60 BP3 ZM

**TEST 2**  
160 m x 3 m

|                  |  |                 |  |  |  |                  |  |
|------------------|--|-----------------|--|--|--|------------------|--|
| Kierunek ruchu   |  |                 |  |  |  |                  |  |
| AC 16 W<br>35/50 |  | SMA 11 45/80-55 |  |  |  | AC 16 W<br>35/50 |  |



Frezowanie podłużne



Frezowanie podłużne +  
siatka szklana S&P





POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

UCZELNIA  
BADAWCZA  
inicjatywa doskonałości



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

MTM

BR  
Narodowe Centrum  
Badań i Rozwoju

lp Politechnika  
Białostocka

# NAWIERZCHNIA SEPOR







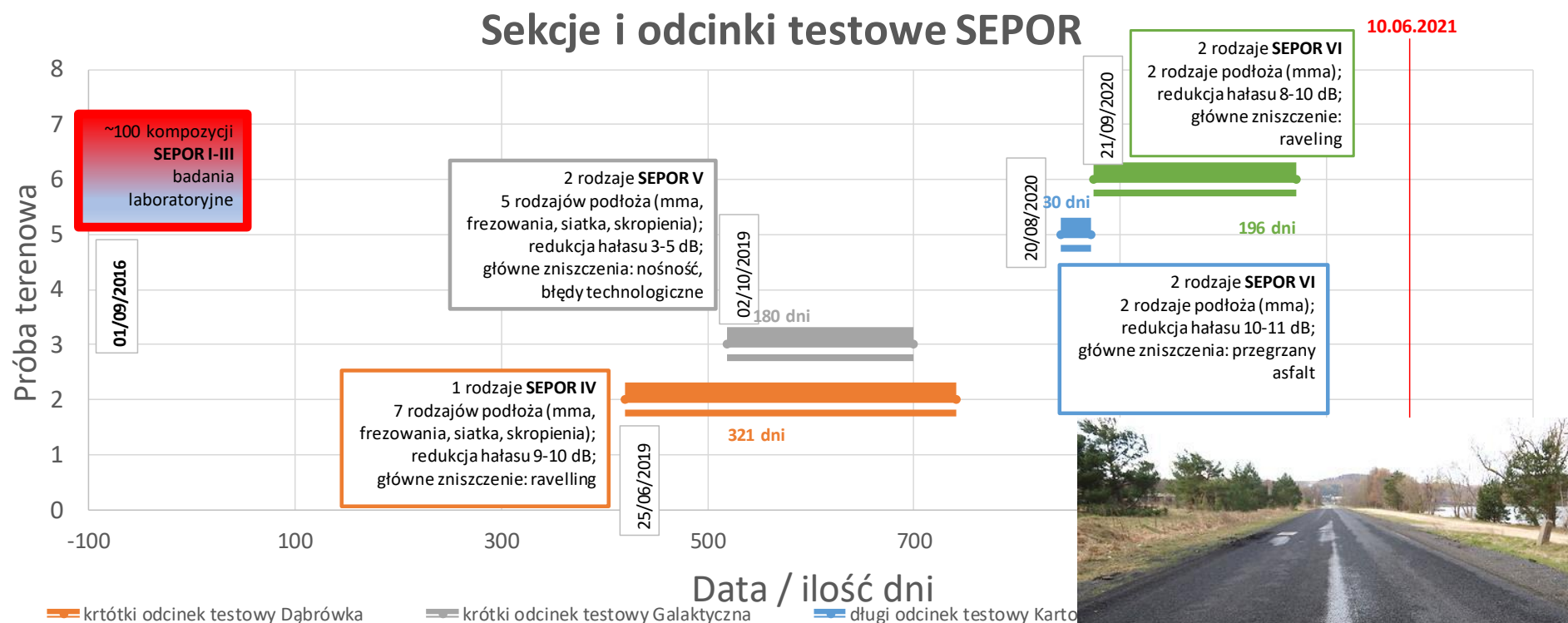
POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA



# ODCINKI DOŚWIADCZALNE (1)







POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

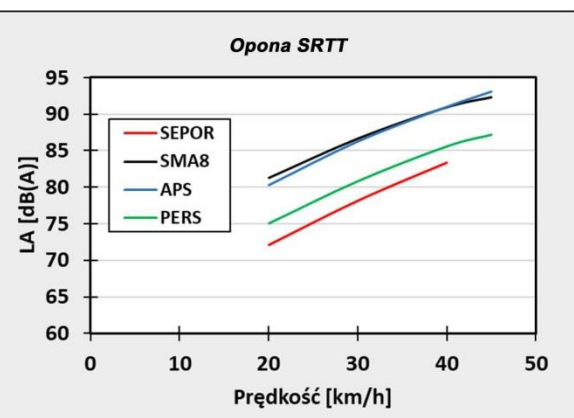


# HAŁAS

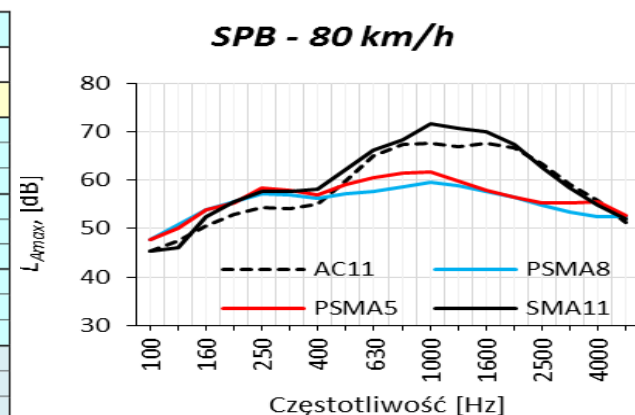
SEPOR -8 dB do SMA11

SEPOR -10-14 dB do SMA11

SEPOR -10 dB do SMA11



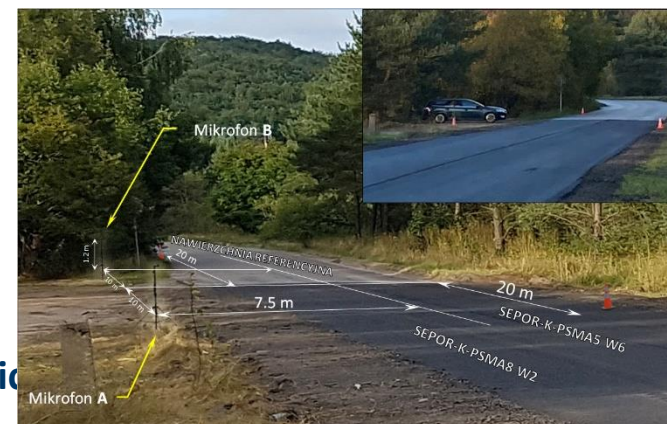
| Nawierzchnia:        |                               | SEPOR-K-PSMA5 W6 |         | SEPOR-K-PSMA8 W2 |         |
|----------------------|-------------------------------|------------------|---------|------------------|---------|
| Opony:               | Prędkość:                     | 50 km/h          | 80 km/h | 50 km/h          | 80 km/h |
|                      | Redukcja hałaśliwości [dB(A)] |                  |         |                  |         |
| OL - opony letnie    | średnio:                      | 9,2              | 10,9    | 6,1              | 6,5     |
|                      | minimum:                      | 8,5              | 10,4    | 5,8              | 6,2     |
|                      | maksimum:                     | 10,5             | 11,3    | 6,5              | 6,7     |
| OZ - opony zimowe    | średnio:                      | 9,7              | 10,2    | 6,6              | 5,9     |
|                      | minimum:                      | 9,6              | 9,1     | 6,4              | 5,5     |
|                      | maksimum:                     | 9,8              | 10,9    | 6,9              | 6,1     |
| DK - opony kolcowane | średnio:                      | 13,0             | 14,2    | 9,4              | 9,6     |
|                      | minimum:                      | 12,6             | 13,9    | 8,6              | 9,1     |
|                      | maksimum:                     | 13,3             | 14,6    | 10,2             | 10,1    |
| Wszystkie opony      | średnio:                      | 10,6             | 11,8    | 7,8              | 7,2     |
|                      | minimum:                      | 8,5              | 9,1     | 5,8              | 5,5     |
|                      | maksimum:                     | 13,3             | 14,6    | 10,2             | 10,1    |



LAB - BĘBEN

CPX

CPB/SPB/modCPB





POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



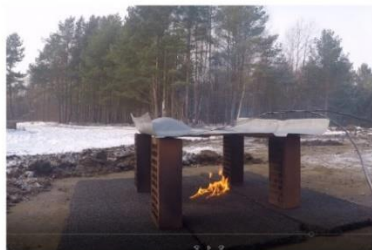
POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA



# PRÓBY OGNIOWE

I: 0.3 litra; 5 i 10 sek

II: 15 litrów; 2 minuty



NAWIERZCHNIA DRENAŻOWA



NAWIERZCHNIA SMA



NAWIERZCHNIA PERS HET



NAWIERZCHNIA SEPOR

02:00





POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

UCZELNIA  
BADAWCZA  
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

MTM

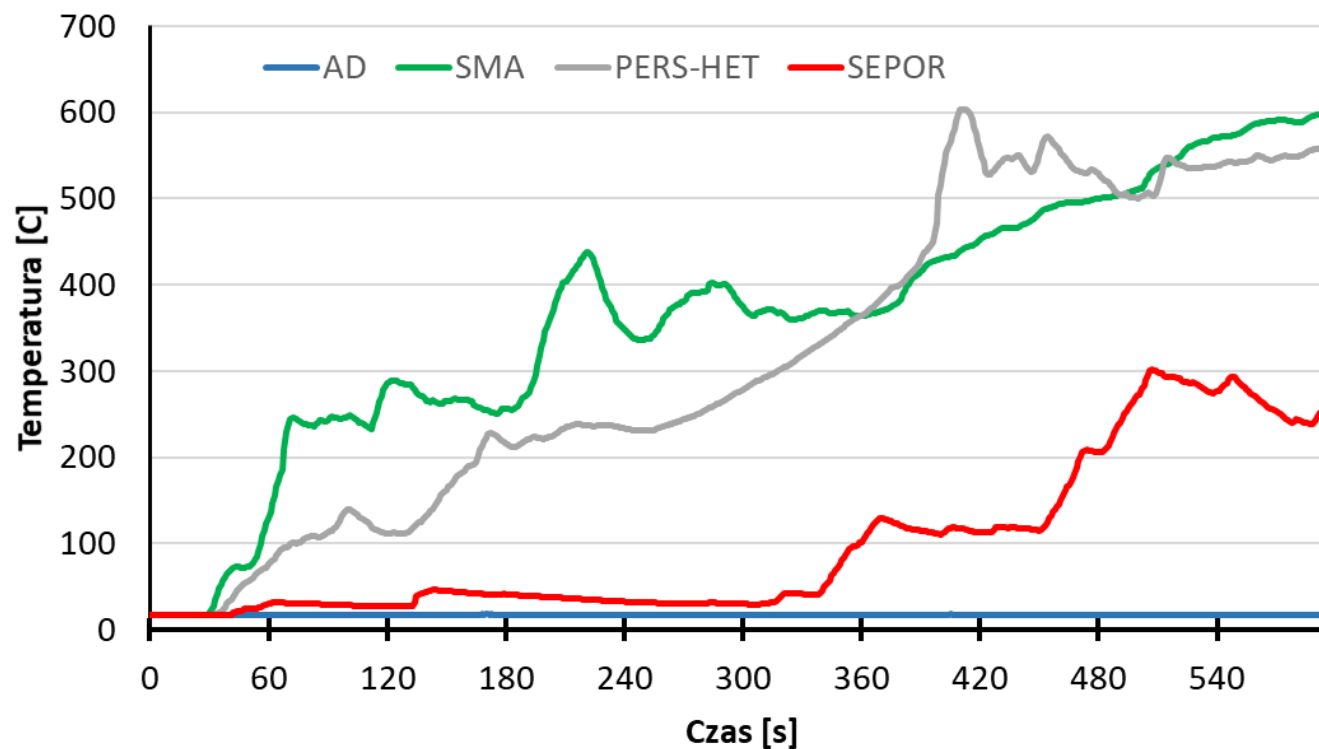
BR  
Narodowe Centrum  
Badań i Rozwoju

Politechnika  
Białostocka

## PRÓBY OGNIOWE (2)

II: 15 litrów

Temperatura w przedziale silnikowym







## ZAKRES – 2 PROJEKTY BADAWCZE

### Nawierzchnie poroelastyczne

- badania laboratoryjne (składy, szczepność, etc.)
- badania terenowe (produkcja, odcinki testowe, hałas, palność rozlanego paliwa)

### Nawierzchnie z podbudową asfaltową HiMA

- badania laboratoryjne
- analizy obliczeniowe (strukturalne i LCCA/LCA)
- efekt: zredukowana grubość oraz wydłużona trwałość



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

Politechnika  
Warszawska



Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów

budimex



## CELE PROJEKTU - LOB

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



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



UCZELNIA  
BADAWCZA  
inicjatywa doskonałości



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

Politechnika  
Warszawska

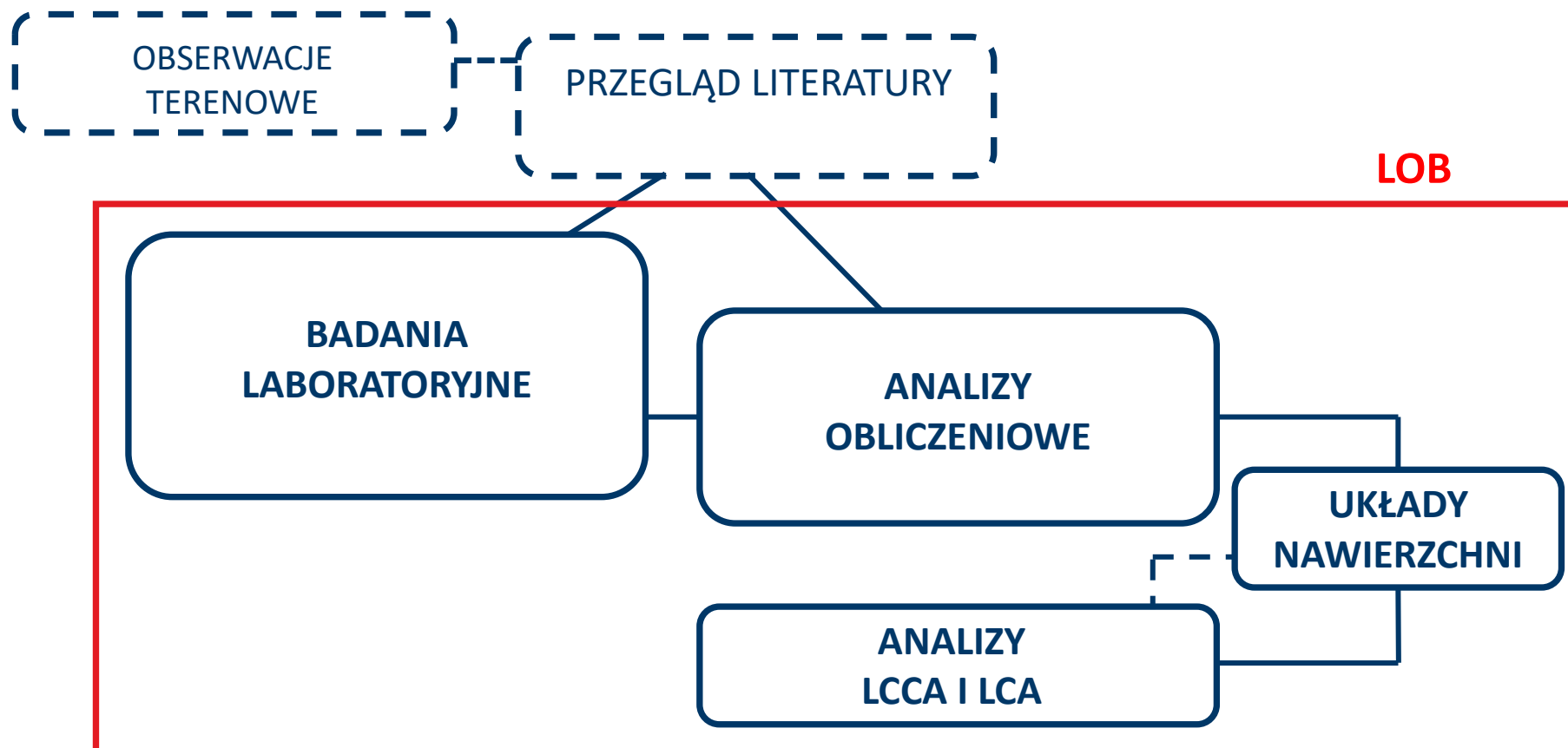


Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów

budimex



## ZAKRES PROJEKTU







POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

Politechnika  
Warszawska



Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów

budimex



# ZAKRES BADAŃ LABORATORYJNYCH

## BADANIA TYPU

### WYSOKIE TEMPERATURY

- RLAT (EN 12697-25)
- Koleinowanie w wodzie (EN 12697-22+A1)
- Flow Number (AASHTO TP-79)

### POŚREDNIE TEMPERATURY

- 4PBT mała belka, 10 Hz, do 2 mln cykli
- 4PBT duża belka, 25 Hz, do 8 mln cykli  
(EN 12697-24)

### NISKIE TEMPERATURY

- TSRST (EN 12697-46)
- UTST (EN 12697-46)
- TCT (EN 12697-46)

- ITS (EN 12697-23)
- SCB (EN 12697-14)

• | E\* | (NCHRP Report 614)



Polski Kongres Drogowy

VIII Śląskie Forum Drogownictwa, Wiśła, 26-28 kwietnia 2022



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

Politechnika  
Warszawska

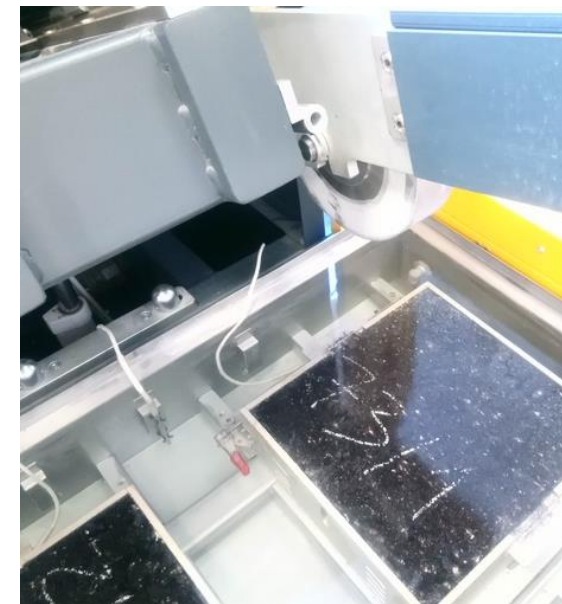
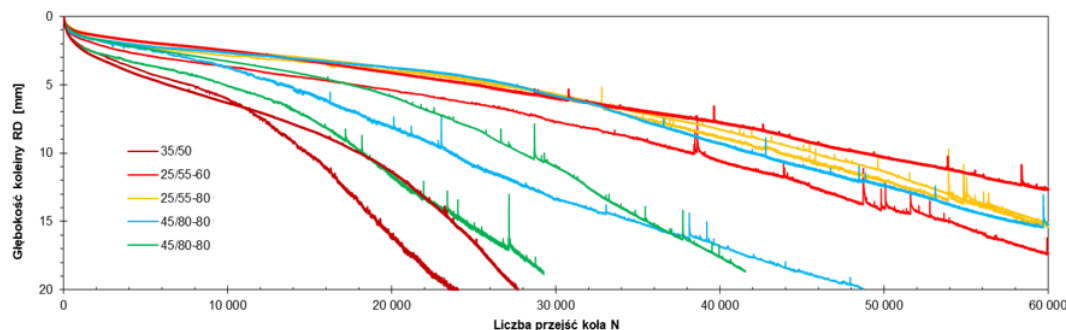
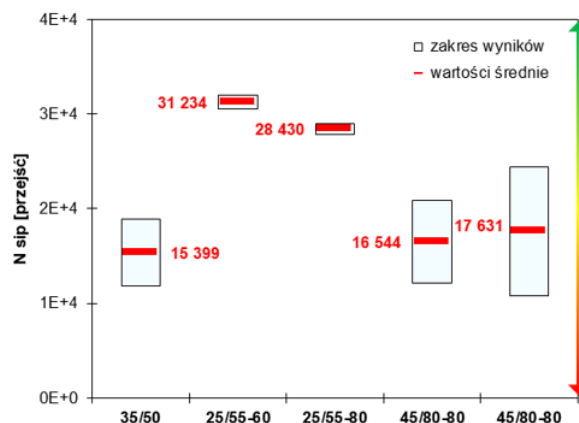


budimex



# KOLEINOWANIE W WODZIE – HAMBURG TEST

1. **25/55-60 i 25/55-80** – zbliżone rezultaty, największa odporność
2. **45/80-80 L i O** – zbliżone rezultaty, wysoka odporność
3. **35/50** – w ogólności mniejsza odporność niż dla PmB i HiMA
4. **wszystkie asfalty** – spełnienie amerykańskich kryteriów (USA)
5. **koleinowanie w wodzie** – lepsze różnicowanie niż w kolein. w powietrzu





POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



UCZELNIA  
BADAWCZA  
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

Politechnika  
Warszawska

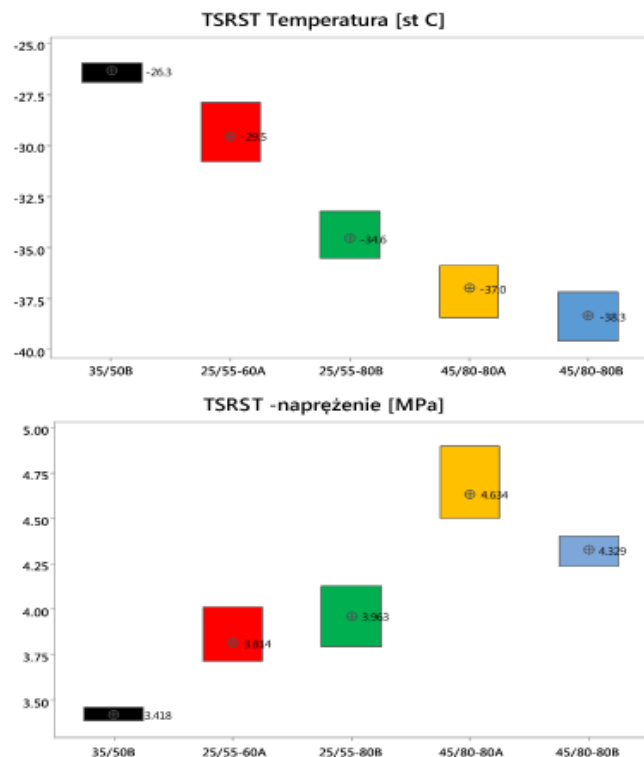


Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów

budimex



## TSRST – NISKIE TEMPERATURY WG PN-EN 12697-46



- Najniższe temperatury pęknięcia uzyskano z badań mieszanki AC 22P z HiMA 45/80-80 jednocześnie naprężenie termiczne wygenerowane w tych mieszankach było największe.
- Najślabszy wynik uzyskano badając próbki z asfaltem drogowym 35/50, natomiast mieszanka AC 22P z PMB 25/55-60 uplasowała się pomiędzy asfaltem drogowym a asfaltami HiMA.





POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



UCZELNIA  
BADAWCZA  
inicjatywa doskonałości



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

Politechnika  
Warszawska

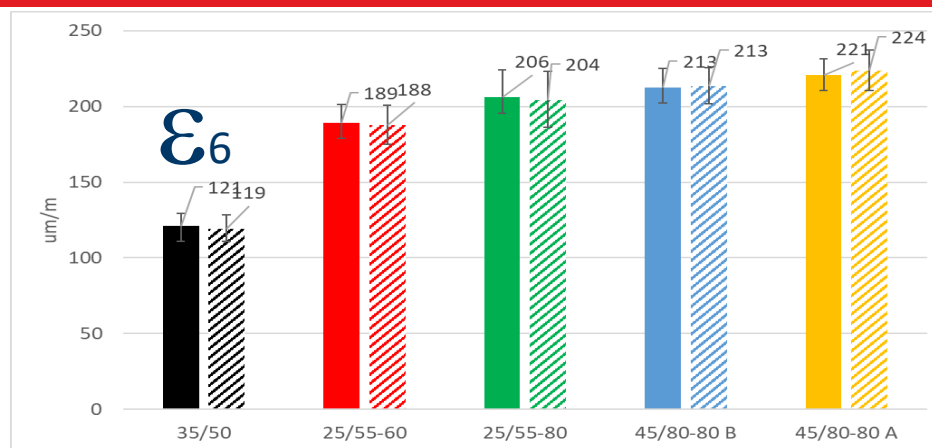
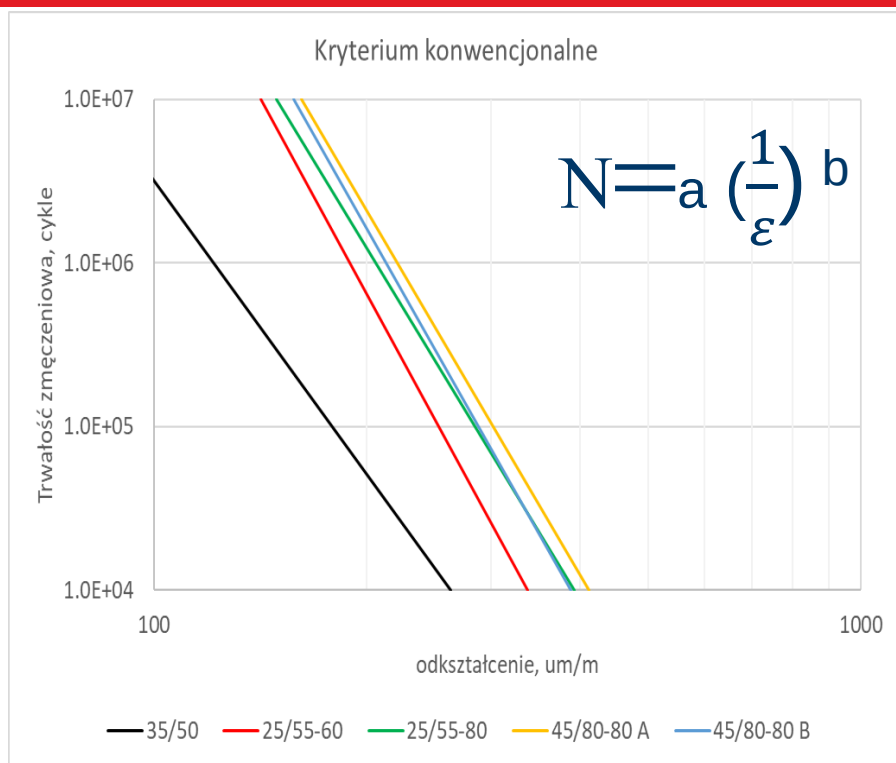


Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów

budimex



# 4PBT – TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA







**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

**Politechnika  
Warszawska**



**Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów**

**budimex**



## ZAKRES ANALIZ

### **Analizy mechanistyczno-empiryczne konstrukcji nawierzchni wg:**

- metodyki opracowanej do Katalogu 2014 (kryteria AASHTO, LCPC)
- metody M-EPDG (AASHTOware Pavement)

**Analizy LCCA** - oszacowanie kosztów budowy, utrzymania i eksploatacji nawierzchni w pełnym cyklu życia

**Analizy LCA** - określenie wskaźników oddziaływania na środowisko



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

**Politechnika  
Warszawska**



**Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów**

**budimex**



## ZAKRES ANALIZ

### **Analizy mechanistyczno-empiryczne konstrukcji nawierzchni wg:**

- metodyki opracowanej do Katalogu 2014 (kryteria AASHTO, LCPC)
- metody M-EPDG (AASHTOware Pavement)

**Analizy LCCA** - oszacowanie kosztów budowy, utrzymania i eksploatacji nawierzchni w pełnym cyklu życia

**Analizy LCA** - określenie wskaźników oddziaływania na środowisko



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA



UCZELNIA  
BADAWCZA  
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I SRODOWISKA

Politechnika  
Warszawska



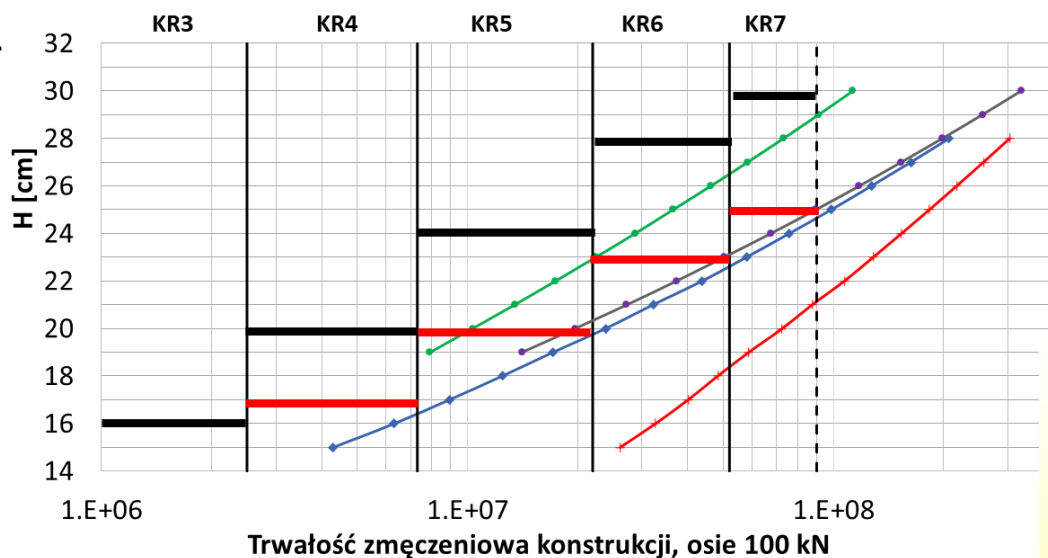
Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów

budimex

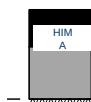


# ANALIZ MECHANISTYCZNO-EMPIRYCZNE

Grubość warstw asfaltowych



150 MPa



H, Warstwy asfaltowe

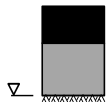
20 cm, Mieszanka

niezwiązana C90/3

Dolne warstwy i podłoże

og

100 MPa  
120 MPa



H, Warstwy asfaltowe

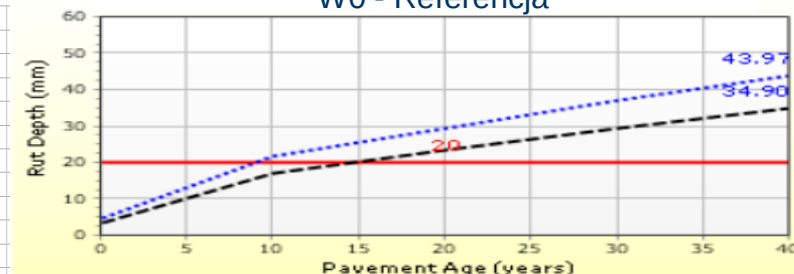
20 cm, Mieszanka

niezwiązana C90/3

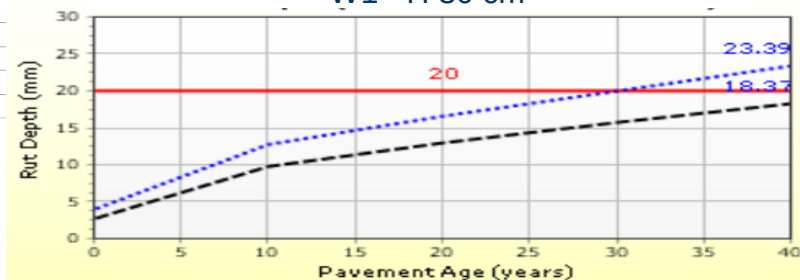
Dolne warstwy i podłoże

ui

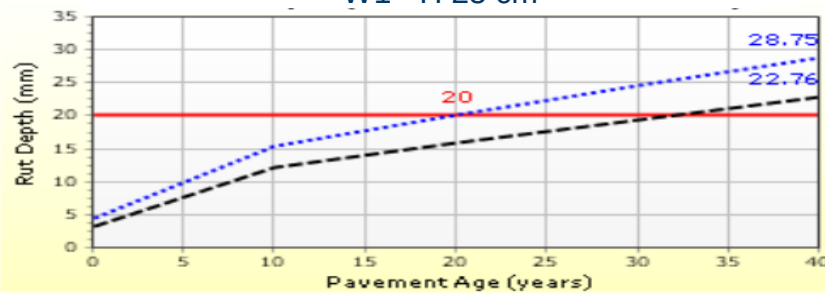
W0 - Referencja



W1 - H 30 cm



W1 - H 25 cm





**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**



**UCZELNIA  
BADAWCZA**  
inicjatywa doskonałości



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

**Politechnika  
Warszawska**



**Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów**

**budimex**



## KONSTRUKCJE PROPONOWANE - REDUKCJA GRUBOŚCI

| Kategoria ruchu                     | KR1         | KR2        | KR3       | KR4       | KR5        | KR6         | KR7    |
|-------------------------------------|-------------|------------|-----------|-----------|------------|-------------|--------|
| Ruch projektowy<br>(mln osi 100 kN) | 0,03 – 0,09 | 0,09 – 0,5 | 0,5 – 2,5 | 2,5 – 7,3 | 7,3 – 22,0 | 22,0 – 52,0 | > 52,0 |
| TYP A1H                             |             |            |           |           |            |             |        |

**REDUKCJA GRUBOŚCI: - 2 cm**

**- 3 cm**

**- 4 cm**

**- 4 cm**

### LEGENDA:



warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-asfaltowej;



warstwa wiążąca z betonu asfaltowego;



warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego z asfaltem HiMA;



warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3;



wymagany wtórny moduł odkształcenia  $E_2$





**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**



**UCZELNIA  
BADAWCZA**  
inicjatywa doskonałości



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
I ŚRODOWISKA

**Politechnika  
Warszawska**



**Instytut  
Badawczy  
Dróg i Mostów**

**budimex**



## KONSTRUKCJE PROPONOWANE - WYDŁUŻENIE TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

| Konstrukcje nawierzchni dla okresu projektowego 50 lat |  |  |  |        |             |            |           |
|--------------------------------------------------------|--|--|--|--------|-------------|------------|-----------|
| Ruch projektowy<br>(mln osi 100 kN)                    |  |  |  | < 17,0 | 17,0 – 52,0 | 52,0 – 150 | 150 – 250 |
| TYP A1P                                                |  |  |  |        |             |            |           |

**WZROST TRWAŁOŚCI: + 10 mln**

**+ 30 mln**

**+ 100 mln**

**+ 160 mln**

### LEGENDA:



warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-asfaltowej;



warstwa wiążąca z betonu asfaltowego;



warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego z asfaltem HiMA;



warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3;



wymagany wtórny moduł odkształcenia  $E_2$



## PODSUMOWANIE

### Nawierzchnie poroelastyczne (SEPOR)

1. Możliwe jest zastosowanie asfaltu (HiMA)
2. Szczepność międzywarstwowa OK, trwałość (*durability*) warstwy niewystarczająca, ze względu na wyrywanie ziaren (*raveling*)
3. Redukcja hałasu 10-14 dB
4. Istotne opóźnienie ognia oraz wysokiej temperatury

### Nawierzchnie z podbudową asfaltową HiMA

1. Bardzo dobre parametry warstwy podbudowy z HiMA
2. Redukcja o 10-15% grubości pakietu MMA lub 3x wydłużenie trwałości zmęczeniowej
3. +10% koszt budowy; 40 lat efektywność bardzo duża przy KR7



**dr hab. inż. Piotr JASKUŁA, prof. PG**

[piotr.jaskula@pg.edu.pl](mailto:piotr.jaskula@pg.edu.pl)