



PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

# **Indywidualne projektowanie konstrukcji nawierzchni dzięki metodzie mechanistyczno - empirycznej**

*Dawid Siemieński*  
*Pracownia Inżynierska KLOTOIDA*

*Zakopane 4-6 lutego 2009r.*

# Projektowanie konstrukcji nawierzchni

---

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Problemy projektanta konstrukcji nawierzchni:

- odpowiedzialność,
- presja ze strony Wykonawcy i Inwestora,
- obowiązujące przepisy,
- konieczność szukania właściwych metod projektowania,
- każdy projekt wymaga indywidualnego podejścia.

# Projektowanie konstrukcji nawierzchni

---

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Metody projektowania:

- typowe konstrukcje nawierzchni,
- projektowanie wzmocnień metodą ugięć
- metoda mechaniczno – empiryczna

# Typowe konstrukcje nawierzchni

---

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

Zastosowanie odpowiedniej typowej konstrukcji  
nawierzchni wg:

- katalogów,
- Warunków Technicznych,
- zeszyty IBDiM (konstrukcje WMS, MCE)



# Projektowanie wzmocnień - metoda ugięć

---

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Dane wyjściowe:

- wyniki pomiaru ugięć belką benkelmana,
- współczynniki sezonowości, temperatury oraz podbudowy,
- prognozowane natężenie ruchu w okresie obliczeniowym.

## Sposób obliczeń:

- wyznaczenie zastępczej grubości wzmocnienia na podstawie nomogramu,
- obliczenie grubości poszczególnych warstw dzięki współczynnikom materiałowym

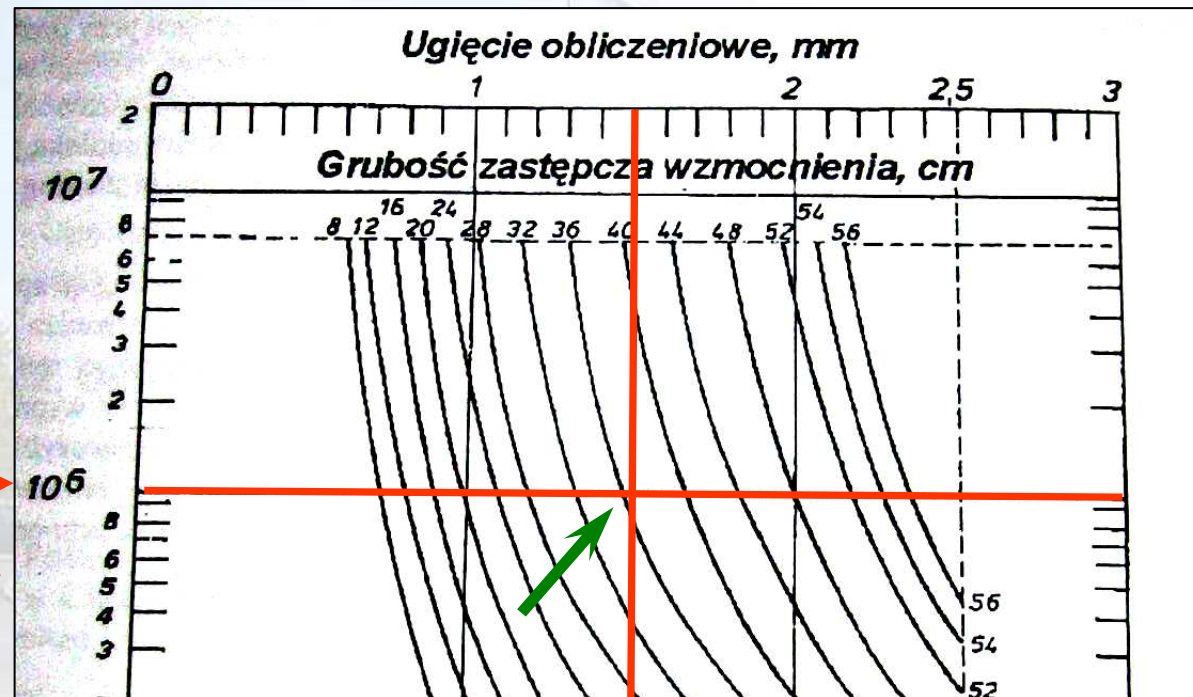
# Projektowanie wzmocnień - metoda ugięć

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Wyznaczanie grubości zastępczej wzmocnienia

$U_{obl} = 1,5 \text{ mm}$



$N_{obl} = 1 \text{ mln osi}$

# Metoda mechanistyczno - empiryczna

---

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Dane wejściowe:

- moduły sztywności warstw nawierzchni,
- moduł sztywności podłoża gruntowego zbadanego lub obliczonego na podstawie wskaźnika CBR,
- współczynniki Poissona,
- dane materiałowe warstw asfaltowych (zawartość próżni, asfaltu),
- obciążenie kołem samochodu,
- prognozowane natężenie ruchu w okresie obliczeniowym.



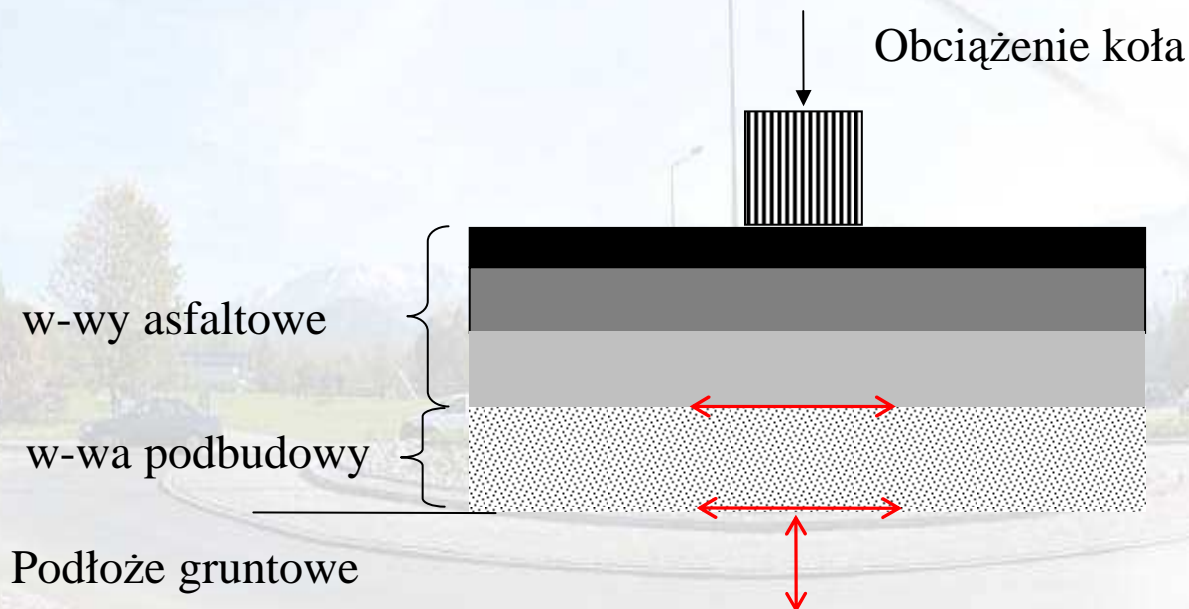
# Metoda mechanistyczno - empiryczna

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Sposób obliczeń:

- odkształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych,
- naprężenie na spodzie warstw związanych spoiwem,
- odkształcenie ściskające na podłożu gruntowym.





# Metoda mechaniczno - empiryczna

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Obliczenie trwałości nawierzchni:

- wg kryterium spekań zmęczeniowych warstw asfaltowych,

$$N = 18,4 \cdot C \cdot (6,167 \cdot 10^{-5} \cdot \epsilon_t^{-3,291} \cdot |E|^{-0,854})$$

- wg kryterium deformacji strukturalnych nawierzchni (podłoża gruntowego),

$$\epsilon_p = k(1/N)^m$$

- wg kryterium warstw związanych spoiwami hydraulicznymi

$$\log N_f = 11,784 - 12,121 \cdot (\sigma / R_{zgin})$$

# Analiza trwałości nawierzchni

---

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## UWAGA!

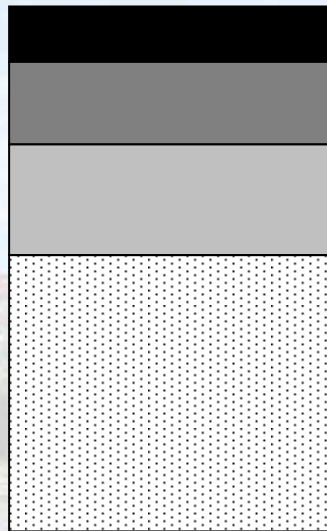
1. Przyjęto ramowe wartości składu MMA wg **nieobowiązującej** już normy PN-S-96025.
2. Przedstawiono warianty konstrukcji nawierzchni nieuwzględniające warunku mrozoodporności oraz nie brano pod uwagę wzmocnienia podłoża. Dlatego przedstawionych wariantów nie należy traktować jako projektów konstrukcji nawierzchni.
3. Przeprowadzone rozważania są teoretyczne i mają na celu jedynie przedstawienie możliwości obliczenia trwałości nawierzchni.

# Analiza trwałości nawierzchni

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Typowa konstrukcja nawierzchni dla KR3



4 cm – warstwa ścieralna z BA 0/12.8mm, asfalt 50/70

6 cm – warstwa wiążąca z BA 0/20mm, asfalt 35/50

8 cm – warstwa podbudowy z BA 0/25mm, asfalt 35/50

20 cm – warstwa podbudowy z tłucznia



# Moduł sztywności asfaltu

---

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Analiza modułu sztywności asfaltu za pomocą programu BANDS.

Program opiera się na nomogramach Van der Pole'a, co ogranicza jego stosowanie (nie uwzględnia asfaltów parafinowych oraz modyfikowanych).

Można zauważyć, że czym mniejsza temperatura mięknięcia i wartość penetracji tym większa sztywność.

W dalszej analizie przyjęto wartości modułów sztywności stanowiące kwantyl 85%, tj. 15% wyników ma wartość mniejszą od przyjętej.

# Moduł sztywności mieszanki MMA

---

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Dane wejściowe do programu BANDS:

- moduł sztywności asfaltu,
- zawartość asfaltu w MMA (v/v%)
- zawartość wolnych przestrzeni (v/v %)

Przyjęto ramowe wartości wg **nieobowiązującej** już normy PN-S-96025.

# Moduł sztywności mieszanki MMA

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

W warstwie ścieralnej rozpatrywano zawartość asfaltu od 11,8 do 13,6% oraz zawartość próżni 3, 4 i 5%.

Warstwa wiążąca była analizowana przy zawartości asfaltu od 9,8 do 13,4% oraz zawartości próżni 4 – 9 %.

Do warstwy podbudowy rozważane były mieszanki o zawartości asfaltu 7,4 – 11,2% przy zawartości próżni 5 – 9 %

Wniosek: czym mniej dodamy asfaltu i czym mniej wolnych przestrzeni w mieszance tym wyższy moduł sztywności MMA. Przykładowo zmniejszenie wolnych przestrzeni w warstwie podbudowy z 9 do 5 % spowoduje zwiększenie modułu sztywności co najmniej o 45 %<sub>14</sub>



# Analiza trwałości nawierzchni – KR3

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

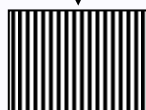
Obliczenia trwałości przeprowadzono wg czterech wariantów:

- *Wariant A*, układ przy najmniejszych modułach sztywności warstw MMA (4+6+8+20 cm)
- *Wariant B*, układ przy największych modułach sztywności warstw MMA (4+6+8+20cm)
- *Wariant C*, układ przy największych modułach sztywności warstw MMA i cieńszych warstwach podbudów(4+6+7+10cm)
- *Wariant D*, układ przy największych modułach sztywności warstw MMA bez podbudowy z kruszywa (4+6+8cm)

# Analiza trwałości nawierzchni – KR3

## Wariant A:

Obciążenie koła



w-wy asfaltowe

w-wa podbudowy z  
kruszywa

podłoże gruntowe G1



PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

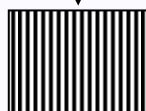
Trwałość nawierzchni dla KR3:  
*od 510 000 do 2 500 000*  
*[osi 100kN/pas/dobę]*

Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych		Kryterium deformacji podłoża gruntowego	
Odkształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych	<i>122,7 <math>\mu</math>strain</i>	Odkształcenie ściskające na powierzchni podłoża gruntowego	<i>387,9 <math>\mu</math>strain</i>
Trwałość zmęczeniowa	<i>1 092 059</i> <i>osi 100kN/pas/dobę</i>	Trwałość zmęczeniowa	<i>2 652 346</i> <i>osi 100kN/pas/dobę</i>

# Analiza trwałości nawierzchni – KR3

## Wariant B:

Obciążenie koła



w-wy asfaltowe

w-wa podbudowy z  
kruszywa

podłoże gruntowe G1



4 cm

6 cm

8 cm

20 cm

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

Trwałość nawierzchni dla KR3:

*od 510 000 do 2 500 000*

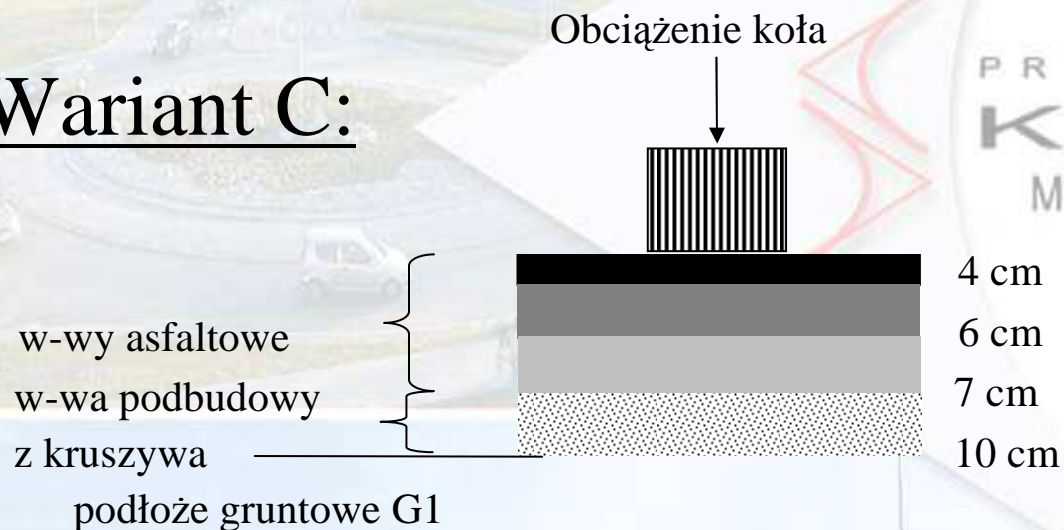
*[osi 100kN/pas/dobę]*

Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych		Kryterium deformacji podłoża gruntowego	
Odkształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych	<i>78,95 <math>\mu</math>strain</i>	Odkształcenie ściskające na powierzchni podłoża gruntowego	<i>291,9 <math>\mu</math>strain</i>
Trwałość zmęczeniowa	<i>3 715 662 osi 100kN/pas/dobę</i>	Trwałość zmęczeniowa	<i>9 492 434 osi 100kN/pas/dobę</i>



# Analiza trwałości nawierzchni – KR3

## Wariant C:



PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

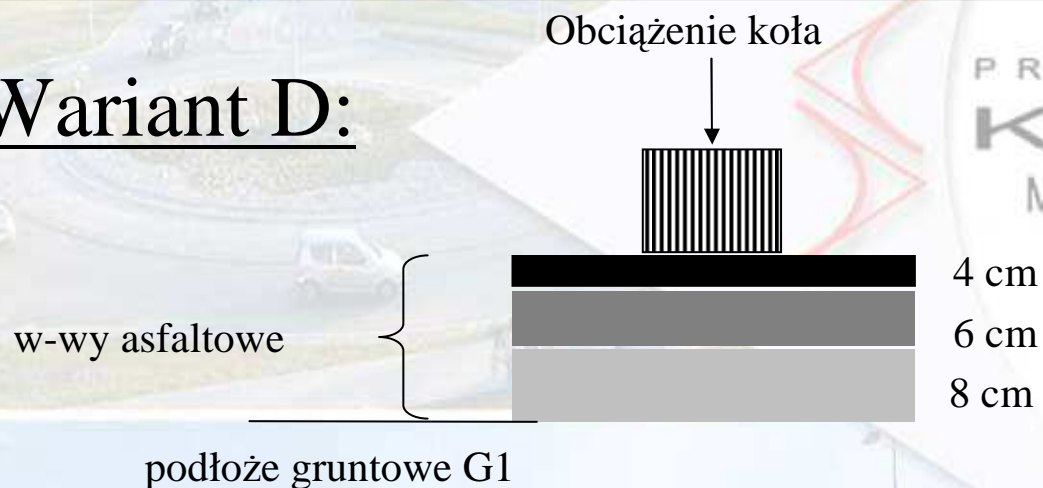
Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

Trwałość nawierzchni dla KR3:  
*od 510 000 do 2 500 000*  
*[osi 100kN/pas/dobę]*

Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych		Kryterium deformacji podłoża gruntowego	
Odształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych	<i>92,13 <math>\mu</math>strain</i>	Odształcenie ściskające na powierzchni podłoża gruntowego	<i>396,6 <math>\mu</math>strain</i>
Trwałość zmęczeniowa	<i>2 235 518</i> <i>osi 100kN/pas/dobę</i>	Trwałość zmęczeniowa	<i>2 401 227</i> <i>osi 100kN/pas/dobę</i>

# Analiza trwałości nawierzchni – KR3

## Wariant D:



PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
KLOTOIDA

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

Trwałość nawierzchni dla KR3:  
*od 510 000 do 2 500 000*  
*[osi 100kN/pas/dobę]*

Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych		Kryterium deformacji podłoża gruntowego	
Odształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych	<i>94,27 <math>\mu</math>strain</i>	Odształcenie ściskające na powierzchni podłoża gruntowego	<i>399,6 <math>\mu</math>strain</i>
Trwałość zmęczeniowa	<i>2 072 807</i> <i>osi 100kN/pas/dobę</i>	Trwałość zmęczeniowa	<i>2 321 438</i> <i>osi 100kN/pas/dobę</i>

# Analiza trwałości nawierzchni – KR3

<i>Wariant:</i>	<i>Układ warstw</i>	<i>Trwałość nawierzchni</i>	<i>Trwałość nawierzchni dla KR 3</i>
A	Ścieralna 4 cm	$N = 1\,092\,059$ <i>osi 100kN/pas/dobę</i>	od 510 000 do 2 500 000 [osi 100kN/pas/dobę]
	Wiążąca 6 cm		
	Podbudowa z BA 8 cm		
	Podbudowa z kruszywa 20 cm		
B	Ścieralna 4 cm	$N = 3\,715\,662$ <i>osi 100kN/pas/dobę</i> <b>3,4 x większa niż wariant A</b>	od 510 000 do 2 500 000 [osi 100kN/pas/dobę]
	Wiążąca 6 cm		
	Podbudowa z BA 8 cm		
	Podbudowa z kruszywa 20 cm		
C	Ścieralna 4 cm	$N = 2\,235\,518$ <i>osi 100kN/pas/dobę</i> <b>2,0 x większa niż wariant A</b>	od 510 000 do 2 500 000 [osi 100kN/pas/dobę]
	Wiążąca 6 cm		
	Podbudowa z BA 7 cm		
	Podbudowa z tłucznia 10 cm		
D	Ścieralna 4 cm	$N = 2\,072\,807$ <i>osi 100 kN/pas/dobę</i> <b>1,9 x większa niż wariant A</b>	od 510 000 do 2 500 000 [osi 100kN/pas/dobę]
	Wiążąca 6 cm		
	Podbudowa z BA 8 cm		



# Analiza trwałości nawierzchni – KR3

## Koszt budowy

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

<i>Wariant:</i>	<i>Koszt wykonania [zł/6 tys m<sup>2</sup>]</i>	<i>Trwałość nawierzchni w porównaniu do wariantu A</i>	<i>Koszt wykonania w porównaniu do wariantu A</i>
Wariant A	<b>869 560 zł</b>	-	-
Wariant B	<b>869 560 zł</b>	<b>3,4 x większa</b>	<b>Taki sam</b>
Wariant C	<b>851 040 zł</b>	<b>2,0 x większa</b>	<b>- 18 520 zł (oszczędność ok. 2%)</b>
Wariant D	<b>738 900 zł</b>	<b>1,9 x większa</b>	<b>- 130 660 zł (oszczędność ok. 15%)</b>

# Podsumowanie

---

PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

## Projektowanie metodą mechaniczno – empiryczną:

- daje możliwość projektowania nawierzchni o dowolnym obciążeniu,
- możemy obliczać trwałość nawierzchni stosując rozmaite materiały,
- możliwość indywidualnego projektowania nawierzchni
- każdy centymetr grubości warstwy ma znaczenie.



PRACOWNIA INŻYNIERSKA  
**KLOTOIDA**

Mirosław Bajor, Andrzej Zygmunt sp. j.

**Dziękuję za uwagę.**