

# RAPORT

## Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor BPB CADAM

Projekt Prebudowa drogi gminnej ulicy Polnej w Łagiewnikach  
Małych gm. Pwinków

Data 2018-03-11

Zamawiający Urząd Gminy w Pawonkowie

Pracownia projektowa Adam Pokrzywiec Biuro Projektów Budowlanych Cadam

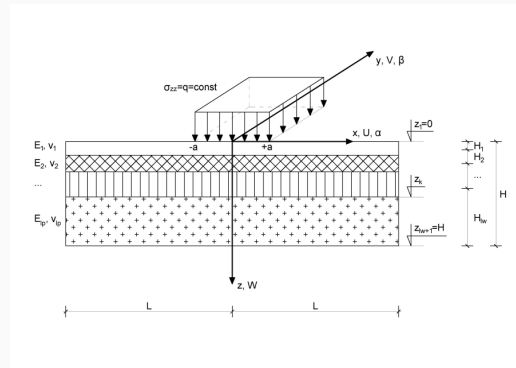
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

W obliczeniach współpracy nawierzchni drogowej z podbudową i niżej występującym gruntem rodzimym zastosowano model warstw sprężystych, obciążonych statycznie pojazdem na stopnie najwyższej warstwy. Ocena pracy i wytrzymałości podłoża przeprowadzono z użyciem wyliczonych przemieszczeń, odkształceń i naprężeń we wnętrzu oraz na stykach warstw. Ponieważ dla ośrodków ciągłych, uwarstwionych poziomo, złożonych z kilku jednorodnych, izotropowych warstw sprężystych, nie istnieją ściśle rozwiązania teorii sprężystości (dla istotnych obciążeń powierzchni ośrodka), użyta została metoda przybliżona.

Zastosowana metoda warstw skończonych należy do grupy przybliżonych metod analitycznych, cechując się ścisłym rozwiązaniem zagadnienia w każdym punkcie wewnątrz ośrodka uwarstwowionego oraz przybliżonym odwzorowaniem obciążenia brzegu ośrodka (nawierzchni). Błąd przybliżenia w obliczeniach uznawany jest za nieistotnie mały, co możliwe jest poprzez wykorzystanie odpowiednio dużej liczby wyrazów rozwinięcia w szereg. Istota metody polega na dokładnym rozwiązywaniu zagadnienia dla obciążeń brzegu przyjętych jako okresowa funkcja trygonometryczna (jej ściśle rozwiązania istnieją w postaci zamkniętej), a następnie na złożeniu od kilkudziesięciu do kilkuset takich rozwiązań.

Podstawą metody jest twierdzenie Fouriera o rozwijaniu funkcji w szereg trygonometryczny: ponieważ przybliżeniem rzeczywistego obciążenia nawierzchni jest szereg funkcji trygonometrycznych to stosując zasadę superpozycji, przybliżeniem rozwiązania jest suma tych szczególnych rozwiązań dla obciążenia o kształcie okresowych funkcji trygonometrycznych.

W przeprowadzonych obliczeniach nawierzchnia jest obciążona siłą pionową, równomiernie rozłożoną na obszarze prostokątnym. Na granicach warstw występuje pełne ich zespolenie (ciągłość przemieszczeń), a na spodzie najniższej warstwy nie występuje osiadanie. Parametrami są (w każdej warstwie): grubość  $H_k$ , moduł Younga  $E$  oraz współczynnik Poissona  $\nu_k$ . Obliczane są przemieszczenia, naprężenia i odkształcenia na granicach warstw, przy czym niektóre z naprężeń i odkształceń są różne nad granicą i pod granicą warstw (nieciągłość).



II METODA OBLICZANIA TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

Stan naprężeń i odkształceń w konstrukcji nawierzchni określono metodami analitycznymi z wykorzystaniem modelu warstw skończonych. Trwałość zmęczeniową projektowanej konstrukcji nawierzchni określono stosując:

- kryterium spękań zmęczeniowych – wg AASHTO 2004,
- kryterium deformacji strukturalnych – wg Instytutu Asfaltowego.

Dla nawierzchni półsztywnych zastosowano kryterium spękań warstw związanych spoiwem hydraulicznym (kryterium Dempsey'a) oraz hipotezę Minera dla określenia szkody zmęczeniowej.

1 KRYTERIUM SPĘKAŃ ZMĘCZENIOWYCH

Trwałość zmęczeniowa dla kryterium spękań warstw asfaltowych obliczona wg AASHTO 2004:

$$N = D_{FC} \cdot 7,3557 \cdot (10^{-6}) \cdot C \cdot k_1' \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{3,9492} \cdot \left(\frac{1}{E}\right)^{1,281}$$

$N$  - liczba powtarzalnych obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych, na FC procentach całkowitej powierzchni pasa ruchu [osi/pas/okres obliczeniowy]

$E$  - moduł Younga najniższej warstwy asfaltowej [MPa]

$D_{FC}$  - szkoda zmęczeniowa wyrażona jako ułamek dziesiątej, odpowiadająca założonej ilości spękań zmęczeniowych FC oraz grubości warstw asfaltowych  $h_{ac}$

$$D_{FC} = \frac{1}{100} \cdot 10^{\ln\left(\frac{100}{FC} - 1\right) \cdot \frac{1}{C_2} + 2}$$

$FC$  - założona ilość spękań zmęczeniowych [%]

$C_2$  - współczynnik zależny od grubości warstw asfaltowych

$$C_2 = -2,40874 - 39,748 \cdot \left(1 + \frac{h_{ac}}{2,54}\right)^{-2,856}$$

$h_{ac}$  - grubość wszystkich warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych [cm]

$k_1'$  - parametr określony w procesie kalibracji, zależny od grubości warstw asfaltowych

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

$\epsilon_t$  - odkształcenia rozciągające poziome w osi obciążenia na dolnej powierzchni najniższej warstwy asfaltowej [m/m]

$C$  - współczynnik zależny od właściwości objętościowych mieszanki mineralno-asfaltowej

$$C = 10^M \quad M = 4,84 \cdot \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69\right)$$

$V_b$  - zawartość objętościowa asfaltu [v/v %]

$V_a$  - zawartość objętościowa wolnej przestrzeni [v/v %]

2 — KRYTERIUM DEFORMACJI STRUKTURALNYCH

Zależność pomiędzy dopuszczalną liczbą powtarzalnych obciążeń N do powstania krytycznej deformacji strukturalnej, a odkształceniem pionowym na poziomie podłoża gruntowego  $\epsilon_p$ :

$$\epsilon_p = k \cdot (1/N_s)^m$$

Wzór kryterium deformacji strukturalnych rozpatrywanej konstrukcji nawierzchni po przekształceniu:

$$N_s = \frac{1}{\sqrt[m]{\frac{\epsilon_p}{k}}}$$

- N - liczba dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia krytycznej deformacji strukturalnej w konstrukcji nawierzchni
- k,m - współczynniki doświadczalne:

$$k = 1,05 \cdot 10^{-2}$$

$$m = 0,223$$

- $\epsilon_p$  - wartość pionowego odkształcenia na powierzchni podłoża gruntowego w osi obciążenia

3 — KRYTERIUM SPĘKAŃ PODBUDOWY ZWIĄZANEJ SPOIWEM HYDRAULICZNYM (KONSTRUKCJE PÓLSZTYWNE)

Obliczenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji półsztywnej przeprowadzono stosując hipotezę Minera dla sumowania się szkód zmęczeniowych w każdej fazie pracy konstrukcji:

$$N = N_I + N_{II} \cdot \left(1 - \frac{N_I}{N_{Ia}}\right)$$

- $N_{Ia}$  - trwałość zmęczeniowa przy założeniu, że podbudowa zasadnicza związana spoiwem hydraulicznym pracuje w Fazie I (brak spękań)
- $N_{II}$  - trwałość zmęczeniowa przy założeniu, że podbudowa zasadnicza związana spoiwem hydraulicznym pracuje w Fazie II (spękana w formie małych bloków)
- $N_I$  - liczba powtarzalnych obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych w warstwie stabilizowanej spoiwem hydraulicznym wg kryterium Dempsey'a:

$$N_I = 10^{11,782 - 12,1212 \left(\frac{\sigma_t}{R_{zg}}\right)}$$

- $\sigma_t$  - maksymalne naprężenia poziome wywołane na spodzie warstwy podbudowy stabilizowanej spoiwami hydraulicznymi [MPa]
- $R_{zg}$  - wytrzymałość na zginanie warstwy związanej spoiwem hydraulicznym [MPa]

III — ZAŁOŻENIA DO OBLICZEŃ

1 — OBCIĄŻENIE RUCHEM

Kategoria Ruchu:	<input type="text" value="KR1"/>
Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:	<input type="text" value="0,03-0,09 mln osi"/>
Okres obliczeniowy:	<input type="text" value="20lat"/>

2 — PARAMETRY OBCIĄŻENIA

Siła:	<input type="text" value="50,0 kN"/>
Ciśnienie kontaktowe:	<input type="text" value="0,85 MPa"/>
Pole powierzchni obciążenia:	<input type="text" value="0,0147 m2 (0,1213 m x 0,1213 m)"/>
Oś obciążenia w punkcie:	<input type="text" value="X=0, Y=0"/>

IV — WYNIKI

1 — WYNIKI - KONSTRUKCJA 1

**KONSTRUKCJA**

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Possiona v	Grubość H [m]	Zawartość asfaltu [%]	Zawartość wolnych przestrzeni [%]
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	7 700,00	0,30	0,04	14,00	2,50
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	7 500,00	0,30	0,04	11,00	6,00
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,25		
Warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej	200,00	0,30	0,15		
Podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C3/4	400,00	0,30	0,15		
Warstwa podłoża gruntowego G4	25,00	0,35	podłoże gruntowe		

**PRZEMIESZCZENIE**

Warstwa		W	V	U
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	0,0006028	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0006042	0,0000000	0,0000000
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	0,0006042	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0005989	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0005989	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0004717	0,0000000	0,0000000
Warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej	strop	0,0004717	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0004402	0,0000000	0,0000000
Podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C3/4	strop	0,0004402	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0004090	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G4	strop	0,0004090	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0000000	0,0000000	0,0000000

**NAPRĘŻENIE**

Warstwa		SIZZ	SIZY	SIZX	SIYY	SIYX	SIXX
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-3,1257975	0,0000000	-3,1257975
	spąg	-0,6330790	0,0000000	0,0000000	-0,4209166	0,0000000	-0,4209166
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	-0,6330790	0,0000000	0,0000000	-0,4170310	0,0000000	-0,4170310
	spąg	-0,3741875	0,0000000	0,0000000	2,1470929	0,0000000	2,1470929
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,3741875	0,0000000	0,0000000	-0,0373016	0,0000000	-0,0373016
	spąg	-0,0830614	0,0000000	0,0000000	0,0375442	0,0000000	0,0375442
Warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej	strop	-0,0830614	0,0000000	0,0000000	0,0375442	0,0000000	0,0375442
	spąg	-0,0282565	0,0000000	0,0000000	0,0760306	0,0000000	0,0760306
Podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C3/4	strop	-0,0282565	0,0000000	0,0000000	0,0319603	0,0000000	0,0319603
	spąg	-0,0117286	0,0000000	0,0000000	0,0501910	0,0000000	0,0501910
Warstwa podłoża gruntowego G4	strop	-0,0117286	0,0000000	0,0000000	0,0011177	0,0000000	0,0011177
	spąg	-0,0023686	0,0000000	0,0000000	-0,0012754	0,0000000	-0,0012754

**ODKSZTAŁCENIE**

Warstwa		EPSIZZ	EPSIZY	EPSIZX	EPSIYY	EPSIYX	EPSIXX
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	0,0001330	0,0000000	0,0000000	-0,0002510	0,0000000	-0,0002510
	spąg	-0,0000494	0,0000000	0,0000000	-0,0000136	0,0000000	-0,0000136
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	-0,0000510	0,0000000	0,0000000	-0,0000136	0,0000000	-0,0000136
	spąg	-0,0002217	0,0000000	0,0000000	0,0002154	0,0000000	0,0002154
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0008795	0,0000000	0,0000000	0,0002154	0,0000000	0,0002154
	spąg	-0,0002640	0,0000000	0,0000000	0,0001280	0,0000000	0,0001280
Warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej	strop	-0,0002640	0,0000000	0,0000000	0,0001280	0,0000000	0,0001280
	spąg	-0,0001847	0,0000000	0,0000000	0,0001542	0,0000000	0,0001542
Podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C3/4	strop	-0,0002372	0,0000000	0,0000000	0,0001542	0,0000000	0,0001542
	spąg	-0,0002092	0,0000000	0,0000000	0,0001933	0,0000000	0,0001933
Warstwa podłoża gruntowego G4	strop	-0,0005004	0,0000000	0,0000000	0,0001933	0,0000000	0,0001933
	spąg	-0,0000590	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

— V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

— 1 — KONSTRUKCJA 1

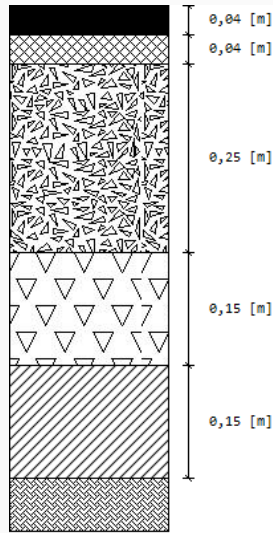
Kryterium spękań zmęczeniowych  
 Kryterium deformacji strukturalnych

N = 1 342 568 osi 100kN/pas/20lat

N<sub>s</sub> = 846 286 osi 100kN/pas/20lat

— VI — PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR1:  
**0.03-0.09 mln osi 100kN/pas/20lat**



**Układ warstw konstrukcyjnych:**

- Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C
- Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej
- Podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C3/4
- Warstwa podłoża gruntowego G4

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji:

**846 286 osi 100kN/pas/20lat**

**SPEŁNIA wymagania dla KR1**