

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor

cadam

Projekt

Przebudowa drogi gminnej ul. Sienkiewicza w
Gwoździanach gm. Pawonków

Data

2019-03-10

Zamawiający

Urząd Gminy Koszęcin

Pracownia projektowa

Adam Pokrzywiec Biuro Projektów Budowlanych Cadam

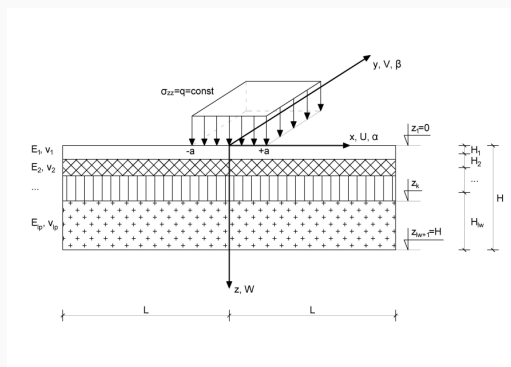
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

W obliczeniach współpracy nawierzchni drogowej z podbudową i niżej występującym gruntem rodzimym zastosowano model warstw sprężystych, obciążonych statycznie pojazdem na stopie najwyższej warstwy. Ocenę 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 uwarstwowanego 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 obciążeń 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 ν_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 obliczana 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 dziesiętny, odpowiadająca założonej ilości spękań zmęczeniowych FC oraz grubości warstw asfaltowych h_{ac}

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

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

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

ϵ_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 ε_p :

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

Wzór kryterium deformacji strukturalnych rozpatrywanej konstrukcji nawierzchni po przekształceniu:

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

N - liczba dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia krytycznej deformacji strukturalnej w konstrukcji nawierzchni

k, m - współczynniki doświadczalne:

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

$$m = 0,223$$

ε_p - wartość pionowego odkształcenia na powierzchni podłoża gruntowego w osi obciążenia

3 KRYTERIUM SPĘKAŃ PODBUDOWY ZWIĄZANEJ SPOIWM 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:

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

σ_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:

KR1

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

0,03-0,09 mln osi

Okres obliczeniowy:

20lat

2 PARAMETRY OBCIĄŻENIA

Siła:

50,0 kN

Ciśnienie kontaktowe:

0,85 MPa

Pole powierzchni obciążenia:

0,0147 m² (0,1213 m x 0,1213 m)

Oś obciążenia w punkcie:

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	0,20		
Warstwa mrozoochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C1,5/2	200,00	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	0,0008287	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0008309	0,0000000	0,0000000
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	0,0008309	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0008254	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0008254	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0007152	0,0000000	0,0000000
Warstwa mrozoochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C1,5/2	strop	0,0007152	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0006520	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G4	strop	0,0006520	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	-3,5522104	0,0000000	-3,5522104
	spąg	-0,6237714	0,0000000	0,0000000	-0,4862559	0,0000000	-0,4862559
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	-0,6237714	0,0000000	0,0000000	-0,4805696	0,0000000	-0,4805696
	spąg	-0,3511659	0,0000000	0,0000000	2,4303641	0,0000000	2,4303641
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,3511659	0,0000000	0,0000000	-0,0128536	0,0000000	-0,0128536
	spąg	-0,0704765	0,0000000	0,0000000	0,1408617	0,0000000	0,1408617
Warstwa mrozoochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C1,5/2	strop	-0,0704765	0,0000000	0,0000000	0,0553287	0,0000000	0,0553287
	spąg	-0,0228250	0,0000000	0,0000000	0,0998322	0,0000000	0,0998322
Warstwa podłoża gruntowego G4	strop	-0,0228250	0,0000000	0,0000000	0,0024654	0,0000000	0,0024654
	spąg	-0,0026228	0,0000000	0,0000000	-0,0014123	0,0000000	-0,0014123

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ	EPSIZY	EPSIZX	EPSIYY	EPSIYX	EPSIXX
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	0,0001662	0,0000000	0,0000000	-0,0002897	0,0000000	-0,0002897
	spąg	-0,0000431	0,0000000	0,0000000	-0,0000199	0,0000000	-0,0000199
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja półsztywna +15°C	strop	-0,0000447	0,0000000	0,0000000	-0,0000199	0,0000000	-0,0000199
	spąg	-0,0002413	0,0000000	0,0000000	0,0002409	0,0000000	0,0002409
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0008586	0,0000000	0,0000000	0,0002409	0,0000000	0,0002409
	spąg	-0,0003875	0,0000000	0,0000000	0,0002994	0,0000000	0,0002994
Warstwa mrozoochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C1,5/2	strop	-0,0005184	0,0000000	0,0000000	0,0002994	0,0000000	0,0002994
	spąg	-0,0004136	0,0000000	0,0000000	0,0003837	0,0000000	0,0003837
Warstwa podłoża gruntowego G4	strop	-0,0009820	0,0000000	0,0000000	0,0003837	0,0000000	0,0003837
	spąg	-0,0000654	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

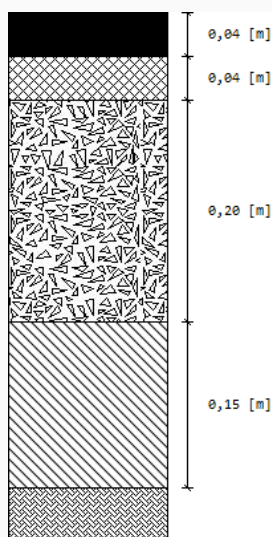
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 862 745 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 41 176 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 mrozochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C1,5/2
- Warstwa podłoża gruntowego G4

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji:

41 176 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR1**