

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Grupa Inżynieryjna PROTECH CONSTRUCTION Jacek Malmur

Projekt Przebudowa trzech odcinków dróg w miejscowości Strojec gmina Praszka

Data 2021-12-10

Zamawiający Gmina Praszka
Pl. Grunwaldzki 13
46-320 Praszka

Pracownia projektowa Biuro Projektów Budowlanych CADAM Adam Pokrzywiec

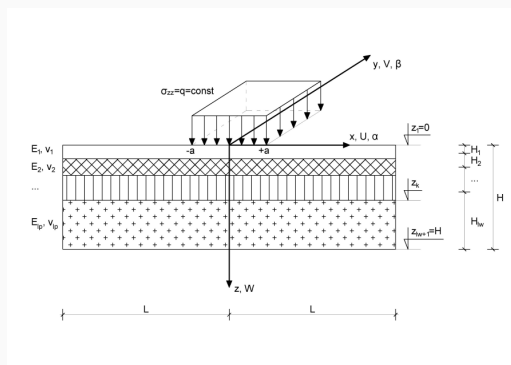
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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 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 / sztywności 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 sztywności 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:

0,0589 m² (0,2426 m x 0,2426 m)

Oś obciążenia w punkcie:

X=0, Y=0

3 WSPÓŁCZYNNIK FC

Ilość spękań zmęczeniowych w stosunku do powierzchni pasa ruchu:

10 %

IV — WYNIKI

1 — WYNIKI - KONSTRUKCJA 1

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł E [MPa]	Współczynnik Possiona v	Grubość H [m]	Zawartość asfaltu [%]	Zawartość wolnych przestrzeni [%]
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja podatna +13°C	9 300,00	0,30	0,04	14,00	2,50
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja podatna +13°C	8 800,00	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 [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0008074	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0008096	0,0000000	0,0000000
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0008096	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0008045	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0008045	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0007010	0,0000000	0,0000000
Warstwa mrozoochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C1,5/2	strop	0,0007010	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0006403	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G4	strop	0,0006403	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0000000	0,0000000	0,0000000

NAPRĘŻENIE

Warstwa		SIZZ [MPa]	SIZY [MPa]	SIZX [MPa]	SIYY [MPa]	SIYX [MPa]	SIXX [MPa]
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-3,8580085	0,0000000	-3,8580085
	spąg	-0,6080237	0,0000000	0,0000000	-0,4450930	0,0000000	-0,4450930
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,6080237	0,0000000	0,0000000	-0,4351731	0,0000000	-0,4351731
	spąg	-0,3249334	0,0000000	0,0000000	2,7152109	0,0000000	2,7152109
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,3249334	0,0000000	0,0000000	-0,0095086	0,0000000	-0,0095086
	spąg	-0,0666019	0,0000000	0,0000000	0,1357278	0,0000000	0,1357278
Warstwa mrozoochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C1,5/2	strop	-0,0666019	0,0000000	0,0000000	0,0535921	0,0000000	0,0535921
	spąg	-0,0221034	0,0000000	0,0000000	0,0963309	0,0000000	0,0963309
Warstwa podłoża gruntowego G4	strop	-0,0221034	0,0000000	0,0000000	0,0023410	0,0000000	0,0023410
	spąg	-0,0026134	0,0000000	0,0000000	-0,0014072	0,0000000	-0,0014072

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001573	0,0000000	0,0000000	-0,0002629	0,0000000	-0,0002629
	spąg	-0,0000367	0,0000000	0,0000000	-0,0000139	0,0000000	-0,0000139
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000394	0,0000000	0,0000000	-0,0000139	0,0000000	-0,0000139
	spąg	-0,0002221	0,0000000	0,0000000	0,0002271	0,0000000	0,0002271
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0007981	0,0000000	0,0000000	0,0002271	0,0000000	0,0002271
	spąg	-0,0003701	0,0000000	0,0000000	0,0002875	0,0000000	0,0002875
Warstwa mrozoochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C1,5/2	strop	-0,0004938	0,0000000	0,0000000	0,0002875	0,0000000	0,0002875
	spąg	-0,0003995	0,0000000	0,0000000	0,0003703	0,0000000	0,0003703
Warstwa podłoża gruntowego G4	strop	-0,0009497	0,0000000	0,0000000	0,0003703	0,0000000	0,0003703
	spąg	-0,0000651	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych

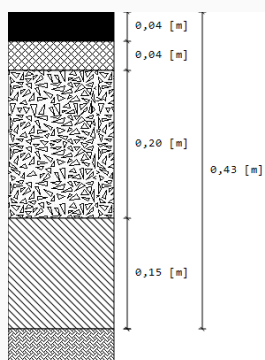
N = 887 759 osi 100kN/pas/20lat

Kryterium deformacji strukturalnych

N_s = 47 848 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 podatna +13°C
- Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR1-KR2 konstrukcja podatna +13°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:

47 848 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR1**