

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor mgr inż. Marek Tokarz

Projekt Prezbudowa DO0263T w m. Ciesle

Data 2020-05-21

Zamawiający ZDP Włoszczowa
ul. Jędrzejowska 81
29-100 Włoszczowa

Pracownia projektowa EXAL Marek Tokarz

EXAL - Marek Tokarz
ul. Broniewskiego 16, 39-400 Tarnobrzeg
mail: biuro@exal.biz, tel: 504 102 608

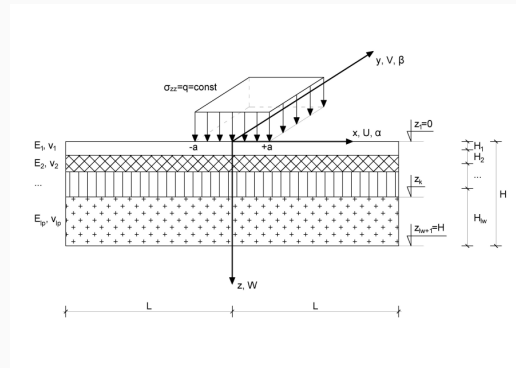
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

W obliczeniach współpracy nawierzchni drogowej z podbudową i niżej występującym gruntem rodzimym zastosowano model warstw sprężystych, obciążonych statycznie pojazdem na stopie najwyższej warstwy. 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 ośrodką), 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 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 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

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

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 :

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

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:

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

$$m = 0,223$$

- ϵ_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:

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

- δ_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="KR3"/>
Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:	<input type="text" value="0,5-2,5 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) KR3-KR4 konstrukcja podatna +13°C	9 300.00	0.30	0.05	14.20	3.00
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	10 300.00	0.30	0.07	11.50	6.00
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki mineralono-cementowo-emulsyjnej	1 500.00	0.30	0.21		
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400.00	0.30	0.09		
Warstwa podłoża gruntowego G3	35.00	0.35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W	V	U
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR4 konstrukcja podatna +13°C	strop	0.0003900	0.0000000	0.0000000
	spąg	0.0003898	0.0000000	0.0000000
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0.0003898	0.0000000	0.0000000
	spąg	0.0003858	0.0000000	0.0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki mineralono-cementowo-emulsyjnej	strop	0.0003858	0.0000000	0.0000000
	spąg	0.0003557	0.0000000	0.0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0.0003557	0.0000000	0.0000000
	spąg	0.0003418	0.0000000	0.0000000
Warstwa podłoża gruntowego G3	strop	0.0003418	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) KR3-KR4 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0.8515982	0.0000000	0.0000000	-1.9125725	0.0000000	-1.9125725
	spąg	-0.6990621	0.0000000	0.0000000	-0.6644355	0.0000000	-0.6644355
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0.6990621	0.0000000	0.0000000	-0.7036653	0.0000000	-0.7036653
	spąg	-0.3181383	0.0000000	0.0000000	1.0424364	0.0000000	1.0424364
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki mineralono-cementowo-emulsyjnej	strop	-0.3181383	0.0000000	0.0000000	0.0353222	0.0000000	0.0353222
	spąg	-0.0296632	0.0000000	0.0000000	0.2569674	0.0000000	0.2569674
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0.0296632	0.0000000	0.0000000	0.0592019	0.0000000	0.0592019
	spąg	-0.0141674	0.0000000	0.0000000	0.0843625	0.0000000	0.0843625
Warstwa podłoża gruntowego G3	strop	-0.0141674	0.0000000	0.0000000	0.0008931	0.0000000	0.0008931
	spąg	-0.0025068	0.0000000	0.0000000	-0.0013498	0.0000000	-0.0013498

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ	EPSIZY	EPSIZX	EPSIYY	EPSIYX	EPSIXX
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR4 konstrukcja podatna +13°C	strop	0.0000318	0.0000000	0.0000000	-0.0001165	0.0000000	-0.0001165
	spąg	-0.0000323	0.0000000	0.0000000	-0.0000275	0.0000000	-0.0000275
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0.0000269	0.0000000	0.0000000	-0.0000275	0.0000000	-0.0000275
	spąg	-0.0000916	0.0000000	0.0000000	0.0000801	0.0000000	0.0000801
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki mineralono-cementowo-emulsyjnej	strop	-0.0002262	0.0000000	0.0000000	0.0000801	0.0000000	0.0000801
	spąg	-0.0001226	0.0000000	0.0000000	0.0001259	0.0000000	0.0001259
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0.0001630	0.0000000	0.0000000	0.0001259	0.0000000	0.0001259
	spąg	-0.0001620	0.0000000	0.0000000	0.0001583	0.0000000	0.0001583
Warstwa podłoża gruntowego G3	strop	-0.0004226	0.0000000	0.0000000	0.0001583	0.0000000	0.0001583
	spąg	-0.0000446	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

— V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

— 1 — KONSTRUKCJA 1

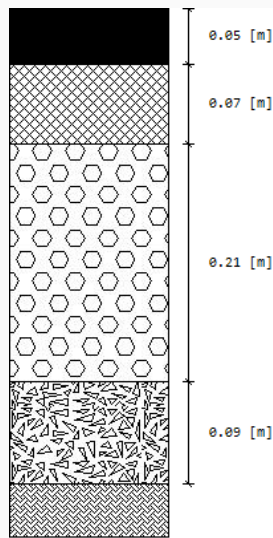
Kryterium spękań zmęczeniowych
 Kryterium deformacji strukturalnych

N = 21 103 912 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 1 805 368 osi 100kN/pas/20lat

— VI — PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR3:
0.5-2.5 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR4 konstrukcja podatna +13°C
- Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki mineralono-cementowo-emulsyjnej
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G3

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji:

1 805 368 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR3