

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor A-propol

Projekt

Data 2016-09-06

Zamawiający

Pracownia projektowa Biuro Projektów A-Propol

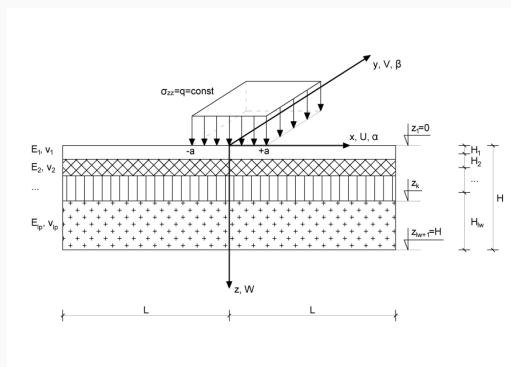
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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 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 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:

KR5

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

7,3-22,0 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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	7 300,00	0,30	0,04	16,00	3,00
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	10 300,00	0,30	0,08	11,50	6,00
Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	9 800,00	0,30	0,08	10,50	7,00
Warstwa podbudowy z istniejących warstw bitumicznych (kruchych)	400,00	0,30	0,10	16,00	3,00
Warstwa podbudowy z istniejącej w-wy kruszywa (podbudowa dotychczasowej konstrukcji)	300,00	0,30	0,32		
Podłoże G2	50,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W	V	U
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0002868	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0002858	0,0000000	0,0000000
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0002858	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0002829	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0002829	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0002783	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy z istniejących warstw bitumicznych (kruchych)	strop	0,0002783	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0002603	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy z istniejącej w-wy kruszywa (podbudowa dotychczasowej konstrukcji)	strop	0,0002603	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0002220	0,0000000	0,0000000
Podłoże G2	strop	0,0002220	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0000000	0,0000000	0,0000000

NAPRĘŻENIE

Warstwa		SIZZ	SIZY	SIZX	SIYY	SIYX	SIXX
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,3583571	0,0000000	-1,3583571
	spąg	-0,7984671	0,0000000	0,0000000	-0,8295598	0,0000000	-0,8295598
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,7984671	0,0000000	0,0000000	-1,0298446	0,0000000	-1,0298446
	spąg	-0,3927338	0,0000000	0,0000000	0,1292386	0,0000000	0,1292386
Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,3927338	0,0000000	0,0000000	0,1147943	0,0000000	0,1147943
	spąg	-0,0794526	0,0000000	0,0000000	1,1731156	0,0000000	1,1731156
Warstwa podbudowy z istniejących warstw bitumicznych (kruchych)	strop	-0,0794526	0,0000000	0,0000000	0,0152210	0,0000000	0,0152210
	spąg	-0,0461061	0,0000000	0,0000000	0,0235913	0,0000000	0,0235913
Warstwa podbudowy z istniejącej w-wy kruszywa (podbudowa dotychczasowej konstrukcji)	strop	-0,0461061	0,0000000	0,0000000	0,0127535	0,0000000	0,0127535
	spąg	-0,0117667	0,0000000	0,0000000	0,0323159	0,0000000	0,0323159
Podłoże G2	strop	-0,0117667	0,0000000	0,0000000	0,0003695	0,0000000	0,0003695
	spąg	-0,0024430	0,0000000	0,0000000	-0,0013155	0,0000000	-0,0013155

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ	EPSIZY	EPSIZX	EPSIYY	EPSIYX	EPSIXX
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000050	0,0000000	0,0000000	-0,0000953	0,0000000	-0,0000953
	spąg	-0,0000412	0,0000000	0,0000000	-0,0000467	0,0000000	-0,0000467
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000175	0,0000000	0,0000000	-0,0000467	0,0000000	-0,0000467
	spąg	-0,0000457	0,0000000	0,0000000	0,0000202	0,0000000	0,0000202
Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000471	0,0000000	0,0000000	0,0000202	0,0000000	0,0000202
	spąg	-0,0000799	0,0000000	0,0000000	0,0000862	0,0000000	0,0000862
Warstwa podbudowy z istniejących warstw bitumicznych (kruchych)	strop	-0,0002215	0,0000000	0,0000000	0,0000862	0,0000000	0,0000862
	spąg	-0,0001507	0,0000000	0,0000000	0,0000759	0,0000000	0,0000759
Warstwa podbudowy z istniejącej w-wy kruszywa (podbudowa dotychczasowej konstrukcji)	strop	-0,0001792	0,0000000	0,0000000	0,0000759	0,0000000	0,0000759
	spąg	-0,0001039	0,0000000	0,0000000	0,0000872	0,0000000	0,0000872
Podłoże G2	strop	-0,0002405	0,0000000	0,0000000	0,0000872	0,0000000	0,0000872
	spąg	-0,0000304	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych

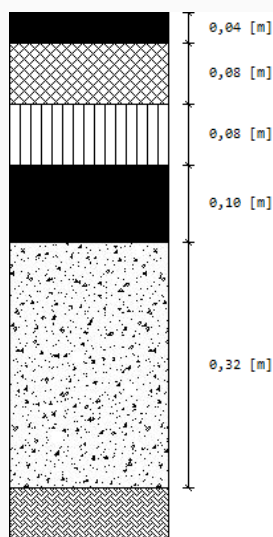
$N = 10\,866\,779\,543$ osi 100kN/pas/20lat

Kryterium deformacji strukturalnych

$N_s = 22\,622\,149$ osi 100kN/pas/20lat

VI — PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR5:
7.3-22.0 mln osi 100kN/pas/20lat

**Układ warstw konstrukcyjnych:**

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego (AC) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- Warstwa podbudowy z istniejących warstw bitumicznych (kruchych)
- Warstwa podbudowy z istniejącej w-wy kruszywa (podbudowa dotychczasowej konstrukcji)
- Podłoże G2

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji:

22 622 149 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR5**