

Raport z analizy mechanistyczno-finansowej

Spis treści

1. Definicje	3
2. Cel opracowania	3
3. Wstęp do obliczeń mechanistycznych	4
4. METODY OBLICZANIA TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ	4
Kryterium warstw asfaltowych.	4
AASHTO 2004.....	5
Kryterium spękań warstw asfaltowych	6
Kryterium deformacji strukturalnych.....	8
Kryterium spękania podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym	8
Inne kryteria zmęczeniowe.....	9
Zespolony moduł sztywności.....	10
5. Wyniki badań modułu sztywności.	13
6. Prezentacja wyników obliczeń trwałości zmęczeniowej	19
7. Wnioski z analizy mechanistycznej	39
8. Założenia analizy finansowej	40
9. Analiza finansowa.....	41
Część 1 analizy finansowej – bezpośrednie koszty produkcji	41
Część 2 analiza finansowa oszczędności wynikające grubości konstrukcji.	48
10. Wnioski.....	57

1. Definicje

AC WMS 16 W - beton asfaltowy o wysokim module sztywności dla warstwy wiążącej do 16 mm

Kruszywo grube - jest to kruszywo o wymiarach ziaren: $D \leq 45 \text{ mm}$ oraz $d \geq 2 \text{ mm}$.

Katalog, KTKNPP – Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych opracowany na zlecenie GDDKiA przez zespół Politechniki Gdańskiej wydanie 2014.

Mma – mieszanka mineralno-asfaltowa

Projekt - nr POIR.01.01.01-00-1069/17-00 pn. Ograniczenie zużycia zasobów naturalnych kopalin naturalnych poprzez uzyskanie innowacyjnych mieszanek mineralno asfaltowych gruboziarnistych w tym mieszanek o wysokim module sztywności i opracowanie zaleceń do produkcji, zwanej dalej „Umową”, w ramach Działania 1.1: Projekty B+R przedsiębiorstw Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

WT-1 – Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Wymagania Techniczne Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utwaleń na drogach krajowych WT-1 2014

WT – 2 – Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Wymagania Techniczne Mieszanki mineralno-asfaltowe na drogach krajowych WT-2 2014

2. Cel opracowania

Celem niniejszego opracowania jest podsumowanie badań prowadzonych na Etapie I i II Projektu oraz wskazanie wniosków płynących z zastosowania mieszanek gruboziarnistych powyżej 16 mm. Opracowanie polega w swojej pierwszej części na analizie mechanistycznej w drugiej zaś części na analizie finansowej. Analiza finansowa wskaże możliwości zastosowania innowacyjnych mieszanek gruboziarnistych w aspekcie finansowym w porównaniu do istniejących mma.

3. Wstęp do obliczeń mechanistycznych

Obliczenia mechanistyczne konstrukcji nawierzchni służą do określenia niezbędnych grubości poszczególnych warstw w celu zapewnienia zakładanej trwałości drogi. Dla potrzeb opracowania wykonano obliczenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogowej z zastosowaniem mieszanek AC WMS oraz AC opracowywanych w ramach prowadzonych badań. Ze względu na skomplikowany algorytm obliczeń konieczne jest przybliżenie zagadnień teoretycznych zastosowanej metody. Po pierwsze należy omówić metody obliczania trwałości zmęczeniowej a następnie zagadnienie zespolonego modułu sztywności ze względu na jego podstawową rolę w wyznaczaniu grubości warstw. Opracowanie zawiera również prezentację uzyskanych wyników badań oraz obliczeń zarówno w formie graficznej jak i tabelarycznej.

4. METODY OBLICZANIA TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

Dla nawierzchni z warstwami jezdny z mieszanek mineralno-asfaltowych trwałość zmęczeniową określamy jako liczbę obciążeń, wyrażoną w równoważnych osiach standardowych, jaką może przenieść konstrukcja nawierzchni do wystąpienia stanu krytycznego, określonego liczbą spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych lub głębokością kolein strukturalnych.

W związku z powyższym kryteria oceny trwałości zmęczeniowej konstrukcji drogi dotyczą zmęczenia warstw asfaltowych nawierzchni oraz odkształceń podłoża gruntowego.

Kryterium warstw asfaltowych.

Do obliczenia trwałości zmęczeniowej nawierzchni podatnych stosuje się kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych oraz kryterium deformacji trwałych konstrukcji drogi.

Na przestrzenie lat w Polsce analizowano i adaptowano kryteria zagraniczne z uwagi na brak wystarczającej ilości badań terenowych do opracowania lokalnych zależności. Przy

opracowywaniu katalogu konstrukcji wydanego w 1997 roku analizowane były następujące kryteria:

- Dla spękań warstw asfaltowych i deformacji strukturalnych: belgijskie, Instytutu Asfaltowego (USA), Uniwersytetu Nottingham (UK) i Shella,
- Dla kryterium spękań podbudów związanych spoiwem hydraulicznym: kryterium Dempsey'a (Uniwersytet Illinois), Verstraetena (Belgia) i De Beera (RPA).

Na przestrzenie lat w Polsce analizowano i adaptowano kryteria zagraniczne z uwagi na brak wystarczającej ilości badań terenowych do opracowania lokalnych zależności. Przy opracowywaniu katalogu konstrukcji wydanego w 1997 roku analizowane były następujące kryteria:

- Dla spękań warstw asfaltowych i deformacji strukturalnych: belgijskie, Instytutu Asfaltowego (USA), Uniwersytetu Nottingham (UK) i Shella,
- Dla kryterium spękań podbudów związanych spoiwem hydraulicznym: kryterium Dempsey'a (Uniwersytet Illinois), Verstraetena (Belgia) i De Beera (RPA).

Z biegiem czasu większość wcześniej stosowanych kryteriów przestała być adekwatna do aktualnej techniki drogowej oraz odmiennego ruchu. W związku z tym przy weryfikacji katalogu typowych konstrukcji wydanego w 2014 roku wprowadzono nowsze kryteria bazujące na badaniach AASHTO ([American Association of State Highway and Transportation Officials](#)). Badania te, opracowane w 2004 roku, powstały na bazie szerokich badań terenowych w różnych warunkach klimatycznych, w tym takich mocno zbliżonych do warunków polskich.

Stosowana nazwa w Polsce "AASHTO 2004" nie jest oficjalną nazwą tej metody. Oryginalne opracowanie nazywa się "Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures", a podręcznik wprowadzający tę metodę nazwano "MEPDG - Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide" i wydano go w 2008 roku. Z przyczyn praktycznych nazwy te w Polsce uproszczono do "AASHTO 2004".

AASHTO 2004

Kryteria AASHTO 2004 zostały podzielone na: kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych, kryterium deformacji trwałych oraz kryterium spękań warstw związanych spoiwem hydraulicznym. Jednym z podstawowych założeń metody AASHTO jest analiza konstrukcji nawierzchni prowadzona sukcesywnie w czasie eksploatacji drogi. Takie podejście pozwala na kontrolowanie wpływu warunków klimatycznych oraz ruchu kołowego na trwałość nawierzchni i wyrażenie jej zmniejszenia poprzez szkodę zmęczeniową. Aby określić aktualny stan nawierzchni stosuje się regułę Minera sumowania szkód zmęczeniowych w danym okresie eksploatacji.

Ponieważ powyższe podejście kontrolowania trwałości nawierzchni wymaga dużego zakresu danych oraz ciągłej kontroli wielu czynników związanych z parametrami konstrukcji oraz warunkami klimatycznymi, metoda przeniesiona na polskie warunki została dostosowana w taki sposób aby mogła być wykorzystywana na szerszą skalę bez konieczności kosztownych badań.

Kryterium spękań warstw asfaltowych

Spękania warstw asfaltowych są podstawową formą uszkodzeń występujących na jezdni asfaltowej. W zależności od sposobu zniszczenia rozróżnia się:

- spękania "bottom-up" (z dołu do góry), czyli najpowszechniej znany schemat zniszczenia,
- spękania "top-down" (z góry do dołu), których mechanizm powstania jest o wiele bardziej złożony i zależny od dodatkowych czynników jak np. nierównomierne naprężenie koła, naprężenia termiczne, starzenie warstw asfaltowych.

Autorzy metody AASHTO w celu oddania rzeczywistego schematu spękań przeprowadzali analizę terenową na ponad stu odcinakach doświadczalnych zlokalizowanych w różnych warunkach klimatycznych. Ponieważ nowo definiowane kryterium spękań warstw asfaltowych bazowało na dobrze znanej metodzie Instytutu Asfaltowego, konieczne było zdefiniowanie odpowiednich współczynników kalibracyjnych. Kalibracja modelu AASHTO obejmowała: zgromadzenie danych z odcinków doświadczalnych, obliczenia symulacyjne w celu dobrania odpowiednich współczynników kalibracji, weryfikację obliczeń i selekcję kombinacji o najdokładniejszym odwzorowaniu pracy nawierzchni.

W efekcie otrzymano zmodyfikowany wzór pozwalający wyliczyć trwałość zmęczeniową nawierzchni (po przekształceniu do jednostek metrycznych):

$$N = D_{FC} \cdot 7,3557 \cdot (10^{-6}) \cdot C \cdot k'_1 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,9492} \cdot \left(\frac{1}{E}\right)^{1,281}$$

W powyższym wzorze do obliczenia trwałości zmęczeniowej "N" wykorzystujemy następujące dane:

- k'_1 - parametr zależny od grubości warstw asfaltowych oraz charakteru rozpatrywanych spękań (*bottom-up* lub *top-down*),
- ε_t - odkształcenie rozciągające w krytycznym punkcie nawierzchni (miejscu inicjacji spękań) [m/m],
- E - moduł sztywności warstwy asfaltowej, w której występuję naprężenie krytyczne [MPa],
- C - współczynnik zależny od właściwości objętościowych mieszanki mineralno-asfaltowej, definiowany wzorami:

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

gdzie dodatkowo definiujemy:

- V_a - efektywna objętościowa zawartość asfaltu (czyli wartość całkowita pomniejszona o asfalt zabsorbowany w porach kruszywa) [%],
- V_b - efektywna objętościowa zawartość wolnych przestrzeni [%].

We wzorze na trwałość zmęczeniową nawierzchni podatnej pojawia się również parametr " D_{FC} ". Jego obecność jest wynikiem założeń metody AASHTO dotyczących stałego kontrolowania stanu nawierzchni w celu określania pozostałej trwałości zmęczeniowej. Parametr ten określa się jako szkodę zmęczeniową wywołaną w warstwach asfaltowych. Szkoda ta jest zależna od powierzchni spękanej pasa ruchu do całej jego powierzchni na określonym odcinku. Dla przykładu $FC=10\%$ oznacza, że 10% powierzchni pasa ruchu jest

spękana. Dla określonego poziomu szkody zmęczeniowej zakłada się osiągnięcie przez konstrukcję drogi stanu granicznego.

Kryterium deformacji strukturalnych

W AASHTO procedura obliczania głębokości koleiny strukturalnej jest złożona i wymaga zakresu danych nie dostępnych aktualnie w Polsce. Z tego powodu przy definiowaniu kryteriów stosowanych do weryfikacji konstrukcji Katalogowych w Polsce zastosowano stare kryterium Instytutu Asfaltowego. Jego postać jest następująca:

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

Wzór opisuje zależność odkształcenia pionowego na powierzchni podłoża gruntowego do trwałości zmęczeniowej zależnej od utraty przez podłoże nośności. Utrata nośności jest opisywana jako przekroczenie stałej wartości określonego przemieszczenia. Współczynniki "m" i "k" są parametrami wyznaczonymi doświadczalnie.

Kryterium spękania podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym

Kryterium spękań zmęczeniowych podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym uwzględnia się w projektowaniu nawierzchni półsztywnej. Oprócz sprawdzenia kryteriów trwałości zmęczeniowych warstw asfaltowych i deformacji trwałych w podłożu gruntowym, uwzględnia się również pracę podbudowy stabilizowanej spoiwem hydraulicznym. Trwałość zmęczeniowa określana jest w zależności od wytrzymałości materiału podbudowy na rozciąganie przy zginaniu oraz naprężeń wywołanych w tej warstwie przy powtarzalnych obciążeniach. Kryterium w AASHTO 2004 bazuje na znanym wzorze *American Concrete Institute* dotyczącym zmęczenia betonu cementowego, a współczynniki kalibracyjne zostały zaproponowane przez *Portland Cement Association (PCA)*. Warto zauważyć, że dane kryterium często daje wątpliwe wyliczenia dlatego niezbędna jest inżynierska ocena otrzymanych wyników.

Inne kryteria zmęczeniowe

Warto odnotować, że przedstawione powyżej kryteria nie są jedynymi stosowanymi na świecie. Istnieją na przykład kryteria francuskie, które przedstawiają odmienne podejście uwzględniające takie parametry jak współczynniki ryzyka, krzywe zmęczeniowe, reologię materiałów itd. Metoda obliczania trwałości zmęczeniowej AASHTO 2004 została zaadoptowana do warunków polskich podczas tworzenia Katalogu Typowych Konstrukcji stąd jego popularność w Polsce.

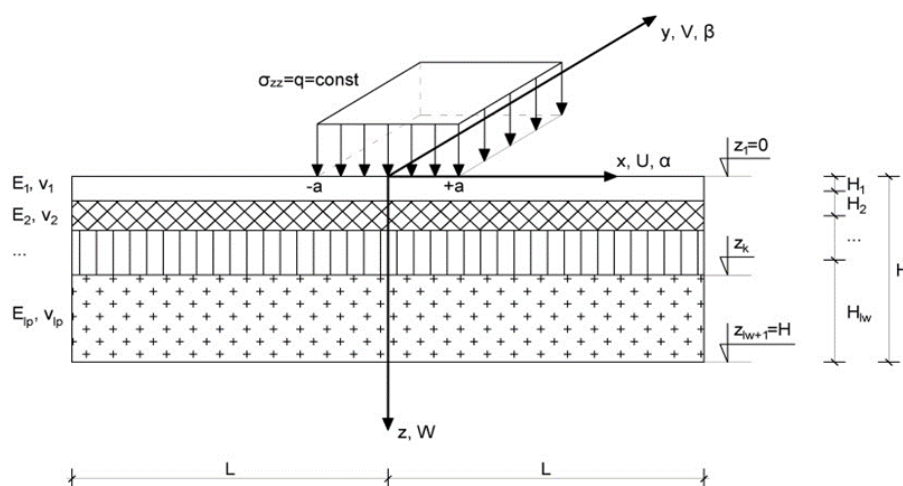
Do obliczenia trwałości zmęczeniowej nawierzchni podatnych stosuje się kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych oraz kryterium deformacji trwałych konstrukcji drogi.

W obliczeniach współpracy nawierzchni drogowej z podbudową i niżej występującym gruntem rodzimym zastosowano model warstw sprężystych, obciążonych statycznie pojazdem na stropie najwyższej warstwy. Ocenę pracy i wyężenia 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 ścisłe 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 ścisłe 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).



Rys 1. Model obciążeń przyjęty w obliczeniach

Zespolony moduł sztywności

Moduł sztywności

Zespolony moduł sztywności E^* jest liczbą zespoloną, którą można opisać równaniem:

$$E^* = E' + E''$$

gdzie:

$$E' = |E^*| \cos \varphi$$

$$E'' = |E^*| \sin \varphi$$

E' – część rzeczywista (sprężysta),

E'' – część urojona (lepka).

Obie składowe modułu zespolonego związane są wartością kąta przesunięcia fazowego wg równania:

$$\operatorname{tg}\phi = \frac{E'}{E''}$$

gdzie:

ϕ - kąt przesunięcia fazowego, .

Moduł sztywności jest wartością bezwzględną zespolonego modułu sztywności. Kąt przesunięcia fazowego stanowi informację o przewodze właściwości lepkich lub sprężystych w materiale: niższa jego wartość tym materiał bardziej sprężysty.

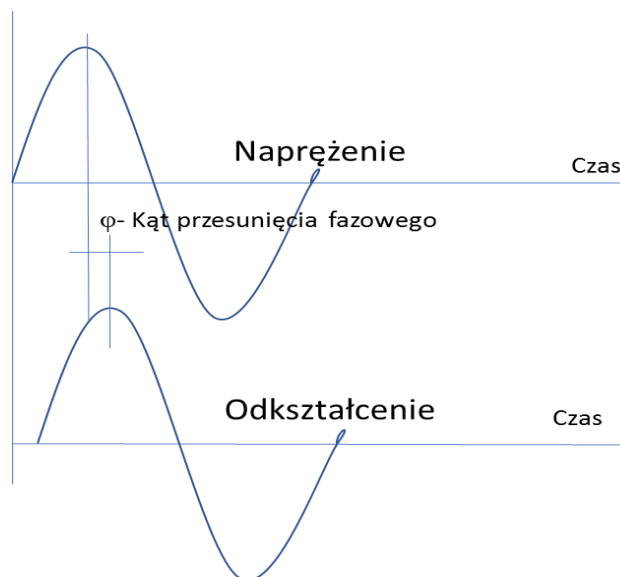
Wartość kąta przesunięcia fazowego może wynosić od 0° (stal) do 90° (ciecze).

Kąt przesunięcia fazowego wynika z faktu, iż w ciałach lepkosprężystych odkształcenie pojawia się z pewnym opóźnieniem w stosunku do obciążenia . Jako kryterium oceny lepkosprężystych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych przyjmuje się wartość tangensa kąta przesunięcia fazowego:

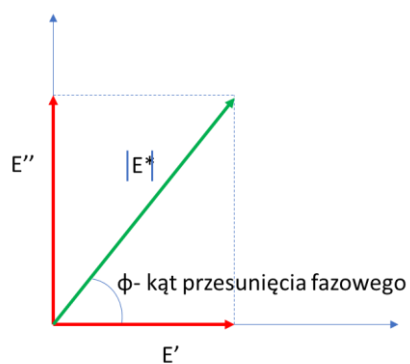
w materiałach lepkich $\phi = 90^\circ$, $\operatorname{tg} \phi = \infty$,

w materiałach sprężystych $\phi = 0^\circ$, $\operatorname{tg} \phi = 0$,

w materiałach lepkosprężystych $0^\circ < \phi < 90^\circ$, $0 < \operatorname{tg} \phi < \infty$.



a)



b)

Rysunek 2 Interpretacja graficzna a) kąta przesunięcia fazowego, b) zespolonego modułu sztywności

Na fotografii 1 oraz 2 przedstawiono urządzenie na którym dla potrzeb opracowania zostały oznaczone moduły sztywności.



Fotografia 1



Fotografia 2

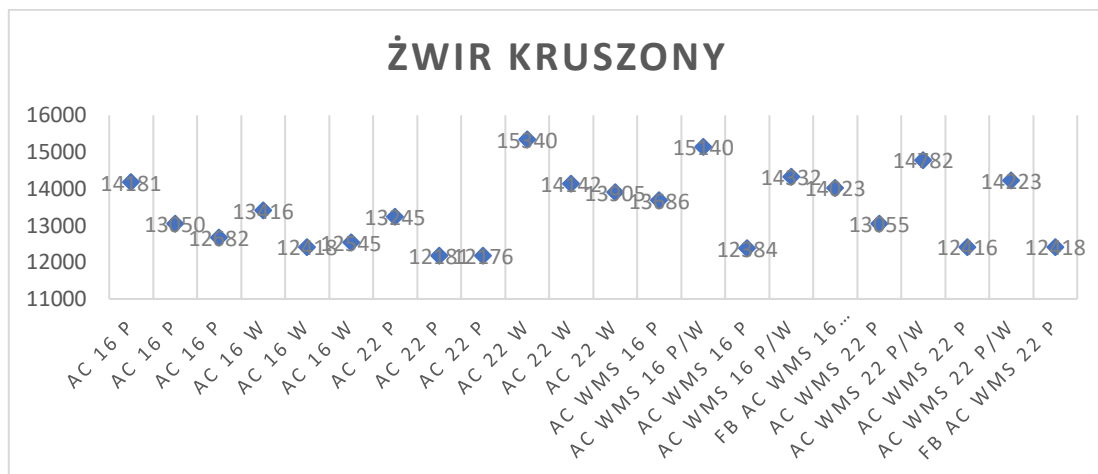
5. Wyniki badań modułu sztywności.

Uzyskane wyniki badań modułu sztywności zostały przedstawione zarówno w formie tabelarycznej jak i graficznej. Dla przejrzystości prezentacji podział został według użytych kruszyw.

Żwir Kruszony

Tabela 1. Oznaczone wartości modułu sztywności E*

Rodzaj mieszanki	Moduł E* [Mpa]
AC 16 P	14181
AC 16 P	13050
AC 16 P	12682
AC 16 W	13416
AC 16 W	12418
AC 16 W	12545
AC 22 P	13245
AC 22 P	12181
AC 22 P	12176
AC 22 W	15340
AC 22 W	14142
AC 22 W	13905
AC WMS 16 P	13686
AC WMS 16 P/W	15140
AC WMS 16 P	12384
AC WMS 16 P/W	14332
FB AC WMS 16 P/W	14023
AC WMS 22 P	13055
AC WMS 22 P/W	14782
AC WMS 22 P	12416
AC WMS 22 P/W	14223
FB AC WMS 22 P	12418



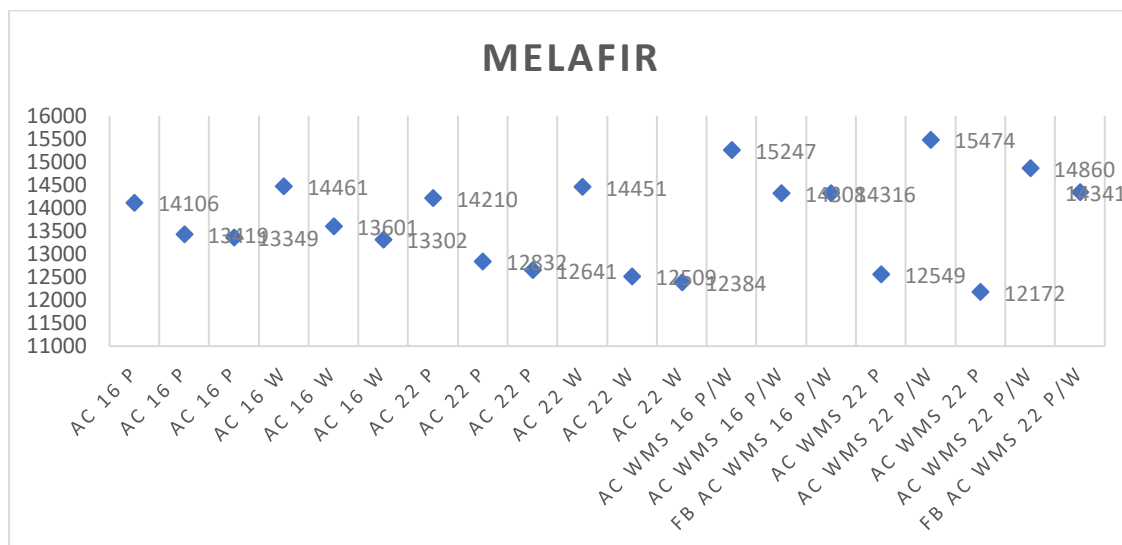
Rysunek. 3 Wartości wyznaczonych modułów sztywności E* dla żwiru kruszonego

Melafir.

Tabela 2. Oznaczone wartości modułu sztywności E*

Rodzaj mieszanki	Moduł E* [Mpa]
AC 16 P	13419
AC 16 P	13349
AC 16 W	14461
AC 16 W	13601
AC 16 W	13302
AC 22 P	14210
AC 22 P	12832
AC 22 P	12641
AC 22 W	14451
AC 22 W	12509
AC 22 W	12384
AC WMS 16 P/W	15247
AC WMS 16 P/W	14308
FB AC WMS 16 P/W	14316
AC WMS 22 P	12549
AC WMS 22 P/W	15474
AC WMS 22 P	12172

AC WMS 22 P/W	14860
FB AC WMS 22 P/W	14341



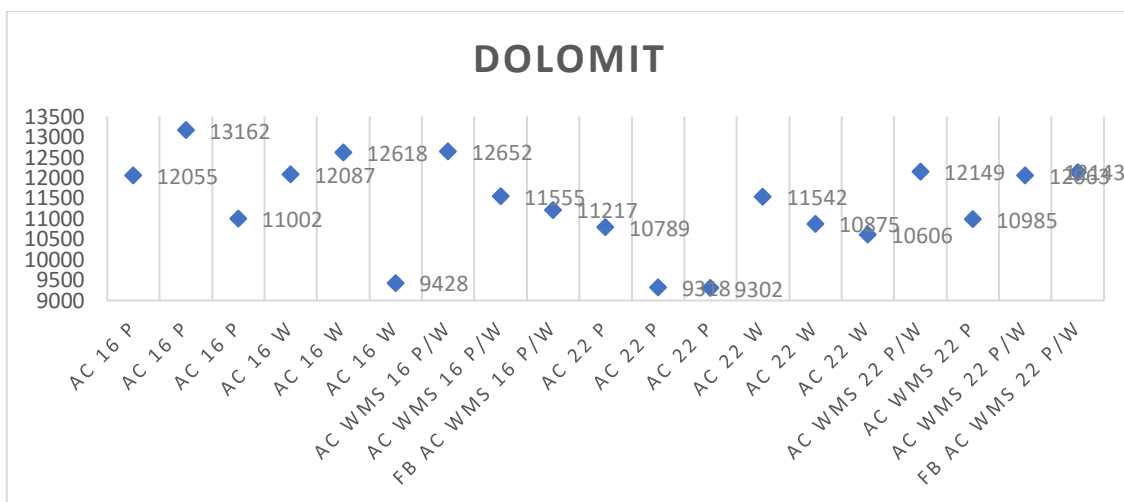
Rysunek. 4 Wartości wyznaczonych modułów sztywności E* dla Melafiru

Dolomit

Tabela 3. Oznaczone wartości modułu sztywności E*

Rodzaj mieszanki	Moduł E* [Mpa]
AC 16 P	15499
AC 16 P	13580
AC 16 W	14656
AC 16 W	15101
AC 16 W	12119
AC WMS 16 P/W	15701
AC WMS 16 P/W	14546
FB AC WMS 16 P/W	14101
AC 22 P	12665
AC 22 P	11247
AC 22 P	11381
AC 22 W	13311
AC 22 W	12537

AC 22 W	12208
AC WMS 22 P/W	14982
AC WMS 22 P	13616
AC WMS 22 P/W	14407
FB AC WMS 22 P/W	14340



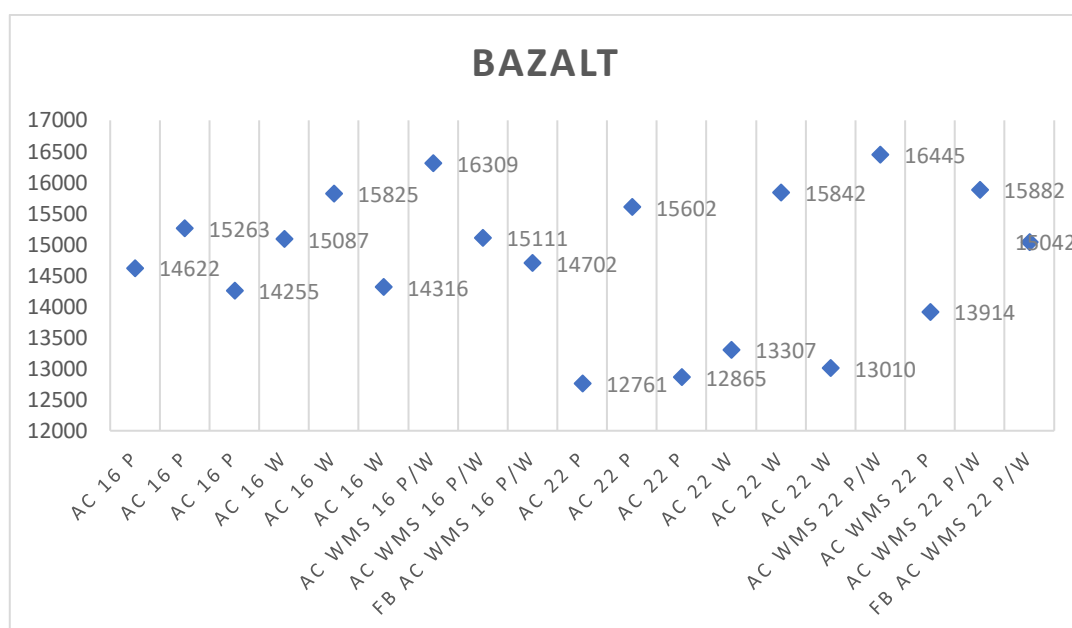
Rysunek. 5 Wartości wyznaczonych modułów sztywności E* dla Dolomitu

Bazalt

Tabela 4. Oznaczone wartości modułu sztywności E*

Rodzaj mieszanki	Moduł E* [Mpa]
AC 16 P	14622
AC 16 P	15263
AC 16 P	14255
AC 16 W	15087
AC 16 W	15825
AC 16 W	14316
AC WMS 16 P/W	16309
AC WMS 16 P/W	15111
FB AC WMS 16 P/W	14702
AC 22 P	12761
AC 22 P	15602

AC 22 P	12865
AC 22 W	13307
AC 22 W	15842
AC 22 W	13010
AC WMS 22 P/W	16445
AC WMS 22 P	13914
AC WMS 22 P/W	15882
FB AC WMS 22 P/W	15042



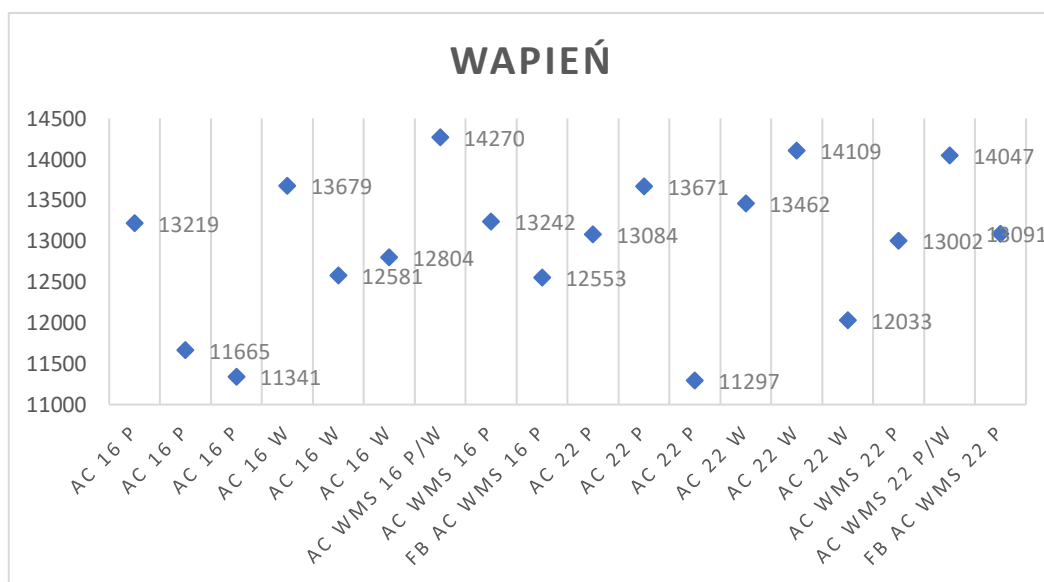
Rysunek. 5 Wartości wyznaczonych modułów sztywności E* dla Bazaltu

Wapień

Tabela 5. Oznaczone wartości modułu sztywności E*

Rodzaj mieszanki	Moduł E* [Mpa]
AC 16 P	13219
AC 16 P	11665
AC 16 P	11341
AC 16 W	13679
AC 16 W	12581
AC 16 W	12804

AC WMS 16 P/W	14270
AC WMS 16 P	13242
FB AC WMS 16 P	12553
AC 22 P	13084
AC 22 P	13671
AC 22 P	11297
AC 22 W	13462
AC 22 W	14109
AC 22 W	12033
AC WMS 22 P	13002
AC WMS 22 P/W	14047
FB AC WMS 22 P	13091



Rysunek. 5 Wartości wyznaczonych modułów sztywności E* dla Wapnia

6. Prezentacja wyników obliczeń trwałości zmęczeniowej

Do obliczeń trwałości zmęczeniowej a zarazem grubości konstrukcji nawierzchni wykorzystano MWS Pavement Design firmy Nascon Sp. z o.o. ul.Harcerska 152, 43-100 Tychy, Polska, Licencja: 5F04-398C

W MWS Pavement Design do obliczeń stanu konstrukcji tj. naprężeń, odkształceń i przemieszczeń, wykorzystywana jest przybliżona metoda analityczna oparta na modelu sprężystych warstw skończonych co zostało przedstawione w części teoretycznej opracowania.

Jako założenia do obliczeń przyjęto:

Obciążenie ruchem

Kategoria ruchu - **KR7**

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych – **53 mln osi**

Okres obliczeniowy – **20 lat**

Parametry obciążenia

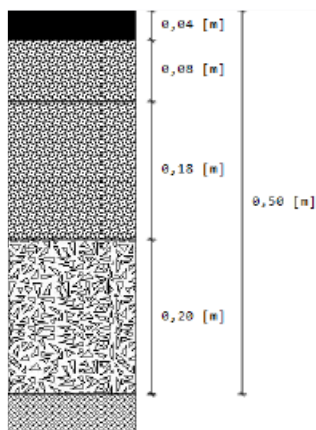
Siła – **50,0 kN**

Ciśnienie kontaktowe – **0,85 MPa**

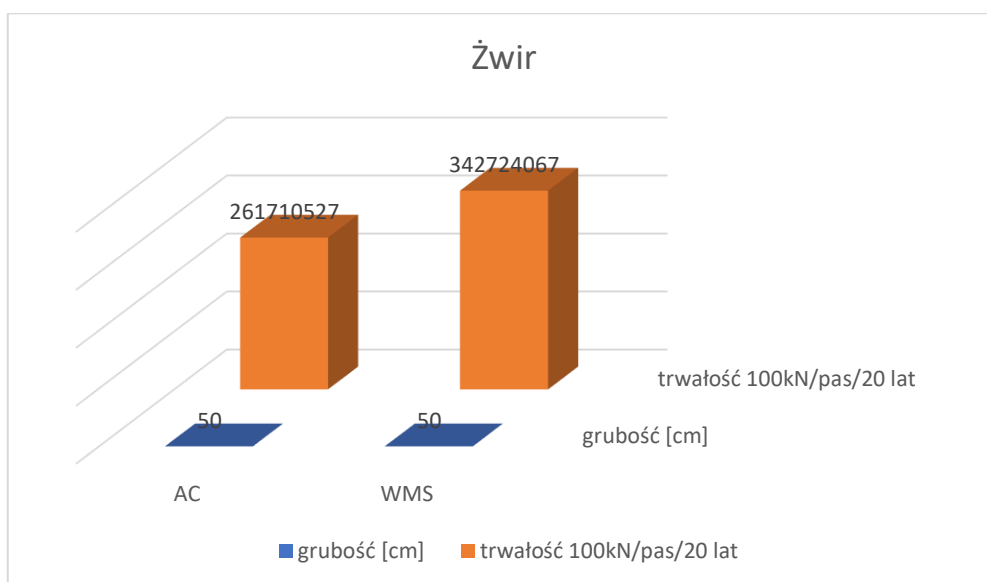
Pole powierzchni obciążenia – **0,0589 m²**

Oś obciążenia w punkcie – **X=0, Y=0**

Jako konstrukcję referencyjną przyjęto konstrukcję nawierzchni podatnej według Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych 2014. dla ruchu KR7. Parametry podłoża gruntowego G1. Jako wstępne, przykładowe mieszanki użyte w obliczeniach przyjęto mieszanki o uziarnieniu do 16 mm zarówno w podbudowie jak i warstwie wiążącej w których materiałem kamiennym były żwirry. Porównano dwie konstrukcje: pierwsza z zastosowaniem standardowych betonów asfaltowych AC 16 P i AC 16 W oraz drugą konstrukcję z mieszankami AC WMS 16 P i AC WMS 16 W. W obydwu wypadkach zastosowano taki sam asfalt drogowy 20/30. Dla tak dobranych materiałów, podanych w Katalogu grubości warstw (Rysunek 6) oraz modułów sztywności uzyskanych w badaniach uzyskano trwałości zmęczeniowe znacznie przewyższające wymagania dla ruchu KR 7 (Rysunek 7) (Tabela 6).



Rysunek 6. Grubości katalogowe konstrukcji nawierzchni podatnej dla ruchu KR 7.



Rysunek 7. Trwałości zmęczeniowe dla przyjętych katalogowych grubości warstw.

Tabela 6. Trwałości zmęczeniowe konstrukcji katalogowej dla parametrów .

	AC	WMS
grubość [cm]	50	50
trwałość 100kN/pas/20 lat	261710527	342724067

Po analizie obliczeń okazało się, że uzyskane trwałości zmęczeniowe przewyższają wymagania dla ruchu KR 7 o kolejno ok. cztero i sześciokrotnie. Okazało się, że stosując w konstrukcjach AC WMS zmniejszając odpowiednio grubości warstw uzyskuje się trwałości zgodne z

wymaganiemi KR 7 z zależnością taką, że konstrukcje z WMS są w każdym przypadku trwalsze czyli posiadają znacznie większą trwałość zmęczeniową.

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń porównawczych wybranych konstrukcji. Rysunki przedstawiają przyjęte grubości oraz uzyskane trwałości zmęczeniowe. Podobnie jak w przypadku modułów sztywności prezentacje podzielono według użytych kruszyw oraz asfaltów. W celu prezentacji wyników większe trwałości zmęczeniowe zostały wyróżnione w poszczególnych tabelach. Prezentowane poniżej wyniki są wynikami przykładowymi uzyskanymi w trakcie prowadzenia Projektu.

Żwir

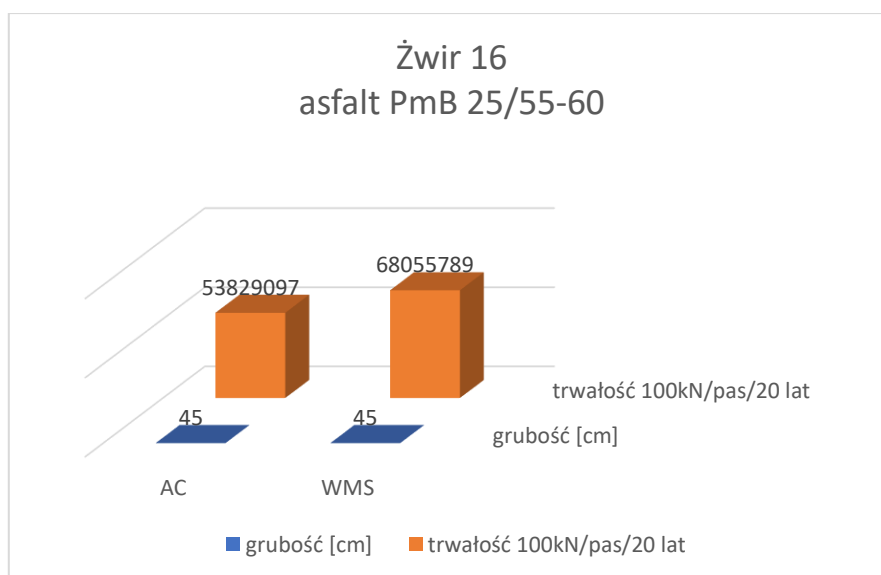


Tabela 7 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	45	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	53829097	68055789

Tabela 8 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-5 cm	-6 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

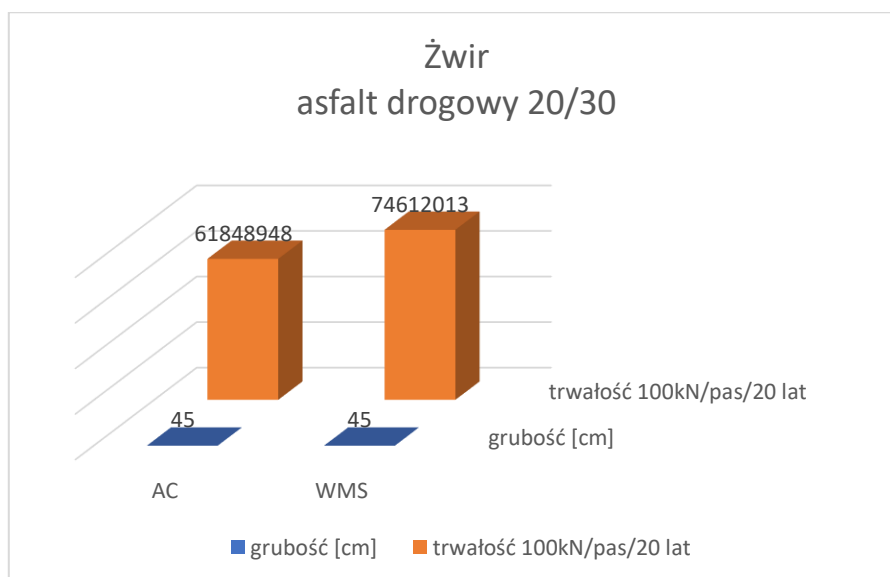


Tabela 9 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	WMS
grubość [cm]	45	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	61848948	74612013

Tabela 10 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-5 cm	-5 cm
AC vs AC WMS	0 cm	

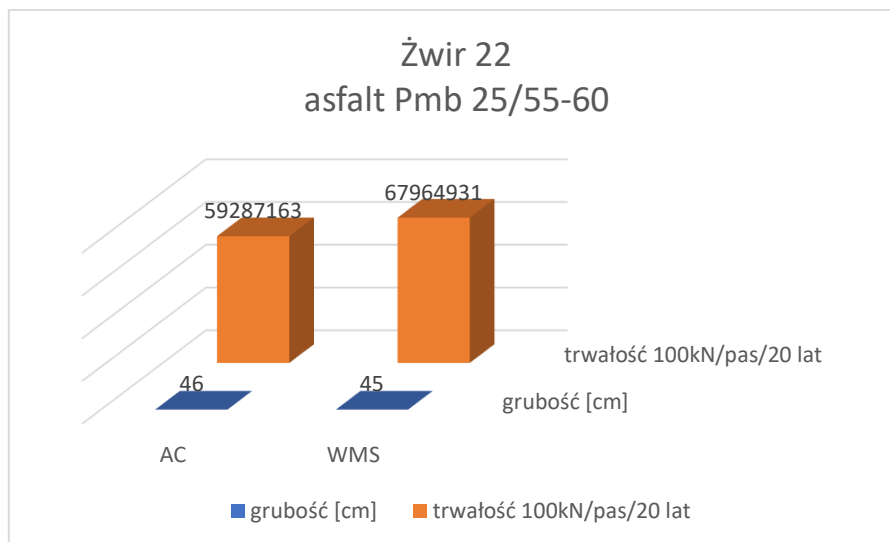


Tabela 11 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	46	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	59287163	67964931

Tabela 12 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-4 cm	-5 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

Melafir

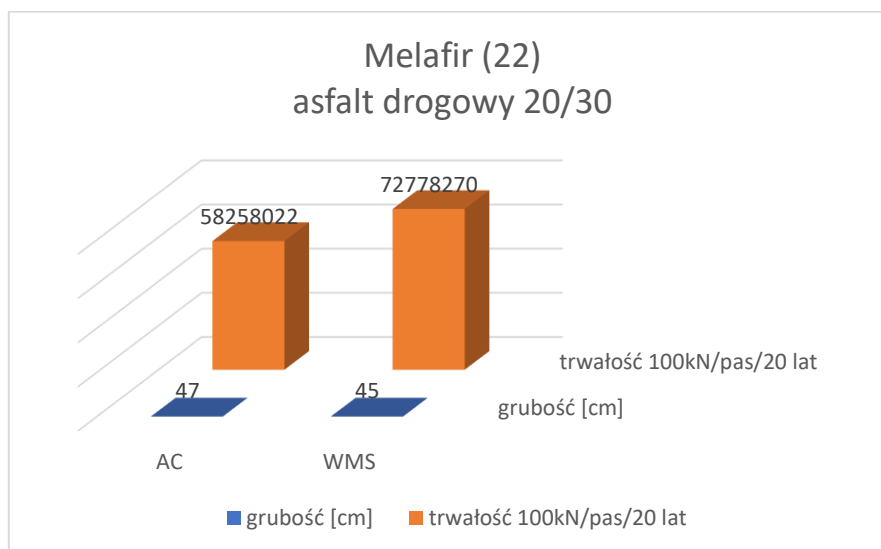


Tabela 13 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	47	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	58258022	72778270

Tabela 14 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-3 cm	-5 cm
AC vs AC WMS	2 cm	

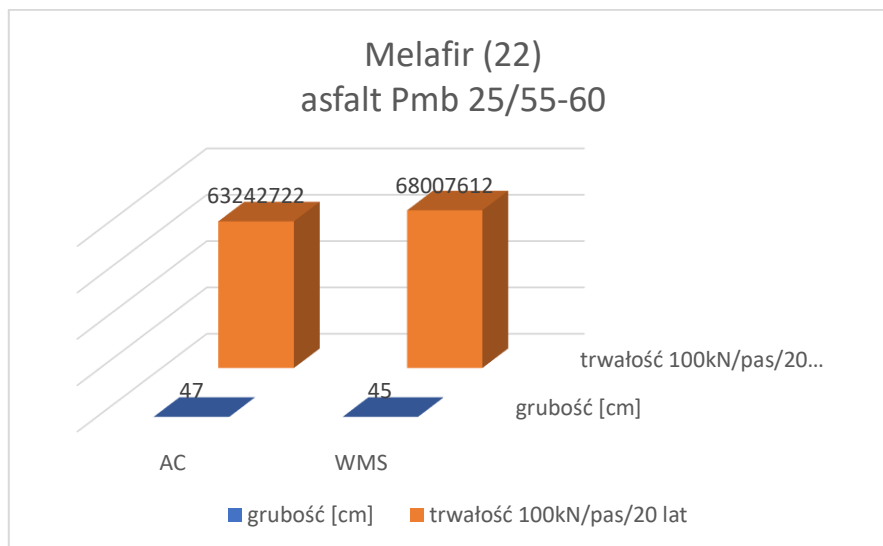


Tabela 15 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	47	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	63242722	68007612

Tabela 16 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
vs Konstrukcja referencyjna	AC	AC WMS
	-3 cm	-5 cm
AC vs AC WMS	2 cm	

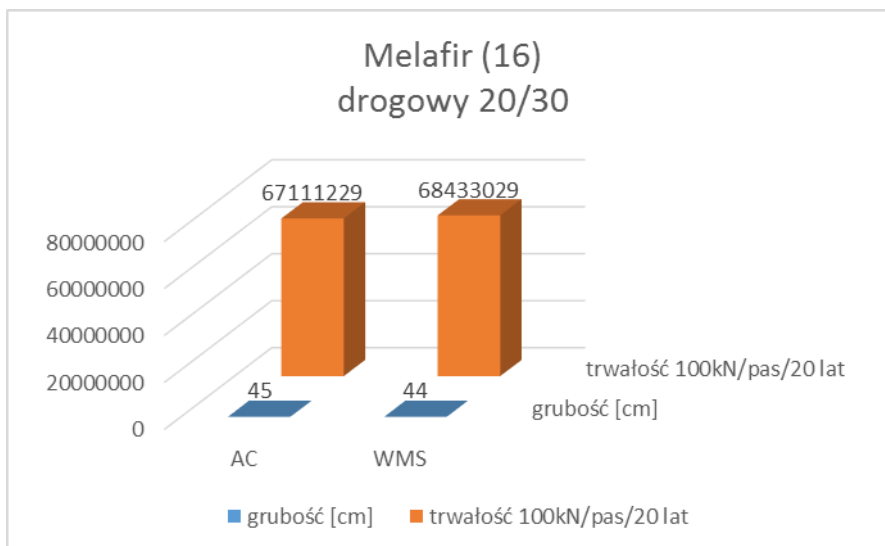


Tabela 17 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	45	44
trwałość 100kN/pas/20 lat	67111229	68433029

Tabela 18 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-5 cm	-6 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

Wapień

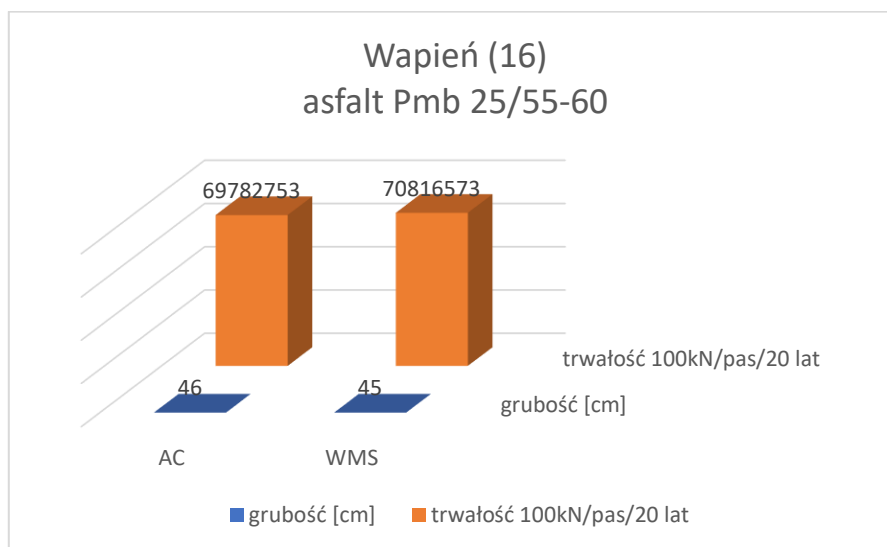


Tabela 19 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	46	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	69782753	70816573

Tabela 20 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-4 cm	-5 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

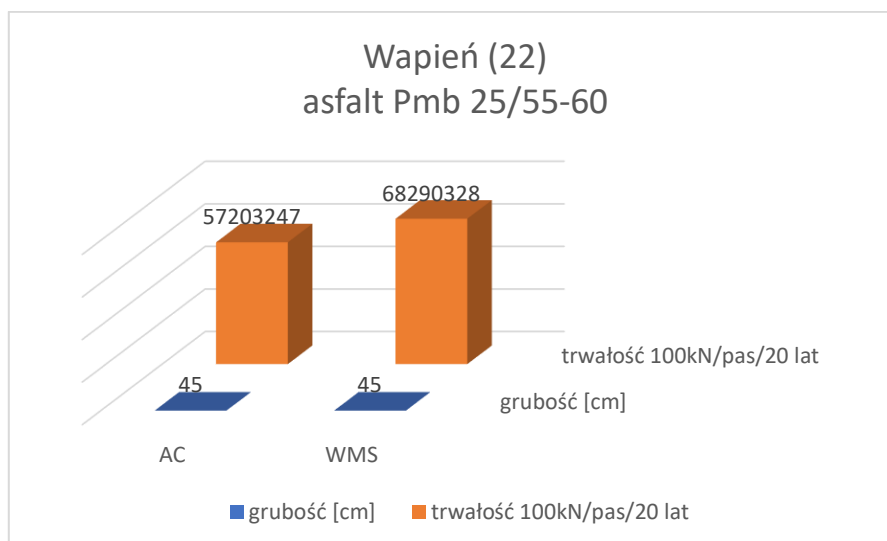


Tabela 21 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	WMS
grubość [cm]	45	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	57203247	68290328

Tabela 22 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-5 cm	-5 cm
AC vs AC WMS	0 cm	

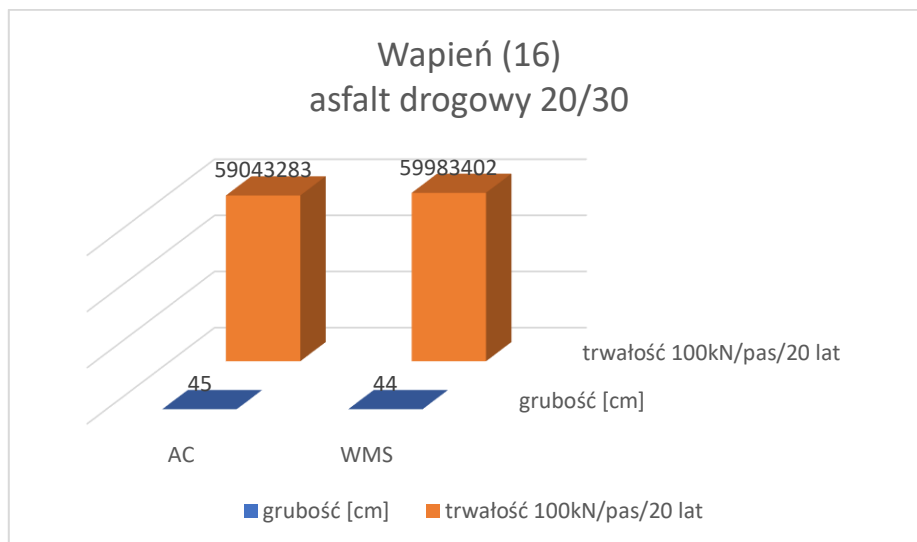


Tabela 23 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	WMS
grubość [cm]	45	44
trwałość 100kN/pas/20 lat	59043283	59983402

Tabela 24 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-5 cm	-6 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

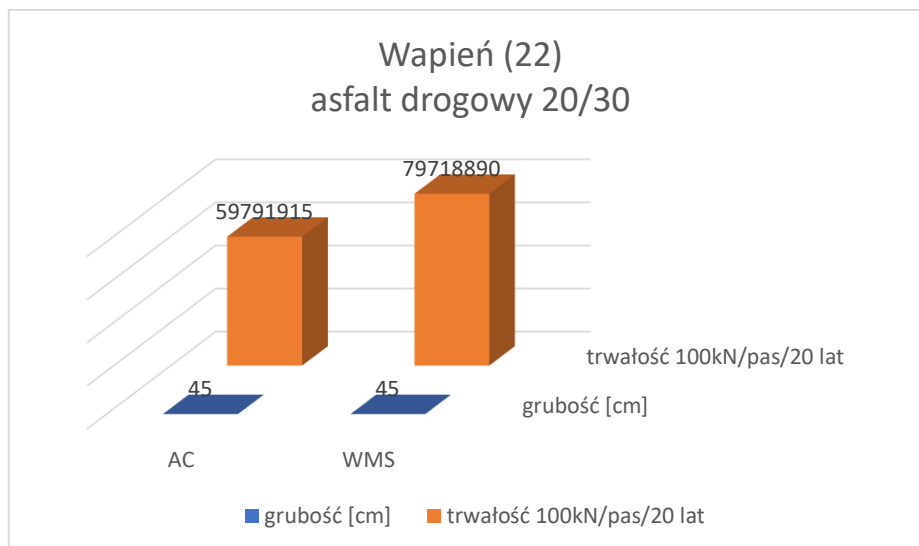


Tabela 25 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	45	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	59791915	79718890

Tabela 26 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-5 cm	-5 cm
AC vs AC WMS	0 cm	

Dolomit

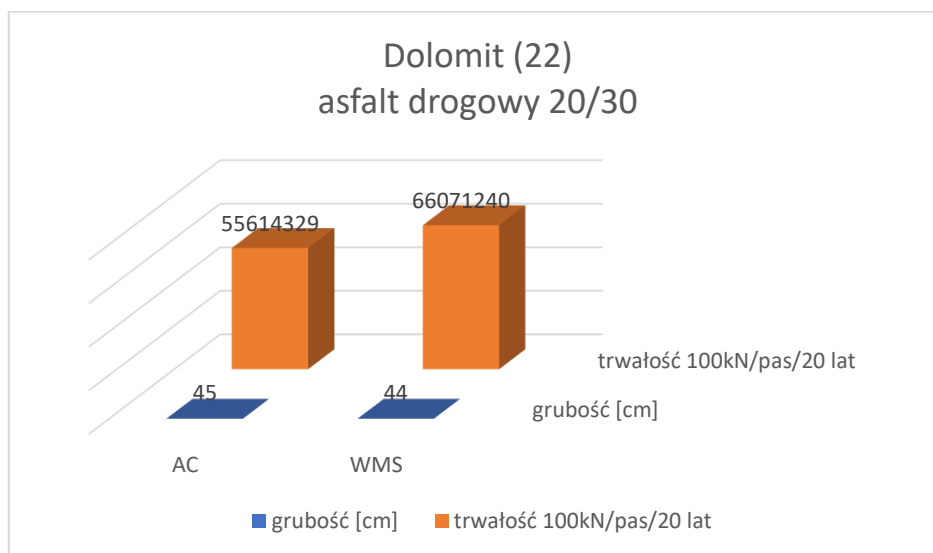


Tabela 27 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	45	44
trwałość 100kN/pas/20 lat	55614329	66071240

Tabela 28 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-5 cm	-6 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

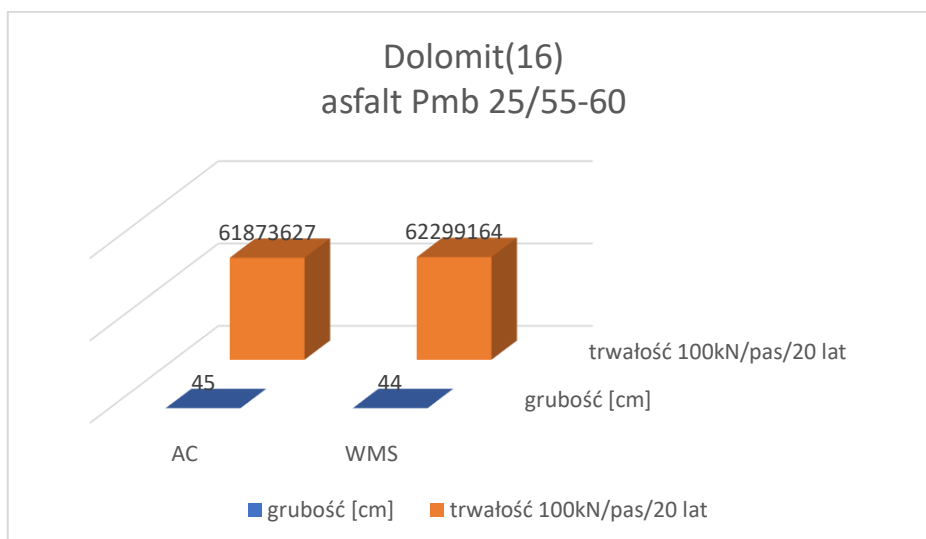


Tabela 29 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	45	44
trwałość 100kN/pas/20 lat	61873627	62299164

Tabela 30 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-5 cm	-6 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

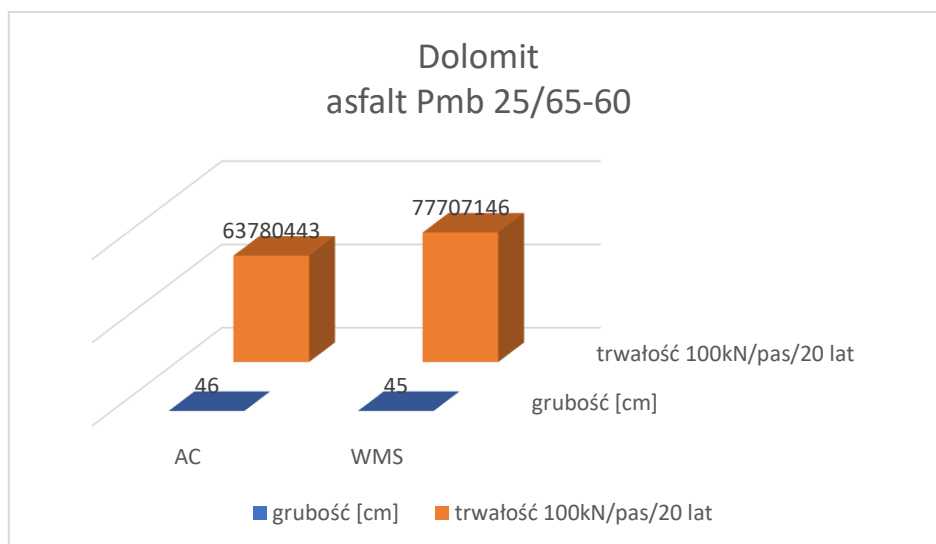


Tabela 31 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	46	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	63780443	77707146

Tabela 32 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-4 cm	-5 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

Bazalt

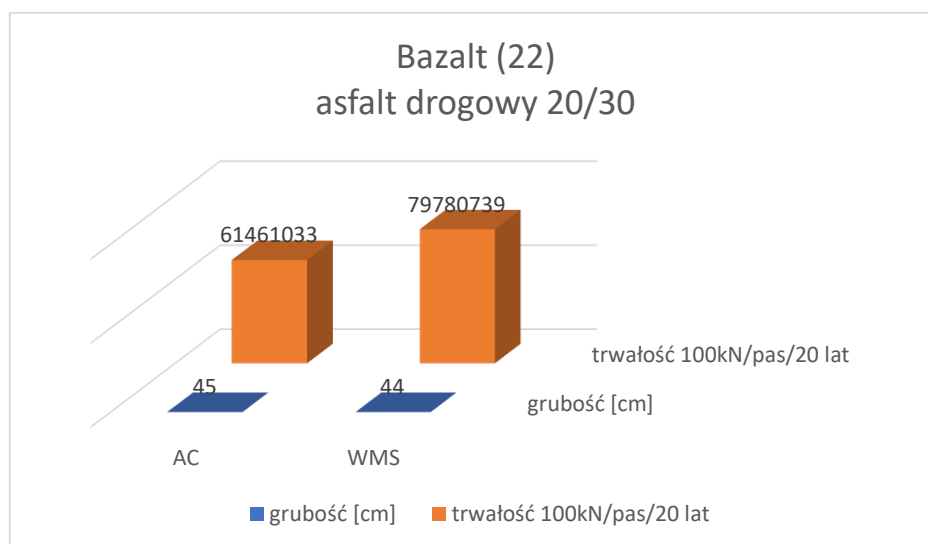


Tabela 33 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	45	44
trwałość 100kN/pas/20 lat	61461033	79780739

Tabela 34 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
	AC	AC WMS
vs Konstrukcja referencyjna	-5 cm	-6 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

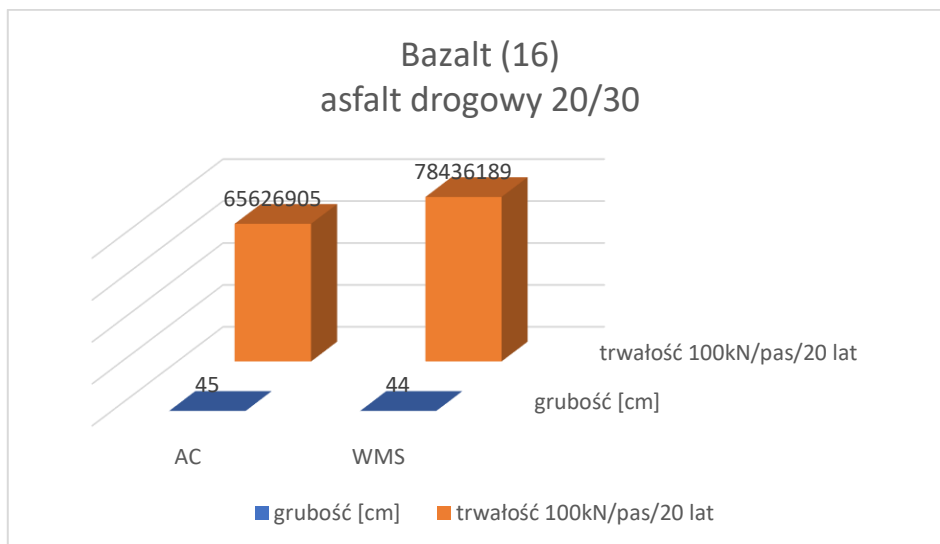


Tabela 35 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	45	44
trwałość 100kN/pas/20 lat	65626905	78436189

Tabela 36 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
vs Konstrukcja referencyjna	AC	AC WMS
	-5 cm	-6 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

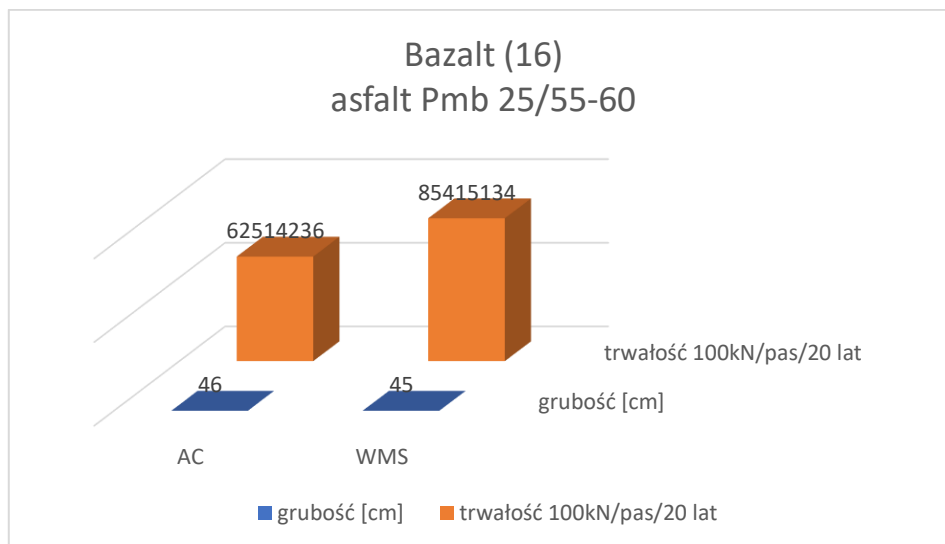


Tabela 37 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	46	45
trwałość 100kN/pas/20 lat	62514236	85415134

Tabela 38 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
vs Konstrukcja referencyjna	AC	AC WMS
	-4 cm	-5 cm
AC vs AC WMS	1 cm	

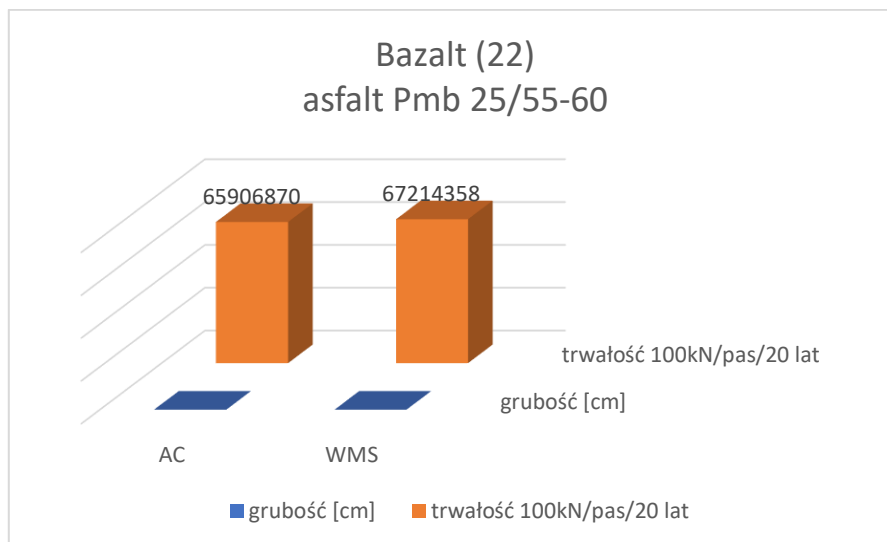


Tabela 39 Grubości konstrukcji oraz trwałości zmęczeniowe

	AC	AC WMS
grubość [cm]	45	44
trwałość 100kN/pas/20 lat	65906870	67214358

Tabela 40 Uzyskane redukcje grubości konstrukcji z mieszankami WMS

	Zmiana grubości	
vs Konstrukcja referencyjna	AC	AC WMS
	-5 cm	-6 cm
AC vs AC WMS	0 cm	

Przedstawione porównawcze konstrukcje są przykładowym zestawem wybranych z pakietu mieszanek wykonanych i zbadanych w ramach projektu.

7. Wnioski z analizy mechanistycznej

Analiza zaprezentowanych obliczeń trwałości konstrukcji z mieszankami AC WMS oraz AC w zbliżonym układzie warstw wykazała ogromny wzrost trwałości konstrukcji nawierzchni z mieszankami WMS. Uzyskane wyniki obliczeń w zakresie trwałości zmęczeniowej oraz uzyskanych odkształceń pozwalają na potwierdzenie tezy znanej z literatury o możliwości redukcji grubości konstrukcji nawierzchni w przypadku zastosowania AC WMS.

Zastosowanie mieszanek AC WMS w każdej z przedstawionych konfiguracji pozwoliła zmniejszyć grubość konstrukcji drogowej o ok 20 % tj. od 3 do 5 cm w stosunku do rozwiązań katalogowych a różnica pomiędzy konstrukcjami AC WMS i AC wskazywała na wyższe parametry konstrukcji AC WMS nawet w przypadku identycznych grubości.

Analiza ekonomiczna takich „redukcji” pokazuje przydatność takich rozwiązań zarówno ze strony mechaniki konstrukcji nawierzchni jak i efektu finansowego. Analizując dokładnie stan naprężeń i odkształceń takich konstrukcji jako porównania należy poszukiwać w rozwiązaniach nawierzchni typu „perpetual” . Stanowi to znakomitą podstawę do dalszego wdrażania tej technologii w Polsce.

8. Założenia analizy finansowej

W najbliższych latach ciężar dużych inwestycji infrastrukturalnych (drogowych) przesunięty został na ścianę wschodnią Polski. Poprzez poprawę infrastruktury na wschodzie planowana jest poprawa dostępności a tym samym rozwój Polski wschodniej. W przyjętych w Projekcie założeniach innowacyjne mieszanki gruboziarniste mają być stosowane w warstwach: wiążącej i podbudowie mieszanki mineralno-asfaltowej a więc, zgodnie z KTNPP, dwiema najgrubszymi warstwami mma. Zastosowanie w tych warstwach, ze względu na ich grubość może dać największe oszczędności.

W części finansowej opracowania przyjęta została zasada wyliczenia cen dla woj. mazowieckiego. Lokalizacja Mazowska w centralnej Polsce daje możliwości wyliczenia opłacalności proponowanych rozwiązań bez większego wpływu tzw.: transportowej renty geograficznej. Kruszywa polodowcowe użyte w badaniach pochodzą z północnej Polski. Bazalty i melafiry pochodzą z woj. dolnośląskiego, zaś skały dolomitowe dewońskie występują w woj. świętokrzyskim. W opracowaniu przyjęto średnio roczne ceny ex – work oraz średnio roczne koszty transportu na teren województwa mazowieckiego. Transport kolejowy powiększony został o koszty rozładunku i średnie koszty dowozu do klienta na terenie Mazowsza. Założenia dotyczące poszczególnych składowych kosztów:

Tabela 41

		Cena ex-work (w zł/t)	Koszt transportu (w zł/t)	Koszt rozładunku i dostawy (w zł/t)	Suma
1	Kruszywo grube bazaltowe 2-16 mm,	45,00 zł	42,00 zł	7,00 zł	94,00 zł
2	Kruszywo grube bazaltowe 16 - 22 (31) mm,	38,80 zł	42,00 zł	7,00 zł	87,80 zł
3	Kruszywo grube melafirowe 2 - 16 mm,	43,00 zł	42,00 zł	7,00 zł	92,00 zł
4	Kruszywo grube melafirowe 16 - 22 (31) mm,	36,00 zł	42,00 zł	7,00 zł	85,00 zł
5	Kruszywo grube dolomitowe 2 - 16 mm,	49,00 zł	35,00 zł		84,00 zł
6	Kruszywo grube dolomitowe 16 - 22 (31) mm,	44,00 zł	35,00 zł		79,00 zł
7	Kruszywo grube polodowcowe „łamane” 2 - 16 mm,	53,00 zł	30,00 zł	7,00 zł	90,00 zł
8	Kruszywo grube polodowcowe „łamane” 16-22 mm,	47,00 zł	30,00 zł	7,00 zł	84,00 zł
9	Kruszywa grube wapienne dewońskie 2-16 mm,	48,00 zł	35,00 zł		83,00 zł
10	Kruszywa grube wapienne dewońskie 16 - 22 (31) mm,	43,00 zł	35,00 zł		78,00 zł
11	Kruszywo drobne ze skały polodowcowej	35,00 zł	30,00 zł	7,00 zł	72,00 zł
12	Kruszywo wypełniające	70,00 zł	42,00 zł		112,00 zł
13	Asfalt				1 450,00 zł

Analiza finansowa obejmuje analizę kosztową porównawczą. Analiza porównawcza nie uwzględnia:

1. Wpływu zdyskontowanej wartości pieniądza, ponieważ wartość pieniądza w czasie będzie wpływała proporcjonalnie na wszystkie elementy analizy i w związku z tym, nie zakłóci proporcji kosztowej.
2. Zmian w sposobach transportu, kosztach energii czy kosztach produkcji, zakładając, iż wpływ na wszystkich producentów będzie jednakowy.

Rynek substratów do mma cechuje duża stabilność cenowa i równomierny wpływ czynników zewnętrznych na wszystkich producentów. Obserwuje się okresowe, sezonowe wzrosty lub spadki cen substratów, które przekładają się na zmiany cen na rynku mma. Średnioroczne zmiany cen porównywalne są do zmian inflacyjnych w Polsce.

Okresowo obserwuje się skokowy wzrost popytu (programy budowy autostrad w Polsce) skutkujące nadzwyczajnymi wzrostami cen mma. Skokowe zmiany powodują wzrost podaży mma co skutkuje obniżeniem cen na rynku. Generalnie rynek w dłuższym okresie jest stabilny a wzrost cen jest równy inflacji.

W analizie finansowej przyjęto najkorzystniejsze warianty każdej z grup recept.

Przyjąwszy powyższe założenia autorzy raportu zdecydowali się na wykazanie różnic kosztowych krótko- ewentualnie średnioterminowych, ponieważ znaczące zmiany w długim terminie mogą być spowodowane wydarzeniami nadzwyczajnymi lub będą miały jednakowy wpływ na producentów substratów i mma. W efekcie różnica kosztowa pomiędzy tradycyjnymi mieszankami a mieszankami gruboziarnistymi będzie proporcjonalna.

9. Analiza finansowa

Część 1 analizy finansowej – bezpośrednie koszty produkcji

W poniższych tabelach ujęte zostały różnice w zakupie substratów dla poszczególnych recept.

Tabela 42

Wycena recept kruszywo grube polodowcowe (żwir łamany)							
AC 16 P		Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma	AC 22 P	Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma	Różnica
Kruszywo wypełniające	5,20%	112,00 zł	5,82 zł	5,70%	112,00 zł	6,38 zł	
Kruszywo drobne	25,30%	72,00 zł	18,22 zł	7,10%	72,00 zł	5,11 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	65,00%	90,00 zł	58,50 zł	57,40%	90,00 zł	51,66 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			- zł	24,70%	84,00 zł	20,75 zł	
Asfalt	4,40%	1 450,00 zł	63,80 zł	4,20%	1 450,00 zł	60,90 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			146,34 zł			144,80 zł	1,54 zł
AC 16 W				AC 22 W			
Kruszywo wypełniające	5,20%	112,00 zł	5,82 zł	5,70%	112,00 zł	6,38 zł	
Kruszywo drobne	25,30%	72,00 zł	18,22 zł	12,30%	72,00 zł	8,86 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	64,80%	90,00 zł	58,32 zł	53,80%	90,00 zł	48,42 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			- zł	23,70%	84,00 zł	19,91 zł	
Asfalt	4,70%	1 450,00 zł	68,15 zł	4,40%	1 450,00 zł	63,80 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			150,51 zł			147,37 zł	3,14 zł
AC WMS 16				AC WMS 22			
Kruszywo wypełniające	6,40%	112,00 zł	7,17 zł	6,20%	112,00 zł	6,94 zł	
Kruszywo drobne	20,20%	72,00 zł	14,54 zł	17,60%	72,00 zł	12,67 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	68,30%	90,00 zł	61,47 zł	48,40%	90,00 zł	43,56 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			- zł	22,80%	84,00 zł	19,15 zł	
Asfalt	5,20%	1 450,00 zł	75,40 zł	5,10%	1 450,00 zł	73,95 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			158,58 zł			156,28 zł	2,30 zł

Tabela 43

Wycena recept kruszywo grube melafirowe							
		Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma		Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma	Różnica
AC 16 P				AC 22 P			
Kruszywo wypełniające	6,70%	112,00 zł	7,50 zł	5,80%	112,00 zł	6,50 zł	
Kruszywo drobne	23,90%	72,00 zł	17,21 zł	18,20%	72,00 zł	13,10 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	65,10%	92,00 zł	59,89 zł	57,50%	92,00 zł	52,90 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	14,40%	85,00 zł	12,24 zł	
Asfalt	4,30%	1 450,00 zł	62,35 zł	4,10%	1 450,00 zł	59,45 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			146,95 zł			144,19 zł	2,76 zł
AC 16 W				AC 22 W			
Kruszywo wypełniające	6,70%	112,00 zł	7,50 zł	6,20%	112,00 zł	6,94 zł	
Kruszywo drobne	23,80%	72,00 zł	17,14 zł	17,70%	72,00 zł	12,74 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	64,70%	92,00 zł	59,52 zł	56,50%	92,00 zł	51,98 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	15,30%	85,00 zł	13,01 zł	
Asfalt	4,70%	1 450,00 zł	68,15 zł	4,30%	1 450,00 zł	62,35 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			152,31 zł			147,02 zł	5,29 zł
AC WMS 16				AC WMS 22			
Kruszywo wypełniające	6,20%	112,00 zł	6,94 zł	5,50%	112,00 zł	6,16 zł	
Kruszywo drobne	24,20%	72,00 zł	17,42 zł	17,10%	72,00 zł	12,31 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	64,50%	92,00 zł	59,34 zł	57,00%	92,00 zł	52,44 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	15,40%	85,00 zł	13,09 zł	
Asfalt	5,20%	1 450,00 zł	75,40 zł	5,00%	1 450,00 zł	72,50 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			159,11 zł			156,50 zł	2,61 zł
AC WMS 16				AC WMS 32			
Kruszywo wypełniające	6,20%	112,00 zł	6,94 zł	5,20%	112,00 zł	5,82 zł	
Kruszywo drobne	24,20%	72,00 zł	17,42 zł	17,00%	72,00 zł	12,24 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	64,50%	92,00 zł	59,34 zł	47,60%	92,00 zł	43,79 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	25,20%	85,00 zł	21,42 zł	
Asfalt	5,20%	1 450,00 zł	75,40 zł	5,00%	1 450,00 zł	72,50 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			159,11 zł			155,78 zł	3,33 zł

Tabela 44

Wycena recept kruszywo grube dolomitowe							
AC 16 P		Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma	AC 22 P	Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma	Różnica
Kruszywo wypełniające	4,80%	112,00 zł	5,38 zł	3,40%	112,00 zł	3,81 zł	
Kruszywo drobne	23,00%	72,00 zł	16,56 zł	17,80%	72,00 zł	12,82 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	68,00%	84,00 zł	57,12 zł	55,70%	84,00 zł	46,79 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			- zł	19,20%	79,00 zł	15,17 zł	
Asfalt	4,20%	1 450,00 zł	60,90 zł	4,00%	1 450,00 zł	58,00 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			139,96 zł			136,58 zł	3,38 zł
AC 16 W				AC 22 W			
Kruszywo wypełniające	4,80%	112,00 zł	5,38 zł	3,40%	112,00 zł	3,81 zł	
Kruszywo drobne	22,90%	72,00 zł	16,49 zł	18,70%	72,00 zł	13,46 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	67,70%	84,00 zł	56,87 zł	53,60%	84,00 zł	45,02 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			- zł	20,10%	79,00 zł	15,88 zł	
Asfalt	4,60%	1 450,00 zł	66,70 zł	4,20%	1 450,00 zł	60,90 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			145,43 zł			139,08 zł	6,36 zł
AC WMS 16				AC WMS 22			
Kruszywo wypełniające	5,20%	112,00 zł	5,82 zł	5,20%	112,00 zł	5,82 zł	
Kruszywo drobne	22,30%	72,00 zł	16,06 zł	17,10%	72,00 zł	12,31 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	67,40%	84,00 zł	56,62 zł	53,70%	84,00 zł	45,11 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			- zł	19,00%	79,00 zł	15,01 zł	
Asfalt	5,10%	1 450,00 zł	73,95 zł	5,00%	1 450,00 zł	72,50 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			152,45 zł			150,75 zł	1,69 zł
AC WMS 16				AC WMS 32			
Kruszywo wypełniające	5,20%	112,00 zł	5,82 zł	5,20%	112,00 zł	5,82 zł	
Kruszywo drobne	22,30%	72,00 zł	16,06 zł	19,00%	72,00 zł	13,68 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	67,40%	84,00 zł	56,62 zł	43,20%	84,00 zł	36,29 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			- zł	27,70%	79,00 zł	21,88 zł	
Asfalt	5,10%	1 450,00 zł	73,95 zł	5,00%	1 450,00 zł	72,50 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			152,45 zł			150,18 zł	2,27 zł

Tabela 45

Wycena recept kruszywo grube bazaltowe							
		Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma		Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma	Różnica
AC 16 P				AC 22 P			
Kruszywo wypełniające	6,20%	112,00 zł	6,94 zł	5,30%	112,00 zł	5,94 zł	
Kruszywo drobne	24,10%	72,00 zł	17,35 zł	16,80%	72,00 zł	12,10 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	65,70%	94,00 zł	61,76 zł	54,80%	94,00 zł	51,51 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	19,20%	87,80 zł	16,86 zł	
Asfalt	4,00%	1 450,00 zł	58,00 zł	3,80%	1 450,00 zł	55,10 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			144,05 zł			141,50 zł	2,55 zł
AC 16 W				AC 22 W			
Kruszywo wypełniające	5,70%	112,00 zł	6,38 zł	4,80%	112,00 zł	5,38 zł	
Kruszywo drobne	22,00%	72,00 zł	15,84 zł	17,30%	72,00 zł	12,46 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	67,90%	94,00 zł	63,83 zł	54,70%	94,00 zł	51,42 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	19,20%	87,80 zł	16,86 zł	
Asfalt	4,40%	1 450,00 zł	63,80 zł	4,10%	1 450,00 zł	59,45 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			149,85 zł			145,56 zł	4,29 zł
AC WMS 16				AC WMS 22			
Kruszywo wypełniające	6,20%	112,00 zł	6,94 zł	6,20%	112,00 zł	6,94 zł	
Kruszywo drobne	19,50%	72,00 zł	14,04 zł	17,60%	72,00 zł	12,67 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	69,50%	94,00 zł	65,33 zł	52,40%	94,00 zł	49,26 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	19,10%	87,80 zł	16,77 zł	
Asfalt	4,80%	1 450,00 zł	69,60 zł	4,70%	1 450,00 zł	68,15 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			155,91 zł			153,79 zł	2,12 zł
AC WMS 16				AC WMS 32			
Kruszywo wypełniające	6,20%	112,00 zł	6,94 zł	6,20%	112,00 zł	6,94 zł	
Kruszywo drobne	19,50%	72,00 zł	14,04 zł	16,20%	72,00 zł	11,66 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	69,50%	94,00 zł	65,33 zł	43,80%	94,00 zł	41,17 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	29,10%	87,80 zł	25,55 zł	
Asfalt	4,80%	1 450,00 zł	69,60 zł	4,70%	1 450,00 zł	68,15 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			155,91 zł			153,48 zł	2,43 zł

Tabela 46

Wycena recept kruszywo grube wapień dewoński							
		Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma		Cena substratu (w zł/t)	Wartość w 1 t mma	Różnica
AC 16 P				AC 22 P			
Kruszywo wypełniające	4,30%	112,00 zł	4,82 zł	3,80%	112,00 zł	4,26 zł	
Kruszywo drobne	24,40%	72,00 zł	17,57 zł	18,20%	72,00 zł	13,10 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	67,00%	83,00 zł	55,61 zł	50,80%	83,00 zł	42,16 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	23,00%	78,00 zł	17,94 zł	
Asfalt	4,30%	1 450,00 zł	62,35 zł	4,10%	1 450,00 zł	59,45 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			140,34 zł			136,91 zł	3,43 zł
AC 16 W				AC 22 W			
Kruszywo wypełniające	4,30%	112,00 zł	4,82 zł	4,80%	112,00 zł	5,38 zł	
Kruszywo drobne	22,40%	72,00 zł	16,13 zł	16,30%	72,00 zł	11,74 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	68,70%	83,00 zł	57,02 zł	51,70%	83,00 zł	42,91 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	23,00%	78,00 zł	17,94 zł	
Asfalt	4,60%	1 450,00 zł	66,70 zł	4,30%	1 450,00 zł	62,35 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			144,67 zł			140,31 zł	4,35 zł
AC WMS 16				AC WMS 22			
Kruszywo wypełniające	6,00%	112,00 zł	6,72 zł	4,50%	112,00 zł	5,04 zł	
Kruszywo drobne	21,00%	72,00 zł	15,12 zł	17,40%	72,00 zł	12,53 zł	
Kruszywo grube 2- 16 mm	67,90%	83,00 zł	56,36 zł	52,30%	83,00 zł	43,41 zł	
Kruszywo grube 16 -22/31mm			-	20,90%	78,00 zł	16,30 zł	
Asfalt	5,10%	1 450,00 zł	73,95 zł	4,90%	1 450,00 zł	71,05 zł	
Wartość substratów (w zł/t)			152,15 zł			148,33 zł	3,82 zł

Powyższe porównanie zakupów substratów do produkcji mma wskazuje, że średnia cena oszczędność w zakupie i zużyciu kruszyw oraz asfaltu wynosi 3,20 zł dla 1 tony produkcji mieszanki mineralno asfaltowej gruboziarnistej do warstwy podbudowy i wiążącej. Szacuje się, że w Polsce w ostatnich latach produkuje się ok. 22 mln ton mma do warstwy podbudowy i wiążącej. Stosując księgową zasadę ostrożności, należy przyjąć, że gdyby 50% z 22 mln ton stanowiły mieszanki gruboziarniste to oszczędności wyniosłyby **35,2 mln złotych**. Średnia produkcja pojedynczej wytwórni mma w Polsce to ok. 100 000,00 ton rocznie. Z tego ok 70% to warstwa podbudowy i wiążąca. Oznacza to ok 70 000,00 ton produkcji możliwej produkcji

rocznej mieszanek mineralno-asfaltowych gruboziarnistych. Oznacza to oszczędność dla WMB **w wysokości 320 000,00 złotych** rocznie przy zakupie substartów.

Produkcja mma polega na wysuszeniu, doprowadzeniu do odpowiedniej temperatury otaczania i wymieszaniu z gorącym asfaltem. W ten sposób uzyskuje się gorącą mieszanek mineralno-asfaltową. Najbardziej energochłonne jest ogrzewanie drobnych frakcji kruszyw. W często niezadaszonych składowiskach kruszywa dochodzi do znacznego zawilgocenia kruszywa połączoną z dużą wilgotnością naturalną i wysoką nasiąkliwością, ogrzanie kruszyw drobnych i wysuszenie ich pochłania znacznie więcej energii niż ma to miejsce w kruszywie grubym o mniejszej powierzchni właściwej.

Mieszanki gruboziarniste wskazane w Tabelach 42 - 46 zawierają średnio 6,63% kruszyw drobnych mniej (kruszywo wypełniające dodane + kruszywo drobne) niż mieszanki do 16 mm. Szacuje się, że przy ogrzewaniu kruszyw w suszarniach, w których medium jest gaz koszty ogrzewania wynoszą:

10 litrów gazu LPG na ogrzewanie 1 tony mma. Przyjąwszy cenę 1,45 zł/l gazu LPG, oznacza to koszt ogrzania 1 tony tradycyjnej mieszanki wynosi 14,50 zł/t. Oszczędności z tytułu zmniejszenia ilości kruszyw drobnych w składzie mma wyniosą minimum 6%. Efektem tego jest oszczędność w produkcji wynosząca 0,87 zł/t. Wyliczając oszczędność w skali całego kraju powinna wynieść 11 mln ton x 0,87 zł/t = 9, 57 mln złotych a w skali WMB 70 000 t x 0,87 zł/t = 60 900 złotych.

Warto podkreślić, że gaz LPG jest jednym z najtańszych nośników energii dla suszarni WMB (prawdopodobnie tańszy jest jedynie gaz ziemny), natomiast część instalacji w Polsce ogrzewana jest olejem opałowym lub pyłem węglowym. Koszty oleju opałowego lub koszty pyłu węglowego są znacznie wyższe niż koszty zużycia gazu LPG. Należy zatem założyć, że wyliczone koszty oszczędności są kosztami minimalnymi.

Pozostałe koszty produkcji (mieszanie, składowanie, załadunek) i transportu do budowy pozostaną bez zmian.

Należy założyć, że nie wystąpi korzystny efekt finansowy przy wbudowywaniu mieszanek gruboziarnistych w porównaniu do mieszanek drobnoziarnistych. Czynniki wpływające na koszty to:

- Tempo rozkładania mma rozkładarką,
- Energia zagęszczania przekładająca się na koszty pracy walca,
- Ilość i czas pracy pracowników wspierających pracę rozkładarki.

Analizując koszty powyższych etapów wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych, trudno wyznaczyć różnicę w kosztach obu procesów ze względu na występujące w obu rodzajach mieszanek charakterystyczne cechy.

Tabela 47

Oszczędności występujące z zastosowania innowacyjnych mieszanek gruboziarnistych							
		Polska			1 WMB		
		Ilość (w t)	średnia oszczędność	Wartość (w zł)	Ilość (w t)	średnia oszczędność	Wartość (w zł)
1	Oszczędności w zakupie surowców w ciągu 1 roku	11 000 000	3,20 zł	35 200 000,00 zł	70000	3,20 zł	224 000,00 zł
2	Oszczędności w zużyciu gazu LPG w ciągu 1 roku	11 000 000	0,87 zł	9 570 000,00 zł	70000	0,87 zł	60 900,00 zł
Suma				44 770 000,00 zł			284 900,00 zł

Część 2 analiza finansowa oszczędności wynikające grubości konstrukcji.

Zgodnie z KTKNPP, przyjętym w niniejszym opracowaniu, autorzy raportu skupili się na najwyższym obciążeniu ruchem czyli kategorii ruchu KR 7.

Tablica 10.1. TYP A1 - Typowe konstrukcje górnych warstw nawierzchni podatnych

Podbudowa zasadnicza: beton asfaltowy AC, mieszanka niezwiązana z kruszywem C_{90/3}

Kategoria ruchu	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6	KR7
Ruch projektowy (min osi 100 kN)	0,03 - 0,09	0,09 - 0,5	0,5 - 2,5	2,5 - 7,4	7,4 - 22,0	22,0 - 52,0	> 52,0
TYP A1							
LEGENDA:	warstwa ścierna z mieszanki mineralno-asfaltowej; warstwa wiążąca z betonu asfaltowego; warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego; warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C_{90/3}; wymagany wtórny moduł okształcenia E₂						

W powyższej konstrukcji dla celów projektowych przyjęto, iż warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-asfaltowej oraz warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem pozostają bez zmian. Modelowanie oszczędności dzięki zastosowaniu mieszanek mineralno-asfaltowych gruboziarnistych, opiera się tylko na zmianie w zakresie warstwy mma wiążącej i warstwie mma podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego.

Do wyliczeń w niniejszym raporcie przyjęto grubości wyjściowe warstw zgodnie z KTKNPP dla warstwy wiążącej 8 cm i dla warstwy podbudowy zasadniczej mma 18 cm.

Kalkulacje kosztów produkcji poszczególnych mieszanek prowadzono dla 1 tony wyprodukowanej w WMB.

Przy przeliczeniach objętości mma przyjęto następujące założenia:

1. Do przeliczenia gęstości dla poszczególnych rodzajów mieszanek przyjęto wartość pssd zgodnie z przygotowanymi receptami w Mg/m^3 czyli w t/m^3
2. Ujednolicono jednostki.
3. Przyjęto, że przeliczenie oparte jest na założeniu szerokość x długość x grubość warstwy = $1 \times 1 \times$ zmienna grubość np. warstwa wiążąca 8 cm = 0,198 t ($0,08 \text{ m}^3 \times 2,475 \text{ t/m}^3$ (pmv) = 0,198 t
4. Wartość kosztów przyjęta jest zgodnie z Tabelami 41- 46, dla odpowiedniego rodzaju kruszywa zgodnie z receptami.
5. Pole „Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł)” – opisuje kosztowo różnicę pomiędzy grubością warstwy z KTKNPP a mma zaprojektowanymi w Projekcie, która powstaje przy użyciu danego rodzaju mma i oznacza oszczędność wynikającą ze zmniejszenia grubości warstwy na 1 m^2 przy kosztach mieszanek wyliczonych w Tabeli 1
6. Pole „Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł) koszt” – opisuje kosztowo różnicę pomiędzy grubością warstwy z KTKNPP a mma zaprojektowanymi w Projekcie, która powstaje przy użyciu danego rodzaju mma i oznacza oszczędność wynikającą ze zmniejszenia grubości warstwy na 1 m^2 przy uśrednionych kosztach (160,00 zł/t), w celu zniwelowania różnic wynikających z różnych kosztów recept.
7. Pole: „Grubość warstwy 16 vs 22/31 (w zł)” wskazuje różnicę pomiędzy bezpośrednio porównywanymi receptami na podstawie pola: „Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł) koszt”.

8. Pole: „Trwałość zmęczeniowa 16 vs 22/31” wskazuje bezpośrednią różnicę w wyliczonej trwałości zmęczeniowej różnicę pomiędzy bezpośrednio porównywanymi receptami.

Tabela 48

	Grubość KTKNPP	Kruszywo polodowcowe łamane															
		AC PMB 16 P/W	pssd	AC PMB 22 P/W	pssd	AC PMB WMS 16 P/W	pssd	AC PMB WMS 22 P/W	pssd	AC 16 P/W	pssd	AC 22 P/W	pssd	AC WMS 16 P/W	pssd	AC WMS 22 P/W	pssd
Warstwa wiążąca	8	7	2,492	7	2,511	7	2,468	7	2,488	7	2,504	7	2,513	7	2,47	7	2,49
Warstwa podbudowy	18	15	2,509	15	2,508	14	2,468	14	2,488	14	2,496	14	2,508	14	2,47	14	2,49
Cała konstrukcja	50	46		46		45		45		45		45		45		45	
Trwałość zmęczeniowa (w mln osi /100 kN/20 lat)	>52	53,829		59,287		68,056		67,965		53,829		61,848		80,867		74,612	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł)		14,77 zł		14,60 zł		19,57 zł		19,44 zł		18,38 zł		18,23 zł		19,58 zł		19,44 zł	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł) koszt	160,00 zł	16,03 zł		16,06 zł		19,74 zł		19,90 zł		19,98 zł		20,07 zł		19,76 zł		19,90 zł	
Grubość warstwy 16 vs 22/31 (w zł)		-0,03 zł		0,03 zł		-0,16 zł		0,16 zł		-0,09 zł		0,09 zł		-0,14 zł		0,14 zł	
Trwałość zmęczeniowa 16 vs 22/31		-5,458		5,458		0,091		-0,091		-8,019		8,019		6,255		-6,255	

Tabela 49

	Grubość KTKNPP	Kruszywo Bazaltowe															
		AC PMB 16 P/W	pssd	AC PMB 22 P/W	pssd	AC PMB WMS 16 P/W	pssd	AC PMB WMS 22 P/W	pssd	AC 16 P/W	pssd	AC 22 P/W	pssd	AC WMS 16 P/W	pssd	AC WMS 22 P/W	pssd
Warstwa wiążąca	8	7	2,593	7	2,602512	7	2,606	7	2,621	7	2,607	7	2,61084	7	2,61	7	2,61
Warstwa podbudowy	18	15	2,585	15	2,57785	14	2,606	14	2,621	14	2,561	14	2,59857	13	2,61	13	2,61
Cała konstrukcja	50	46		46		45		45		45		45		44		44	
Trwałość zmęczeniowa (w mln osi /100 kN/20 lat)	>52	88,996		78,436		92,534		85,415		65,626		61,461		65,626		72,788	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł)		15,05 zł		14,73 zł		20,32 zł		20,16 zł		18,66 zł		18,51 zł		24,39 zł		24,08 zł	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł) koszt	160,00 zł	16,55 zł		16,54 zł		20,85 zł		20,97 zł		20,56 zł		20,81 zł		25,03 zł		25,06 zł	
Grubość warstwy 16 vs 22/31 (w zł)		0,02 zł		-0,02 zł		-0,12 zł		0,12 zł		-0,25 zł		0,25 zł		-0,03 zł		0,03 zł	
Trwałość zmęczeniowa 16 vs 22/31		10,560		-10,560		7,119		-7,119		4,165		-4,165		-7,162		7,162	

Tabela 50

	Grubość KTKNPP	Kruszywo melafirowe															
		AC PMB 16		AC PMB 22		AC PMB WMS 16		AC PMB WMS 22		AC 16		AC 22		AC WMS 16		AC WMS 22	
		P/W	pssd	P/W	pssd	P/W	pssd	P/W	pssd	P/W	pssd	P/W	pssd	P/W	pssd	P/W	pssd
Warstwa wiążąca	8	7	2,353	7	2,371836	7	2,382	7	2,372	7	2,367	7	2,3484	6	2,4	7	2,37
Warstwa podbudowy	18	16	2,356	16	2,334276	14	2,382	14	2,372	16	2,39	16	2,33688	14	2,4	14	2,37
Cała konstrukcja	50	47		47		45		45		47		47		44		45	
Trwałość zmęczeniowa (w mln osi /100 kN/20 lat)	>52	106,543		63,242		82,750		68,007		121,485		58,258		68,433		79,780	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł)		10,51 zł		10,22 zł		18,95 zł		18,56 zł		10,63 zł		10,19 zł		22,95 zł		18,56 zł	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł) koszt	160,00 zł	11,30 zł		11,26 zł		19,06 zł		18,98 zł		11,44 zł		11,24 zł		23,08 zł		18,97 zł	
Grubość warstwy 16 vs 22/31 (w zł)		0,04 zł		-0,04 zł		0,08 zł		-0,08 zł		0,20 zł		-0,20 zł		4,11 zł		-4,11 zł	
Trwałość zmęczeniowa 16 vs 22/31		43,301		-43,301		14,743		-14,743		63,227		-63,227		-11,347		11,347	

Tabela 51

	Grubość KTKNPP	Kruszywo dolomitowe															
		AC PMB 16 P/W	pssd	AC PMB 22 P/W	pssd	AC PMB WMS 16 P/W	pssd	AC PMB WMS 22 P/W	pssd	AC 16 P/W	pssd	AC 22 P/W	pssd	AC WMS 16 P/W	pssd	AC WMS 22 P/W	pssd
Warstwa wiążąca	8	7	2,448	7	2,468766	7	2,469	7	2,485	7	2,453	7	2,47518	7	2,47	7	2,47
Warstwa podbudowy	18	15	2,454	15	2,441366	15	2,469	13	2,485	14	2,434	14	2,45385	14	2,47	13	2,47
Cała konstrukcja	50	46		46		46		44		45		45		45		44	
Trwałość zmęczeniowa (w mln osi /100 kN/20 lat)	>52	83,441		63,716		116,438		56,765		64,215		55,614		88,946		66,071	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł)		14,27 zł		13,44 zł		15,06 zł		22,48 zł		17,19 zł		16,85 zł		18,86 zł		22,37 zł	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł) koszt	160,00 zł	15,70 zł		15,67 zł		15,80 zł		23,86 zł		19,50 zł		19,66 zł		19,79 zł		23,74 zł	
Grubość warstwy 16 vs 22/31 (w zł)		0,03 zł		-0,03 zł		-8,05 zł		8,05 zł		-0,16 zł		0,16 zł		-3,94 zł		3,94 zł	
Trwałość zmęczeniowa 16 vs 22/31		19,725		-19,725		59,673		-59,673		8,601		-8,601		22,875		-22,875	

Tabela 52

	Grubość KTKNPP	Wapień dewoński															
		AC PMB 16 P/W	pssd	AC PMB 22 P/W	pssd	AC PMB WMS 16 P/W	pssd	AC PMB WMS 22 P/W	pssd	AC 16 P/W	pssd	AC 22 P/W	pssd	AC WMS 16 P/W	pssd	AC WMS 22 P/W	pssd
Warstwa wiążąca	8	8	2,406	7	2,427229	8	2,496	7	2,428	7	2,406	7	2,42284	7	2,43	7	2,43
Warstwa podbudowy	18	14	2,381	14	2,424432	14	2,496	14	2,428	14	2,381	14	2,4225	14	2,43	14	2,43
Cała konstrukcja	50	46		45		46		45		45		45		45		45	
Trwałość zmęczeniowa (w mln osi /100 kN/20 lat)	>52	69,782		57,203		95,859		68,290		59,043		59,791		82,304		79,718	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł)		13,37 zł		16,68 zł		15,19 zł		18,01 zł		16,85 zł		16,67 zł		18,51 zł		18,01 zł	
Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł) koszt	160,00 zł	15,24 zł		19,40 zł		15,97 zł		19,42 zł		19,09 zł		19,38 zł		19,47 zł		19,43 zł	
Grubość warstwy 16 vs 22/31 (w zł)		-4,16 zł		4,16 zł		-3,45 zł		3,45 zł		-0,29 zł		0,29 zł		0,04 zł		-0,04 zł	
Trwałość zmęczeniowa 16 vs 22/31		12,579		-12,579		27,569		-27,569		-0,748		0,748		2,586		-2,586	

Powyższe porównanie wskazuje, że zaprojektowane mieszanki zarówno do 16 mm jak i powyżej 16 mm, spełniają wymagania projektowe wskazane w KTKNPP dla najwyższego obciążenia ruchem tj. KR7. Oznacza to, że mieszanka wykazuje trwałość zmęczeniową omówioną powyżej. Mma przygotowane w trakcie trwania Projektu pozwalają na spełnienie wymagań przy znacznym obniżeniu grubości konstrukcji. Na podstawie powyższych wyliczeń należy uznać, że wszystkie zaprojektowane w Projekcie mma dają możliwe duże oszczędności na grubości projektowanej konstrukcji. Zestawienie oszczędności wynikające z użycia mieszanek do 16 mm i do 22 mm przedstawiono poniżej w Tabeli 53 i Tabeli 54.

Średnie oszczędności z możliwości zmiany grubości warstwy wynoszą:

Tabela 53

Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł)		
	Średnie oszczędności mma do 16 mm w zł	Średnie oszczędności mma powyżej 16 mm w zł
Kruszywo polodowcowe łamane	18,07 zł	17,93 zł
Kruszywo Bazaltowe	19,61 zł	19,37 zł
Kruszywo melafirowe	15,76 zł	14,38 zł
Kruszywo dolomitowe	16,34 zł	18,78 zł
Wapień dewoński	15,98 zł	13,87 zł
Średnia	17,45 zł	17,62 zł

Tabela 54

Grubość warstwy KTKNPP vs Projekt (w zł) koszt		
	Średnie oszczędności mma do 16 mm w zł	Średnie oszczędności mma powyżej 16 mm w zł
Kruszywo polodowcowe łamane	18,88 zł	18,98 zł
Kruszywo Bazaltowe	20,75 zł	20,84 zł
Kruszywo melafirowe	16,22 zł	15,11 zł
Kruszywo dolomitowe	17,70 zł	20,73 zł
Wapień dewoński	17,44 zł	19,41 zł
	18,39 zł	18,92 zł

Zestawienie z Tabeli 53 i 54 wskazuje, że większe oszczędności wynikające z grubości konstrukcji osiąga się na mieszankach powyżej 16 mm. Przy założeniu, że można produkować ok 11 mln ton mma powyżej 16 mm, oszczędności z tytułu zmniejszenia grubości konstrukcji wyniosą $11 \text{ mln ton} \times 17,62 \text{ zł} = 193,82 \text{ mln złotych}$ w skali kraju. Oszczędność pomiędzy zastosowaniem obu rodzajów mma wyniesie ok. 0,53 zł (18,92 – 18,39 zł/t) czyli 5,83 mln złotych.

10. Wnioski

Na podstawie zaprezentowanej powyżej analizy finansowej, należy stwierdzić, iż korzyści z zastosowania mieszanek mineralno-asfaltowych gruboziarnistych powyżej 16 mm osiąga się na kilku etapach.

Pierwszą wymierną korzyść osiąga się u producenta kruszyw, który produkując kruszywo powyżej 16 mm obniża koszty produkcji tj.: produkuje mniej kruszyw odpadowych, kruszywa produkowane są mniej zapyłone, powstaje mniej wolnorotującego kruszywa drobnego, wzrasta efektywność kruszenia kruszyw. Ocena tych korzyści nie stanowiła przedmiotu Projektu.

Drugim etapem, generującym korzyści zarówno dla producenta jak i dla społeczeństwa, jest produkcja mieszanki mineralno asfaltowej. Użycie kruszyw grubych a tym samym wytworzenie mieszanek gruboziarnistych powyżej 16 mm (22 mm i 31,5 mm) generuje korzyści w kosztach produkcji. Korzyści te zostały wyliczone w projekcie. Oszczędność generowana na zakupie substratów (oszczędność w ilości asfaltu i zakupie kruszyw) wynosi 3,20 zł/t. Oznacza to ograniczenie kosztów produkcji dla pojedynczej WMB w wysokości ok. 320 000,00 przy założeniu produkcji na poziomie 70 000 ton rocznie (w Polsce działają zakłady produkujące nawet 200 – 250 tys ton mma rocznie). W skali kraju oszczędności mogą wynieść 35,2 mln złotych rocznie.

Z przedstawionej powyżej analizy finansowej wynika, że oszczędności wynikające ze zmiany krzywej przesiewu mma z 16 mm na 22 mm czy też na 31,5 mm, a tym samym zawartości asfaltu i innych parametrów mma przynoszą ok. 0,5 zł/t każdej wyprodukowanej tony mieszanki mineralno-asfaltowej. Może to spowodować oszczędności rzędu 5 mln złotych w skali kraju.

W analizie powyższej skupiono się na efektywności kosztowej nie zaś na cenie sprzedaży. Podmiot stosujący mma gruboziarniste odniesie korzyści finansowe wynikające z obniżenia kosztów produkcji lub/i obniżenia kosztów wykonania planowanych inwestycji.

Raporty wykorzystane w analizie finansowej do oceny kosztów wynikających ze zmiany konstrukcji dołączono do Raportu w postaci załączników.

Sporządził:

Zespół Eko Cinere:

Mgr inż. Łukasz Boryszko,

Dr inż. Piotr Ramiączek,

Mgr inż. Stanisław Styk

Mgr Marek Krajewski

Bibliografia:

1. **Wojciech Bańkowski** – „Charakterystyka właściwości i zastosowanie betonu asfaltowego o wysokim module sztywności w konstrukcjach nawierzchni drogowych.” Warszawa 2019 Instytut Badawczy Dróg i Mostów.
2. <https://www.nascon.pl/>
3. MWS Pavement Design – program do obliczeń trwałości zmęczeniowej nawierzchni drogowych.

Załączniki.

1. Załącznik 1 – raporty z obliczeń trwałości zmęczeniowej użyte do analizy finansowej

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-23

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



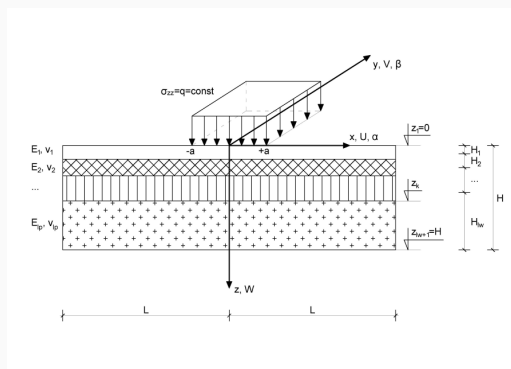
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(4) EC/D30/AC16W Zwir	12 416,00	0,30	0,08	11,50	4,20
(1) EC/D30/AC16P Zwir	12 581,00	0,30	0,18	10,80	4,90
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001586	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001564	0,0000000	0,0000000
(4) EC/D30/AC16W Zwir	strop	0,0001564	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001537	0,0000000	0,0000000
(1) EC/D30/AC16P Zwir	strop	0,0001537	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001484	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001484	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001351	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001351	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,8981835	0,0000000	-0,8981835
	spąg	-0,8250398	0,0000000	0,0000000	-0,6323074	0,0000000	-0,6323074
(4) EC/D30/AC16W Zwir	strop	-0,8250398	0,0000000	0,0000000	-0,8276398	0,0000000	-0,8276398
	spąg	-0,5509560	0,0000000	0,0000000	-0,1965012	0,0000000	-0,1965012
(1) EC/D30/AC16P Zwir	strop	-0,5509560	0,0000000	0,0000000	-0,1959746	0,0000000	-0,1959746
	spąg	-0,0280134	0,0000000	0,0000000	0,7247741	0,0000000	0,7247741
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0280134	0,0000000	0,0000000	0,0114194	0,0000000	0,0114194
	spąg	-0,0113149	0,0000000	0,0000000	0,0223154	0,0000000	0,0223154
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0113149	0,0000000	0,0000000	-0,0002418	0,0000000	-0,0002418
	spąg	-0,0024793	0,0000000	0,0000000	-0,0013350	0,0000000	-0,0013350

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000428	0,0000000	0,0000000	-0,0000511	0,0000000	-0,0000511
	spąg	-0,0000610	0,0000000	0,0000000	-0,0000267	0,0000000	-0,0000267
(4) EC/D30/AC16W Zwir	strop	-0,0000265	0,0000000	0,0000000	-0,0000267	0,0000000	-0,0000267
	spąg	-0,0000349	0,0000000	0,0000000	0,0000022	0,0000000	0,0000022
(1) EC/D30/AC16P Zwir	strop	-0,0000344	0,0000000	0,0000000	0,0000022	0,0000000	0,0000022
	spąg	-0,0000368	0,0000000	0,0000000	0,0000410	0,0000000	0,0000410
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0000872	0,0000000	0,0000000	0,0000410	0,0000000	0,0000410
	spąg	-0,0000618	0,0000000	0,0000000	0,0000475	0,0000000	0,0000475
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001393	0,0000000	0,0000000	0,0000475	0,0000000	0,0000475
	spąg	-0,0000193	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(14) EC/D30/WMS16PW Zwir	15 140,00	0,30	0,08	12,60	2,40
(13) EC/D30/WMS16P Zwir	13 686,00	0,30	0,18	12,60	2,50
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001518	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001496	0,0000000	0,0000000
(14) EC/D30/WMS16PW Zwir	strop	0,0001496	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001475	0,0000000	0,0000000
(13) EC/D30/WMS16P Zwir	strop	0,0001475	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001426	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001426	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001301	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001301	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,8552852	0,0000000	-0,8552852
	spąg	-0,8244187	0,0000000	0,0000000	-0,6213549	0,0000000	-0,6213549
(14) EC/D30/WMS16PW Zwir	strop	-0,8244187	0,0000000	0,0000000	-0,9092146	0,0000000	-0,9092146
	spąg	-0,5466368	0,0000000	0,0000000	-0,1776187	0,0000000	-0,1776187
(13) EC/D30/WMS16P Zwir	strop	-0,5466368	0,0000000	0,0000000	-0,1830596	0,0000000	-0,1830596
	spąg	-0,0260314	0,0000000	0,0000000	0,7357504	0,0000000	0,7357504
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0260314	0,0000000	0,0000000	0,0106735	0,0000000	0,0106735
	spąg	-0,0107073	0,0000000	0,0000000	0,0207720	0,0000000	0,0207720
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0107073	0,0000000	0,0000000	-0,0003031	0,0000000	-0,0003031
	spąg	-0,0024614	0,0000000	0,0000000	-0,0013254	0,0000000	-0,0013254

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000464	0,0000000	0,0000000	-0,0000470	0,0000000	-0,0000470
	spąg	-0,0000619	0,0000000	0,0000000	-0,0000257	0,0000000	-0,0000257
(14) EC/D30/WMS16PW Zwir	strop	-0,0000184	0,0000000	0,0000000	-0,0000257	0,0000000	-0,0000257
	spąg	-0,0000291	0,0000000	0,0000000	0,0000026	0,0000000	0,0000026
(13) EC/D30/WMS16P Zwir	strop	-0,0000319	0,0000000	0,0000000	0,0000026	0,0000000	0,0000026
	spąg	-0,0000342	0,0000000	0,0000000	0,0000382	0,0000000	0,0000382
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0000811	0,0000000	0,0000000	0,0000382	0,0000000	0,0000382
	spąg	-0,0000579	0,0000000	0,0000000	0,0000444	0,0000000	0,0000444
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001312	0,0000000	0,0000000	0,0000444	0,0000000	0,0000444
	spąg	-0,0000192	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 267 258 322 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 261 710 527 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

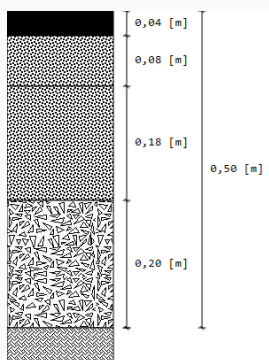
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 1 623 004 583 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 342 724 067 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

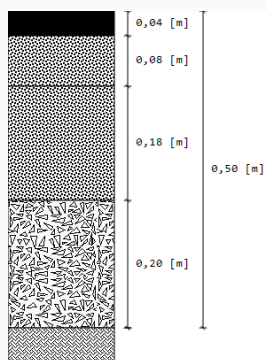
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ściernala z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (4) EC/D30/AC16W Zwir
- (1) EC/D30/AC16P Zwir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

261 710 527 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ściernala z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (14) EC/D30/WMS16PW Zwir
- (13) EC/D30/WMS16P Zwir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

342 724 067 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



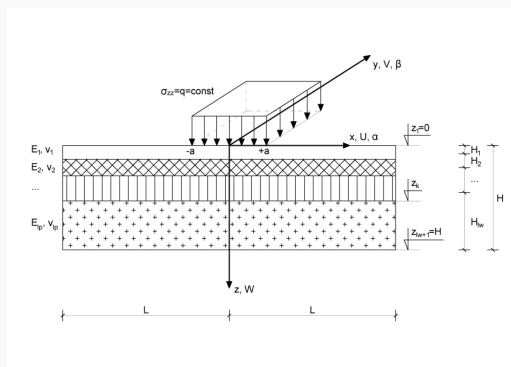
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(65) EC/PMB/AC16W Bazalt	13 087,00	0,30	0,07	11,70	4,60
(62) EC/PMB/AC16P	12 622,00	0,30	0,15	10,60	4,70
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001852	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001834	0,0000000	0,0000000
(65) EC/PMB/AC16W Bazalt	strop	0,0001834	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001814	0,0000000	0,0000000
(62) EC/PMB/AC16P	strop	0,0001814	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001762	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001762	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001590	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001590	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0023915	0,0000000	-1,0023915
	spąg	-0,8193542	0,0000000	0,0000000	-0,6943916	0,0000000	-0,6943916
(65) EC/PMB/AC16W Bazalt	strop	-0,8193542	0,0000000	0,0000000	-0,9664915	0,0000000	-0,9664915
	spąg	-0,5587414	0,0000000	0,0000000	-0,2169434	0,0000000	-0,2169434
(62) EC/PMB/AC16P	strop	-0,5587414	0,0000000	0,0000000	-0,2177434	0,0000000	-0,2177434
	spąg	-0,0375476	0,0000000	0,0000000	0,9200777	0,0000000	0,9200777
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0375476	0,0000000	0,0000000	0,0135760	0,0000000	0,0135760
	spąg	-0,0142620	0,0000000	0,0000000	0,0289758	0,0000000	0,0289758
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0142620	0,0000000	0,0000000	-0,0001221	0,0000000	-0,0001221
	spąg	-0,0025691	0,0000000	0,0000000	-0,0013834	0,0000000	-0,0013834

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000343	0,0000000	0,0000000	-0,0000611	0,0000000	-0,0000611
	spąg	-0,0000552	0,0000000	0,0000000	-0,0000329	0,0000000	-0,0000329
(65) EC/PMB/AC16W Bazalt	strop	-0,0000183	0,0000000	0,0000000	-0,0000329	0,0000000	-0,0000329
	spąg	-0,0000327	0,0000000	0,0000000	0,0000012	0,0000000	0,0000012
(62) EC/PMB/AC16P	strop	-0,0000339	0,0000000	0,0000000	0,0000012	0,0000000	0,0000012
	spąg	-0,0000467	0,0000000	0,0000000	0,0000519	0,0000000	0,0000519
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001142	0,0000000	0,0000000	0,0000519	0,0000000	0,0000519
	spąg	-0,0000791	0,0000000	0,0000000	0,0000614	0,0000000	0,0000614
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001772	0,0000000	0,0000000	0,0000614	0,0000000	0,0000614
	spąg	-0,0000200	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona ν	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
(69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt	15 111,00	0,30	0,07	12,60	2,90
(69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt	15 111,00	0,30	0,14	12,60	2,90
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001840	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001822	0,0000000	0,0000000
(69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt	strop	0,0001822	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001806	0,0000000	0,0000000
(69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt	strop	0,0001806	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001763	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001763	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001595	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001595	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9763181	0,0000000	-0,9763181
	spąg	-0,8200571	0,0000000	0,0000000	-0,6942280	0,0000000	-0,6942280
(69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt	strop	-0,8200571	0,0000000	0,0000000	-1,0609973	0,0000000	-1,0609973
	spąg	-0,5542098	0,0000000	0,0000000	-0,2384214	0,0000000	-0,2384214
(69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt	strop	-0,5542098	0,0000000	0,0000000	-0,2384214	0,0000000	-0,2384214
	spąg	-0,0368350	0,0000000	0,0000000	1,0499120	0,0000000	1,0499120
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0368350	0,0000000	0,0000000	0,0124234	0,0000000	0,0124234
	spąg	-0,0142362	0,0000000	0,0000000	0,0282793	0,0000000	0,0282793
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0142362	0,0000000	0,0000000	-0,0002606	0,0000000	-0,0002606
	spąg	-0,0025755	0,0000000	0,0000000	-0,0013868	0,0000000	-0,0013868

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000364	0,0000000	0,0000000	-0,0000586	0,0000000	-0,0000586
	spąg	-0,0000553	0,0000000	0,0000000	-0,0000329	0,0000000	-0,0000329
(69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt	strop	-0,0000121	0,0000000	0,0000000	-0,0000329	0,0000000	-0,0000329
	spąg	-0,0000272	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
(69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt	strop	-0,0000272	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
	spąg	-0,0000441	0,0000000	0,0000000	0,0000494	0,0000000	0,0000494
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001107	0,0000000	0,0000000	0,0000494	0,0000000	0,0000494
	spąg	-0,0000780	0,0000000	0,0000000	0,0000602	0,0000000	0,0000602
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001757	0,0000000	0,0000000	0,0000602	0,0000000	0,0000602
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 111 754 006 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 88 996 569 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

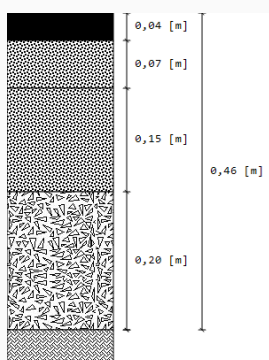
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 414 351 864 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 92 534 483 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



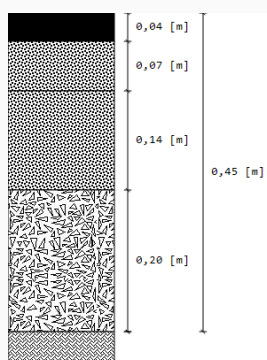
Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (65) EC/PMB/AC16W Bazalt
- (62) EC/PMB/AC16P
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

88 996 569 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt
- (69) EC/PMB/WMS16PW Bazalt
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

92 534 483 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-24

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



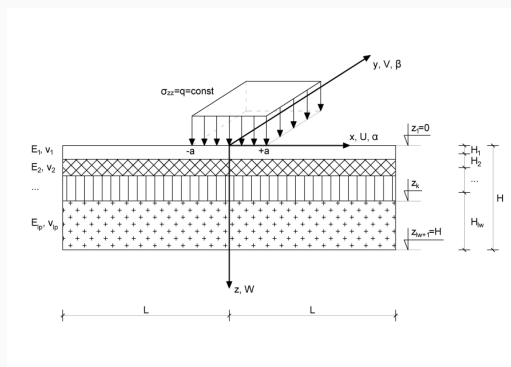
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(74) EC/PMB/AC22W Bazalt	11 607,00	0,30	0,07	11,00	4,60
(71) EC/PMB/AC22P Bazalt	11 261,00	0,30	0,15	10,20	5,40
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001919	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001901	0,0000000	0,0000000
(74) EC/PMB/AC22W Bazalt	strop	0,0001901	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001878	0,0000000	0,0000000
(71) EC/PMB/AC22P Bazalt	strop	0,0001878	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001821	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001821	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001638	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001638	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0460960	0,0000000	-1,0460960
	spąg	-0,8181483	0,0000000	0,0000000	-0,7055819	0,0000000	-0,7055819
(74) EC/PMB/AC22W Bazalt	strop	-0,8181483	0,0000000	0,0000000	-0,9150006	0,0000000	-0,9150006
	spąg	-0,5554841	0,0000000	0,0000000	-0,2017486	0,0000000	-0,2017486
(71) EC/PMB/AC22P Bazalt	strop	-0,5554841	0,0000000	0,0000000	-0,2028312	0,0000000	-0,2028312
	spąg	-0,0402073	0,0000000	0,0000000	0,8822768	0,0000000	0,8822768
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0402073	0,0000000	0,0000000	0,0147196	0,0000000	0,0147196
	spąg	-0,0149343	0,0000000	0,0000000	0,0309000	0,0000000	0,0309000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0149343	0,0000000	0,0000000	-0,0000076	0,0000000	-0,0000076
	spąg	-0,0025829	0,0000000	0,0000000	-0,0013908	0,0000000	-0,0013908

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000307	0,0000000	0,0000000	-0,0000653	0,0000000	-0,0000653
	spąg	-0,0000541	0,0000000	0,0000000	-0,0000340	0,0000000	-0,0000340
(74) EC/PMB/AC22W Bazalt	strop	-0,0000232	0,0000000	0,0000000	-0,0000340	0,0000000	-0,0000340
	spąg	-0,0000374	0,0000000	0,0000000	0,0000022	0,0000000	0,0000022
(71) EC/PMB/AC22P Bazalt	strop	-0,0000385	0,0000000	0,0000000	0,0000022	0,0000000	0,0000022
	spąg	-0,0000506	0,0000000	0,0000000	0,0000559	0,0000000	0,0000559
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001226	0,0000000	0,0000000	0,0000559	0,0000000	0,0000559
	spąg	-0,0000837	0,0000000	0,0000000	0,0000653	0,0000000	0,0000653
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001866	0,0000000	0,0000000	0,0000653	0,0000000	0,0000653
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(79) EC/PMB/WMS16PW	15 882,00	0,30	0,07	12,50	3,10
(78) EC/PMB/WMS16P Bazalt	13 914,00	0,30	0,14	12,50	3,00
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001859	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001841	0,0000000	0,0000000
(79) EC/PMB/WMS16PW	strop	0,0001841	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001826	0,0000000	0,0000000
(78) EC/PMB/WMS16P Bazalt	strop	0,0001826	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001780	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001780	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001607	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001607	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9869117	0,0000000	-0,9869117
	spąg	-0,8176755	0,0000000	0,0000000	-0,6974915	0,0000000	-0,6974915
(79) EC/PMB/WMS16PW	strop	-0,8176755	0,0000000	0,0000000	-1,1054999	0,0000000	-1,1054999
	spąg	-0,5444700	0,0000000	0,0000000	-0,1881060	0,0000000	-0,1881060
(78) EC/PMB/WMS16P Bazalt	strop	-0,5444700	0,0000000	0,0000000	-0,1937116	0,0000000	-0,1937116
	spąg	-0,0378053	0,0000000	0,0000000	1,0072514	0,0000000	1,0072514
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0378053	0,0000000	0,0000000	0,0132200	0,0000000	0,0132200
	spąg	-0,0144292	0,0000000	0,0000000	0,0290783	0,0000000	0,0290783
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0144292	0,0000000	0,0000000	-0,0001746	0,0000000	-0,0001746
	spąg	-0,0025773	0,0000000	0,0000000	-0,0013878	0,0000000	-0,0013878

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000355	0,0000000	0,0000000	-0,0000596	0,0000000	-0,0000596
	spąg	-0,0000547	0,0000000	0,0000000	-0,0000333	0,0000000	-0,0000333
(79) EC/PMB/WMS16PW	strop	-0,0000097	0,0000000	0,0000000	-0,0000333	0,0000000	-0,0000333
	spąg	-0,0000272	0,0000000	0,0000000	0,0000020	0,0000000	0,0000020
(78) EC/PMB/WMS16P Bazalt	strop	-0,0000308	0,0000000	0,0000000	0,0000020	0,0000000	0,0000020
	spąg	-0,0000462	0,0000000	0,0000000	0,0000515	0,0000000	0,0000515
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001143	0,0000000	0,0000000	0,0000515	0,0000000	0,0000515
	spąg	-0,0000797	0,0000000	0,0000000	0,0000617	0,0000000	0,0000617
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001788	0,0000000	0,0000000	0,0000617	0,0000000	0,0000617
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 62 514 236 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 70 574 833 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

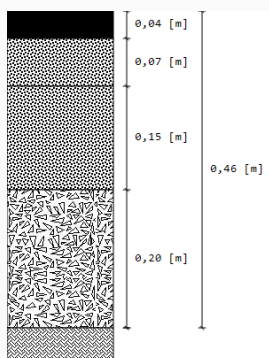
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 362 981 225 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 85 415 134 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

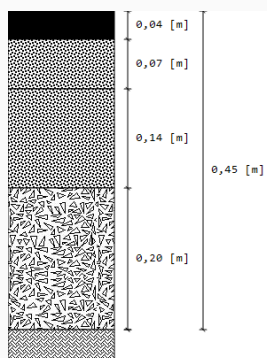
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (74) EC/PMB/AC22W Bazalt
- (71) EC/PMB/AC22P Bazalt
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

62 514 236 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (79) EC/PMB/WMS16PW
- (78) EC/PMB/WMS16P Bazalt
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

85 415 134 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-25

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



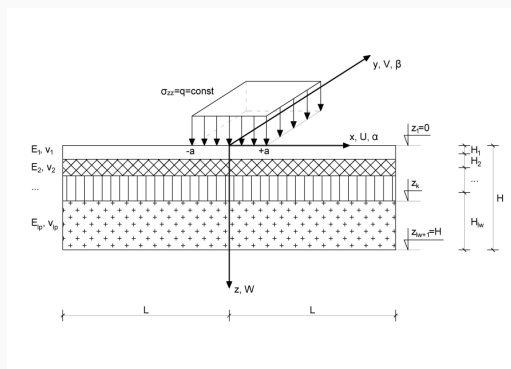
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(66) EC/D30/AC16W Bazalt	13 425,00	0,30	0,07	11,80	4,30
(63) EC/D30/AC16P Bazalt	13 263,00	0,30	0,14	10,60	5,40
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001912	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001895	0,0000000	0,0000000
(66) EC/D30/AC16W Bazalt	strop	0,0001895	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001876	0,0000000	0,0000000
(63) EC/D30/AC16P Bazalt	strop	0,0001876	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001828	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001828	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001648	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001648	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0226446	0,0000000	-1,0226446
	spąg	-0,8184164	0,0000000	0,0000000	-0,7088138	0,0000000	-0,7088138
(66) EC/D30/AC16W Bazalt	strop	-0,8184164	0,0000000	0,0000000	-1,0092442	0,0000000	-1,0092442
	spąg	-0,5496701	0,0000000	0,0000000	-0,2157475	0,0000000	-0,2157475
(63) EC/D30/AC16P Bazalt	strop	-0,5496701	0,0000000	0,0000000	-0,2159867	0,0000000	-0,2159867
	spąg	-0,0397342	0,0000000	0,0000000	1,0008015	0,0000000	1,0008015
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0397342	0,0000000	0,0000000	0,0136679	0,0000000	0,0136679
	spąg	-0,0149762	0,0000000	0,0000000	0,0303899	0,0000000	0,0303899
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0149762	0,0000000	0,0000000	-0,0001362	0,0000000	-0,0001362
	spąg	-0,0025908	0,0000000	0,0000000	-0,0013950	0,0000000	-0,0013950

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000326	0,0000000	0,0000000	-0,0000631	0,0000000	-0,0000631
	spąg	-0,0000539	0,0000000	0,0000000	-0,0000343	0,0000000	-0,0000343
(66) EC/D30/AC16W Bazalt	strop	-0,0000159	0,0000000	0,0000000	-0,0000343	0,0000000	-0,0000343
	spąg	-0,0000313	0,0000000	0,0000000	0,0000010	0,0000000	0,0000010
(63) EC/D30/AC16P Bazalt	strop	-0,0000317	0,0000000	0,0000000	0,0000010	0,0000000	0,0000010
	spąg	-0,0000483	0,0000000	0,0000000	0,0000537	0,0000000	0,0000537
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001198	0,0000000	0,0000000	0,0000537	0,0000000	0,0000537
	spąg	-0,0000830	0,0000000	0,0000000	0,0000644	0,0000000	0,0000644
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001860	0,0000000	0,0000000	0,0000644	0,0000000	0,0000644
	spąg	-0,0000202	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(68) EC/D30/WMS16PW Bazalt	16 309,00	0,30	0,07	12,60	2,90
(68) EC/D30/WMS16PW Bazalt	16 309,00	0,30	0,13	12,60	2,90
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001886	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001867	0,0000000	0,0000000
(68) EC/D30/WMS16PW Bazalt	strop	0,0001867	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001854	0,0000000	0,0000000
(68) EC/D30/WMS16PW Bazalt	strop	0,0001854	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001815	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001815	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001641	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001641	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9860097	0,0000000	-0,9860097
	spąg	-0,8189749	0,0000000	0,0000000	-0,7046891	0,0000000	-0,7046891
(68) EC/D30/WMS16PW Bazalt	strop	-0,8189749	0,0000000	0,0000000	-1,1411934	0,0000000	-1,1411934
	spąg	-0,5424758	0,0000000	0,0000000	-0,2305359	0,0000000	-0,2305359
(68) EC/D30/WMS16PW Bazalt	strop	-0,5424758	0,0000000	0,0000000	-0,2305359	0,0000000	-0,2305359
	spąg	-0,0383551	0,0000000	0,0000000	1,1530341	0,0000000	1,1530341
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0383551	0,0000000	0,0000000	0,0122450	0,0000000	0,0122450
	spąg	-0,0147911	0,0000000	0,0000000	0,0292483	0,0000000	0,0292483
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0147911	0,0000000	0,0000000	-0,0002995	0,0000000	-0,0002995
	spąg	-0,0025938	0,0000000	0,0000000	-0,0013966	0,0000000	-0,0013966

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000356	0,0000000	0,0000000	-0,0000596	0,0000000	-0,0000596
	spąg	-0,0000543	0,0000000	0,0000000	-0,0000339	0,0000000	-0,0000339
(68) EC/D30/WMS16PW Bazalt	strop	-0,0000082	0,0000000	0,0000000	-0,0000339	0,0000000	-0,0000339
	spąg	-0,0000248	0,0000000	0,0000000	0,0000001	0,0000000	0,0000001
(68) EC/D30/WMS16PW Bazalt	strop	-0,0000248	0,0000000	0,0000000	0,0000001	0,0000000	0,0000001
	spąg	-0,0000448	0,0000000	0,0000000	0,0000502	0,0000000	0,0000502
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001143	0,0000000	0,0000000	0,0000502	0,0000000	0,0000502
	spąg	-0,0000809	0,0000000	0,0000000	0,0000623	0,0000000	0,0000623
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001823	0,0000000	0,0000000	0,0000623	0,0000000	0,0000623
	spąg	-0,0000202	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 65 626 905 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 71 603 135 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

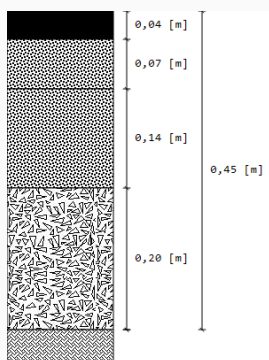
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 353 338 310 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 78 436 189 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

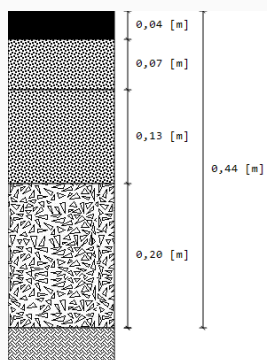
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z masyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (66) EC/D30/AC16W Bazalt
- (63) EC/D30/AC16P Bazalt
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

65 626 905 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z masyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (68) EC/D30/WMS16PW Bazalt
- (68) EC/D30/WMS16PW Bazalt
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

78 436 189 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-24

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



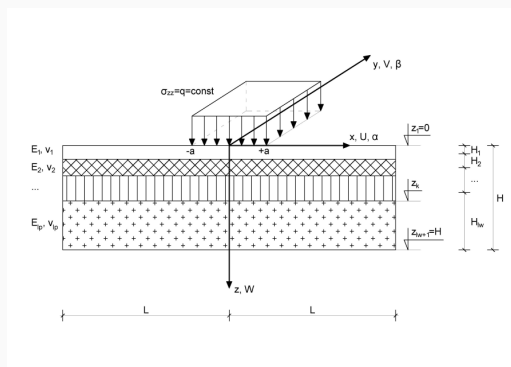
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(75) EC/D30/AC22W Bazalt	13 242,00	0,30	0,07	11,00	4,40
(72) EC/D30/AC22P Bazalt	13 102,00	0,30	0,14	10,20	5,30
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001920	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001902	0,0000000	0,0000000
(75) EC/D30/AC22W Bazalt	strop	0,0001902	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001883	0,0000000	0,0000000
(72) EC/D30/AC22P Bazalt	strop	0,0001883	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001835	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001835	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001653	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001653	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0274521	0,0000000	-1,0274521
	spąg	-0,8182925	0,0000000	0,0000000	-0,7101982	0,0000000	-0,7101982
(75) EC/D30/AC22W Bazalt	strop	-0,8182925	0,0000000	0,0000000	-1,0028225	0,0000000	-1,0028225
	spąg	-0,5493862	0,0000000	0,0000000	-0,2143324	0,0000000	-0,2143324
(72) EC/D30/AC22P Bazalt	strop	-0,5493862	0,0000000	0,0000000	-0,2145557	0,0000000	-0,2145557
	spąg	-0,0400325	0,0000000	0,0000000	0,9964463	0,0000000	0,9964463
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0400325	0,0000000	0,0000000	0,0137882	0,0000000	0,0137882
	spąg	-0,0150520	0,0000000	0,0000000	0,0306028	0,0000000	0,0306028
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0150520	0,0000000	0,0000000	-0,0001242	0,0000000	-0,0001242
	spąg	-0,0025924	0,0000000	0,0000000	-0,0013959	0,0000000	-0,0013959

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000322	0,0000000	0,0000000	-0,0000635	0,0000000	-0,0000635
	spąg	-0,0000537	0,0000000	0,0000000	-0,0000345	0,0000000	-0,0000345
(75) EC/D30/AC22W Bazalt	strop	-0,0000164	0,0000000	0,0000000	-0,0000345	0,0000000	-0,0000345
	spąg	-0,0000318	0,0000000	0,0000000	0,0000011	0,0000000	0,0000011
(72) EC/D30/AC22P Bazalt	strop	-0,0000321	0,0000000	0,0000000	0,0000011	0,0000000	0,0000011
	spąg	-0,0000487	0,0000000	0,0000000	0,0000542	0,0000000	0,0000542
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001208	0,0000000	0,0000000	0,0000542	0,0000000	0,0000542
	spąg	-0,0000835	0,0000000	0,0000000	0,0000648	0,0000000	0,0000648
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001871	0,0000000	0,0000000	0,0000648	0,0000000	0,0000648
	spąg	-0,0000202	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(77) EC/D30/WMS22PW Bazalt	16 445,00	0,30	0,07	12,40	3,30
(77) EC/D30/WMS22PW Bazalt	16 445,00	0,30	0,13	12,40	3,30
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001881	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001862	0,0000000	0,0000000
(77) EC/D30/WMS22PW Bazalt	strop	0,0001862	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001849	0,0000000	0,0000000
(77) EC/D30/WMS22PW Bazalt	strop	0,0001849	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001810	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001810	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001637	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001637	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9829712	0,0000000	-0,9829712
	spąg	-0,8190753	0,0000000	0,0000000	-0,7035961	0,0000000	-0,7035961
(77) EC/D30/WMS22PW Bazalt	strop	-0,8190753	0,0000000	0,0000000	-1,1452668	0,0000000	-1,1452668
	spąg	-0,5427082	0,0000000	0,0000000	-0,2317870	0,0000000	-0,2317870
(77) EC/D30/WMS22PW Bazalt	strop	-0,5427082	0,0000000	0,0000000	-0,2317870	0,0000000	-0,2317870
	spąg	-0,0381640	0,0000000	0,0000000	1,1563820	0,0000000	1,1563820
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0381640	0,0000000	0,0000000	0,0121691	0,0000000	0,0121691
	spąg	-0,0147412	0,0000000	0,0000000	0,0291100	0,0000000	0,0291100
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0147412	0,0000000	0,0000000	-0,0003070	0,0000000	-0,0003070
	spąg	-0,0025927	0,0000000	0,0000000	-0,0013961	0,0000000	-0,0013961

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000359	0,0000000	0,0000000	-0,0000593	0,0000000	-0,0000593
	spąg	-0,0000544	0,0000000	0,0000000	-0,0000338	0,0000000	-0,0000338
(77) EC/D30/WMS22PW Bazalt	strop	-0,0000080	0,0000000	0,0000000	-0,0000338	0,0000000	-0,0000338
	spąg	-0,0000245	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
(77) EC/D30/WMS22PW Bazalt	strop	-0,0000245	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
	spąg	-0,0000445	0,0000000	0,0000000	0,0000499	0,0000000	0,0000499
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001137	0,0000000	0,0000000	0,0000499	0,0000000	0,0000499
	spąg	-0,0000805	0,0000000	0,0000000	0,0000620	0,0000000	0,0000620
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001816	0,0000000	0,0000000	0,0000620	0,0000000	0,0000620
	spąg	-0,0000202	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 61 461 033 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 69 813 836 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

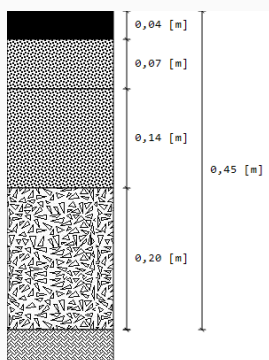
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 276 219 391 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 79 780 739 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



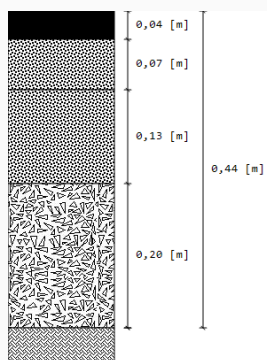
Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z masyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (75) EC/D30/AC22W Bazalt
- (72) EC/D30/AC22P Bazalt
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

61 461 033 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z masyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (77) EC/D30/WMS22PW Bazalt
- (77) EC/D30/WMS22PW Bazalt
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

79 780 739 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



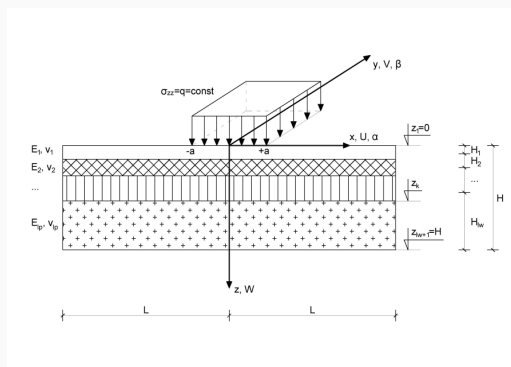
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(46) EC/PMB/AC16W Dolomit	12 356,00	0,30	0,07	11,50	4,40
(43) EC/PMB/AC16P Dolomit	12 371,00	0,30	0,15	10,60	4,50
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001871	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001853	0,0000000	0,0000000
(46) EC/PMB/AC16W Dolomit	strop	0,0001853	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001832	0,0000000	0,0000000
(43) EC/PMB/AC16P Dolomit	strop	0,0001832	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001780	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001780	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001605	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001605	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0150936	0,0000000	-1,0150936
	spąg	-0,8196277	0,0000000	0,0000000	-0,6975576	0,0000000	-0,6975576
(46) EC/PMB/AC16W Dolomit	strop	-0,8196277	0,0000000	0,0000000	-0,9373979	0,0000000	-0,9373979
	spąg	-0,5601726	0,0000000	0,0000000	-0,2232109	0,0000000	-0,2232109
(43) EC/PMB/AC16P Dolomit	strop	-0,5601726	0,0000000	0,0000000	-0,2231905	0,0000000	-0,2231905
	spąg	-0,0382413	0,0000000	0,0000000	0,9164191	0,0000000	0,9164191
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0382413	0,0000000	0,0000000	0,0137720	0,0000000	0,0137720
	spąg	-0,0144549	0,0000000	0,0000000	0,0294567	0,0000000	0,0294567
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0144549	0,0000000	0,0000000	-0,0001046	0,0000000	-0,0001046
	spąg	-0,0025738	0,0000000	0,0000000	-0,0013859	0,0000000	-0,0013859

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000332	0,0000000	0,0000000	-0,0000623	0,0000000	-0,0000623
	spąg	-0,0000549	0,0000000	0,0000000	-0,0000332	0,0000000	-0,0000332
(46) EC/PMB/AC16W Dolomit	strop	-0,0000208	0,0000000	0,0000000	-0,0000332	0,0000000	-0,0000332
	spąg	-0,0000345	0,0000000	0,0000000	0,0000010	0,0000000	0,0000010
(43) EC/PMB/AC16P Dolomit	strop	-0,0000345	0,0000000	0,0000000	0,0000010	0,0000000	0,0000010
	spąg	-0,0000475	0,0000000	0,0000000	0,0000528	0,0000000	0,0000528
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001163	0,0000000	0,0000000	0,0000528	0,0000000	0,0000528
	spąg	-0,0000803	0,0000000	0,0000000	0,0000624	0,0000000	0,0000624
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001798	0,0000000	0,0000000	0,0000624	0,0000000	0,0000624
	spąg	-0,0000200	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit	14 546,00	0,30	0,07	12,70	2,90
(50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit	14 546,00	0,30	0,15	12,70	2,90
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001779	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001760	0,0000000	0,0000000
(50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit	strop	0,0001760	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001743	0,0000000	0,0000000
(50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit	strop	0,0001743	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001697	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001697	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001537	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001537	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9558181	0,0000000	-0,9558181
	spąg	-0,8213567	0,0000000	0,0000000	-0,6800286	0,0000000	-0,6800286
(50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit	strop	-0,8213567	0,0000000	0,0000000	-1,0056207	0,0000000	-1,0056207
	spąg	-0,5650866	0,0000000	0,0000000	-0,2467964	0,0000000	-0,2467964
(50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit	strop	-0,5650866	0,0000000	0,0000000	-0,2467964	0,0000000	-0,2467964
	spąg	-0,0346894	0,0000000	0,0000000	0,9708249	0,0000000	0,9708249
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0346894	0,0000000	0,0000000	0,0122386	0,0000000	0,0122386
	spąg	-0,0135310	0,0000000	0,0000000	0,0268399	0,0000000	0,0268399
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0135310	0,0000000	0,0000000	-0,0002560	0,0000000	-0,0002560
	spąg	-0,0025538	0,0000000	0,0000000	-0,0013751	0,0000000	-0,0013751

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000381	0,0000000	0,0000000	-0,0000567	0,0000000	-0,0000567
	spąg	-0,0000566	0,0000000	0,0000000	-0,0000315	0,0000000	-0,0000315
(50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit	strop	-0,0000150	0,0000000	0,0000000	-0,0000315	0,0000000	-0,0000315
	spąg	-0,0000287	0,0000000	0,0000000	-0,0000002	0,0000000	-0,0000002
(50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit	strop	-0,0000287	0,0000000	0,0000000	-0,0000002	0,0000000	-0,0000002
	spąg	-0,0000424	0,0000000	0,0000000	0,0000474	0,0000000	0,0000474
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001051	0,0000000	0,0000000	0,0000474	0,0000000	0,0000474
	spąg	-0,0000741	0,0000000	0,0000000	0,0000571	0,0000000	0,0000571
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001669	0,0000000	0,0000000	0,0000571	0,0000000	0,0000571
	spąg	-0,0000199	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 119 006 306 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 83 441 760 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

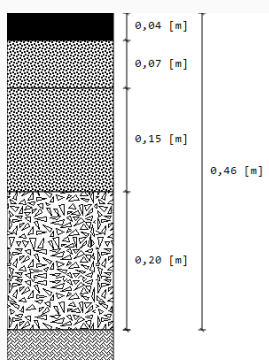
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 514 410 493 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 116 438 217 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

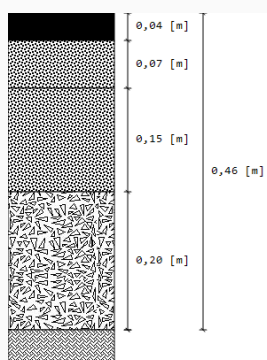
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (46) EC/PMB/AC16W Dolomit
- (43) EC/PMB/AC16P Dolomit
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

83 441 760 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit
- (50) EC/PMB/WMS16PW Dolomit
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

116 438 217 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



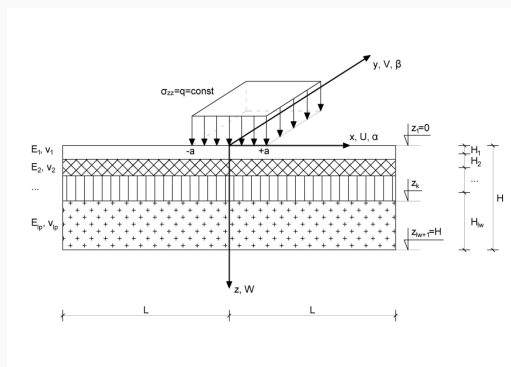
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(56) EC/PMB/AC22W Dolomit	11 537,00	0,30	0,07	10,60	4,20
(53) EC/PMB/AC22P Dolomit	11 247,00	0,30	0,15	10,10	5,30
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001921	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001903	0,0000000	0,0000000
(56) EC/PMB/AC22W Dolomit	strop	0,0001903	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001879	0,0000000	0,0000000
(53) EC/PMB/AC22P Dolomit	strop	0,0001879	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001823	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001823	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001639	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001639	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0472437	0,0000000	-1,0472437
	spąg	-0,8182035	0,0000000	0,0000000	-0,7057862	0,0000000	-0,7057862
(56) EC/PMB/AC22W Dolomit	strop	-0,8182035	0,0000000	0,0000000	-0,9119062	0,0000000	-0,9119062
	spąg	-0,5557119	0,0000000	0,0000000	-0,2027737	0,0000000	-0,2027737
(53) EC/PMB/AC22P Dolomit	strop	-0,5557119	0,0000000	0,0000000	-0,2036633	0,0000000	-0,2036633
	spąg	-0,0402686	0,0000000	0,0000000	0,8822270	0,0000000	0,8822270
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0402686	0,0000000	0,0000000	0,0147322	0,0000000	0,0147322
	spąg	-0,0149515	0,0000000	0,0000000	0,0309404	0,0000000	0,0309404
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0149515	0,0000000	0,0000000	-0,0000066	0,0000000	-0,0000066
	spąg	-0,0025833	0,0000000	0,0000000	-0,0013910	0,0000000	-0,0013910

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000306	0,0000000	0,0000000	-0,0000654	0,0000000	-0,0000654
	spąg	-0,0000541	0,0000000	0,0000000	-0,0000341	0,0000000	-0,0000341
(56) EC/PMB/AC22W Dolomit	strop	-0,0000235	0,0000000	0,0000000	-0,0000341	0,0000000	-0,0000341
	spąg	-0,0000376	0,0000000	0,0000000	0,0000021	0,0000000	0,0000021
(53) EC/PMB/AC22P Dolomit	strop	-0,0000385	0,0000000	0,0000000	0,0000021	0,0000000	0,0000021
	spąg	-0,0000506	0,0000000	0,0000000	0,0000560	0,0000000	0,0000560
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001228	0,0000000	0,0000000	0,0000560	0,0000000	0,0000560
	spąg	-0,0000838	0,0000000	0,0000000	0,0000654	0,0000000	0,0000654
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001868	0,0000000	0,0000000	0,0000654	0,0000000	0,0000654
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit	14 407,00	0,30	0,07	12,50	2,20
(59) EC/PMB/WMS22P	13 616,00	0,30	0,13	12,50	2,20
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001978	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001960	0,0000000	0,0000000
(60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit	strop	0,0001960	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001944	0,0000000	0,0000000
(59) EC/PMB/WMS22P	strop	0,0001944	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001899	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001899	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001708	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001708	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0446403	0,0000000	-1,0446403
	spąg	-0,8161513	0,0000000	0,0000000	-0,7239769	0,0000000	-0,7239769
(60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit	strop	-0,8161513	0,0000000	0,0000000	-1,0882815	0,0000000	-1,0882815
	spąg	-0,5342377	0,0000000	0,0000000	-0,1867483	0,0000000	-0,1867483
(59) EC/PMB/WMS22P	strop	-0,5342377	0,0000000	0,0000000	-0,1890659	0,0000000	-0,1890659
	spąg	-0,0422559	0,0000000	0,0000000	1,0747048	0,0000000	1,0747048
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0422559	0,0000000	0,0000000	0,0139942	0,0000000	0,0139942
	spąg	-0,0157569	0,0000000	0,0000000	0,0320747	0,0000000	0,0320747
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0157569	0,0000000	0,0000000	-0,0001216	0,0000000	-0,0001216
	spąg	-0,0026123	0,0000000	0,0000000	-0,0014066	0,0000000	-0,0014066

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000308	0,0000000	0,0000000	-0,0000652	0,0000000	-0,0000652
	spąg	-0,0000523	0,0000000	0,0000000	-0,0000359	0,0000000	-0,0000359
(60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit	strop	-0,0000113	0,0000000	0,0000000	-0,0000359	0,0000000	-0,0000359
	spąg	-0,0000293	0,0000000	0,0000000	0,0000021	0,0000000	0,0000021
(59) EC/PMB/WMS22P	strop	-0,0000309	0,0000000	0,0000000	0,0000021	0,0000000	0,0000021
	spąg	-0,0000505	0,0000000	0,0000000	0,0000562	0,0000000	0,0000562
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001266	0,0000000	0,0000000	0,0000562	0,0000000	0,0000562
	spąg	-0,0000875	0,0000000	0,0000000	0,0000679	0,0000000	0,0000679
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001959	0,0000000	0,0000000	0,0000679	0,0000000	0,0000679
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 63 716 585 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 70 196 443 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

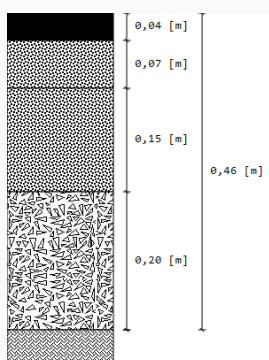
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 433 047 665 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 56 765 388 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

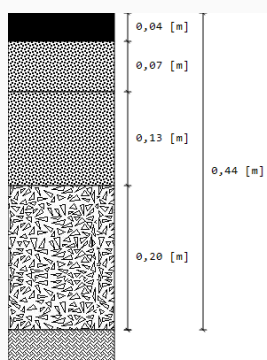
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (56) EC/PMB/AC22W Dolomit
- (53) EC/PMB/AC22P Dolomit
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

63 716 585 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit
- (59) EC/PMB/WMS22P
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

56 765 388 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



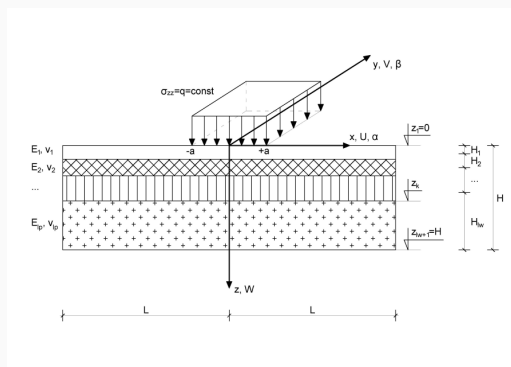
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(48) EC/D50/I6W Dolomit	11 119,00	0,30	0,07	11,50	4,20
(44) EC/D30/AC16P Dolomit	13 399,00	0,30	0,14	10,50	5,00
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001950	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001932	0,0000000	0,0000000
(48) EC/D50/I6W Dolomit	strop	0,0001932	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001908	0,0000000	0,0000000
(44) EC/D30/AC16P Dolomit	strop	0,0001908	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001861	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001861	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001677	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001677	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0480394	0,0000000	-1,0480394
	spąg	-0,8211593	0,0000000	0,0000000	-0,7140491	0,0000000	-0,7140491
(48) EC/D50/I6W Dolomit	strop	-0,8211593	0,0000000	0,0000000	-0,9034943	0,0000000	-0,9034943
	spąg	-0,5607853	0,0000000	0,0000000	-0,2626723	0,0000000	-0,2626723
(44) EC/D30/AC16P Dolomit	strop	-0,5607853	0,0000000	0,0000000	-0,2672523	0,0000000	-0,2672523
	spąg	-0,0408953	0,0000000	0,0000000	1,0230237	0,0000000	1,0230237
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0408953	0,0000000	0,0000000	0,0135370	0,0000000	0,0135370
	spąg	-0,0153546	0,0000000	0,0000000	0,0310770	0,0000000	0,0310770
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0153546	0,0000000	0,0000000	-0,0001570	0,0000000	-0,0001570
	spąg	-0,0026017	0,0000000	0,0000000	-0,0014009	0,0000000	-0,0014009

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000305	0,0000000	0,0000000	-0,0000655	0,0000000	-0,0000655
	spąg	-0,0000538	0,0000000	0,0000000	-0,0000347	0,0000000	-0,0000347
(48) EC/D50/I6W Dolomit	strop	-0,0000251	0,0000000	0,0000000	-0,0000347	0,0000000	-0,0000347
	spąg	-0,0000363	0,0000000	0,0000000	-0,0000014	0,0000000	-0,0000014
(44) EC/D30/AC16P Dolomit	strop	-0,0000299	0,0000000	0,0000000	-0,0000014	0,0000000	-0,0000014
	spąg	-0,0000489	0,0000000	0,0000000	0,0000544	0,0000000	0,0000544
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001225	0,0000000	0,0000000	0,0000544	0,0000000	0,0000544
	spąg	-0,0000850	0,0000000	0,0000000	0,0000659	0,0000000	0,0000659
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001906	0,0000000	0,0000000	0,0000659	0,0000000	0,0000659
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(49) EC/D30/WMS16PW Dolomit	15 701,00	0,30	0,07	12,70	2,90
(60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit	14 407,00	0,30	0,14	12,50	2,20
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001849	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001830	0,0000000	0,0000000
(49) EC/D30/WMS16PW Dolomit	strop	0,0001830	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001815	0,0000000	0,0000000
(60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit	strop	0,0001815	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001771	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001771	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001600	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001600	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9809815	0,0000000	-0,9809815
	spąg	-0,8185863	0,0000000	0,0000000	-0,6956354	0,0000000	-0,6956354
(49) EC/D30/WMS16PW Dolomit	strop	-0,8185863	0,0000000	0,0000000	-1,0924533	0,0000000	-1,0924533
	spąg	-0,5480799	0,0000000	0,0000000	-0,2073990	0,0000000	-0,2073990
(60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit	strop	-0,5480799	0,0000000	0,0000000	-0,2096647	0,0000000	-0,2096647
	spąg	-0,0373274	0,0000000	0,0000000	1,0241319	0,0000000	1,0241319
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0373274	0,0000000	0,0000000	0,0128810	0,0000000	0,0128810
	spąg	-0,0143258	0,0000000	0,0000000	0,0286965	0,0000000	0,0286965
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0143258	0,0000000	0,0000000	-0,0002107	0,0000000	-0,0002107
	spąg	-0,0025759	0,0000000	0,0000000	-0,0013870	0,0000000	-0,0013870

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000360	0,0000000	0,0000000	-0,0000591	0,0000000	-0,0000591
	spąg	-0,0000550	0,0000000	0,0000000	-0,0000331	0,0000000	-0,0000331
(49) EC/D30/WMS16PW Dolomit	strop	-0,0000104	0,0000000	0,0000000	-0,0000331	0,0000000	-0,0000331
	spąg	-0,0000270	0,0000000	0,0000000	0,0000012	0,0000000	0,0000012
(60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit	strop	-0,0000293	0,0000000	0,0000000	0,0000012	0,0000000	0,0000012
	spąg	-0,0000452	0,0000000	0,0000000	0,0000505	0,0000000	0,0000505
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001126	0,0000000	0,0000000	0,0000505	0,0000000	0,0000505
	spąg	-0,0000789	0,0000000	0,0000000	0,0000610	0,0000000	0,0000610
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001772	0,0000000	0,0000000	0,0000610	0,0000000	0,0000610
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 72 987 737 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 64 252 945 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

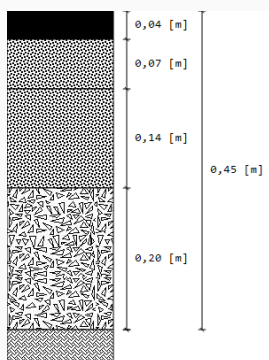
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 609 441 211 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 88 946 491 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

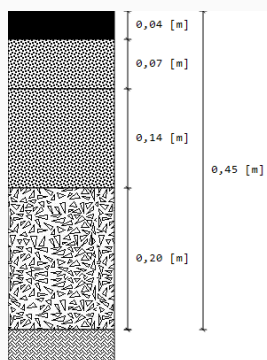
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z masyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (48) EC/D50/I6W Dolomit
- (44) EC/D30/AC16P Dolomit
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

64 252 945 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z masyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (49) EC/D30/WMS16PW Dolomit
- (60) EC/PMB/WMS22PM Dolomit
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

88 946 491 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-24

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



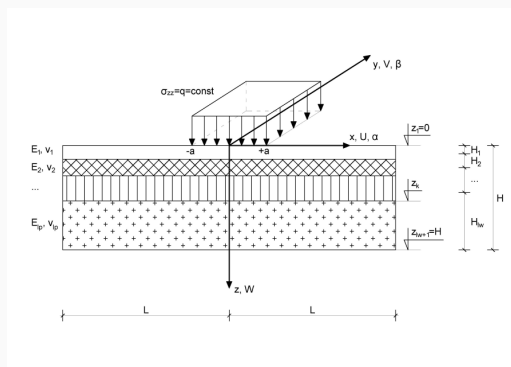
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(55) EC/D30/AC22W Dolomit	12 011,00	0,30	0,07	10,60	4,10
(52) EC/D30/AC22P Dolomit	11 565,00	0,30	0,14	10,10	5,00
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001986	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001970	0,0000000	0,0000000
(55) EC/D30/AC22W Dolomit	strop	0,0001970	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001948	0,0000000	0,0000000
(52) EC/D30/AC22P Dolomit	strop	0,0001948	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001894	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001894	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001700	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001700	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0709589	0,0000000	-1,0709589
	spąg	-0,8164665	0,0000000	0,0000000	-0,7218270	0,0000000	-0,7218270
(55) EC/D30/AC22W Dolomit	strop	-0,8164665	0,0000000	0,0000000	-0,9618382	0,0000000	-0,9618382
	spąg	-0,5441013	0,0000000	0,0000000	-0,1886168	0,0000000	-0,1886168
(52) EC/D30/AC22P Dolomit	strop	-0,5441013	0,0000000	0,0000000	-0,1902718	0,0000000	-0,1902718
	spąg	-0,0428637	0,0000000	0,0000000	0,9483393	0,0000000	0,9483393
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0428637	0,0000000	0,0000000	0,0150655	0,0000000	0,0150655
	spąg	-0,0157390	0,0000000	0,0000000	0,0326325	0,0000000	0,0326325
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0157390	0,0000000	0,0000000	0,0000065	0,0000000	0,0000065
	spąg	-0,0026052	0,0000000	0,0000000	-0,0014028	0,0000000	-0,0014028

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000286	0,0000000	0,0000000	-0,0000677	0,0000000	-0,0000677
	spąg	-0,0000525	0,0000000	0,0000000	-0,0000357	0,0000000	-0,0000357
(55) EC/D30/AC22W Dolomit	strop	-0,0000199	0,0000000	0,0000000	-0,0000357	0,0000000	-0,0000357
	spąg	-0,0000359	0,0000000	0,0000000	0,0000026	0,0000000	0,0000026
(52) EC/D30/AC22P Dolomit	strop	-0,0000372	0,0000000	0,0000000	0,0000026	0,0000000	0,0000026
	spąg	-0,0000529	0,0000000	0,0000000	0,0000585	0,0000000	0,0000585
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001298	0,0000000	0,0000000	0,0000585	0,0000000	0,0000585
	spąg	-0,0000883	0,0000000	0,0000000	0,0000689	0,0000000	0,0000689
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001968	0,0000000	0,0000000	0,0000689	0,0000000	0,0000689
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(58) EC/D30/WMS22PW Dolomit	14 982,00	0,30	0,07	12,40	2,50
(58) EC/D30/WMS22PW Dolomit	14 982,00	0,30	0,13	12,40	2,50
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001935	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001917	0,0000000	0,0000000
(58) EC/D30/WMS22PW Dolomit	strop	0,0001917	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001902	0,0000000	0,0000000
(58) EC/D30/WMS22PW Dolomit	strop	0,0001902	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001860	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001860	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001677	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001677	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0174196	0,0000000	-1,0174196
	spąg	-0,8179425	0,0000000	0,0000000	-0,7154983	0,0000000	-0,7154983
(58) EC/D30/WMS22PW Dolomit	strop	-0,8179425	0,0000000	0,0000000	-1,0995472	0,0000000	-1,0995472
	spąg	-0,5400797	0,0000000	0,0000000	-0,2177770	0,0000000	-0,2177770
(58) EC/D30/WMS22PW Dolomit	strop	-0,5400797	0,0000000	0,0000000	-0,2177770	0,0000000	-0,2177770
	spąg	-0,0403488	0,0000000	0,0000000	1,1187737	0,0000000	1,1187737
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0403488	0,0000000	0,0000000	0,0130391	0,0000000	0,0130391
	spąg	-0,0153042	0,0000000	0,0000000	0,0306795	0,0000000	0,0306795
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0153042	0,0000000	0,0000000	-0,0002201	0,0000000	-0,0002201
	spąg	-0,0026044	0,0000000	0,0000000	-0,0014023	0,0000000	-0,0014023

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000330	0,0000000	0,0000000	-0,0000626	0,0000000	-0,0000626
	spąg	-0,0000532	0,0000000	0,0000000	-0,0000350	0,0000000	-0,0000350
(58) EC/D30/WMS22PW Dolomit	strop	-0,0000106	0,0000000	0,0000000	-0,0000350	0,0000000	-0,0000350
	spąg	-0,0000273	0,0000000	0,0000000	0,0000006	0,0000000	0,0000006
(58) EC/D30/WMS22PW Dolomit	strop	-0,0000273	0,0000000	0,0000000	0,0000006	0,0000000	0,0000006
	spąg	-0,0000475	0,0000000	0,0000000	0,0000531	0,0000000	0,0000531
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001204	0,0000000	0,0000000	0,0000531	0,0000000	0,0000531
	spąg	-0,0000843	0,0000000	0,0000000	0,0000652	0,0000000	0,0000652
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001894	0,0000000	0,0000000	0,0000652	0,0000000	0,0000652
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 59 919 240 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 55 614 329 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

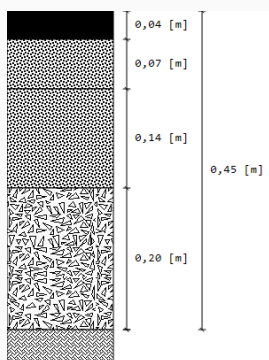
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 391 760 778 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 66 071 240 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



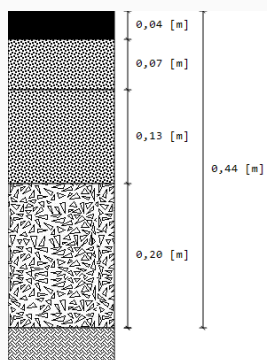
Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (55) EC/D30/AC22W Dolomit
- (52) EC/D30/AC22P Dolomit
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

55 614 329 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (58) EC/D30/WMS22PW Dolomit
- (58) EC/D30/WMS22PW Dolomit
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

66 071 240 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



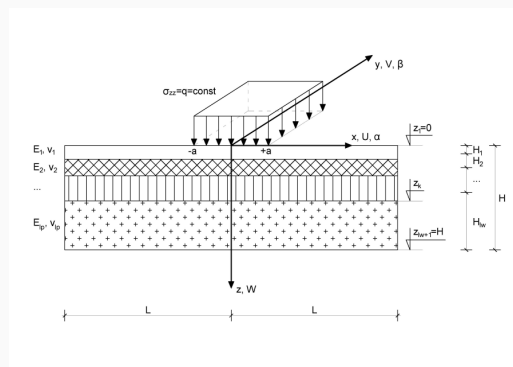
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(27) EC/PMB/AC16W Melafir	12 491,00	0,30	0,07	11,40	4,70
(24) EC/PMB/AC16P Melafir	11 919,00	0,30	0,16	10,40	4,80
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001805	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001786	0,0000000	0,0000000
(27) EC/PMB/AC16W Melafir	strop	0,0001786	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001764	0,0000000	0,0000000
(24) EC/PMB/AC16P Melafir	strop	0,0001764	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001709	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001709	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001543	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001543	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 ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9899780	0,0000000	-0,9899780
	spąg	-0,8201438	0,0000000	0,0000000	-0,6823749	0,0000000	-0,6823749
(27) EC/PMB/AC16W Melafir	strop	-0,8201438	0,0000000	0,0000000	-0,9176656	0,0000000	-0,9176656
	spąg	-0,5666501	0,0000000	0,0000000	-0,2170435	0,0000000	-0,2170435
(24) EC/PMB/AC16P Melafir	strop	-0,5666501	0,0000000	0,0000000	-0,2182252	0,0000000	-0,2182252
	spąg	-0,0358432	0,0000000	0,0000000	0,8460412	0,0000000	0,8460412
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0358432	0,0000000	0,0000000	0,0135472	0,0000000	0,0135472
	spąg	-0,0136896	0,0000000	0,0000000	0,0278879	0,0000000	0,0278879
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0136896	0,0000000	0,0000000	-0,0001011	0,0000000	-0,0001011
	spąg	-0,0025505	0,0000000	0,0000000	-0,0013733	0,0000000	-0,0013733

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000353	0,0000000	0,0000000	-0,0000599	0,0000000	-0,0000599
	spąg	-0,0000563	0,0000000	0,0000000	-0,0000317	0,0000000	-0,0000317
(27) EC/PMB/AC16W Melafir	strop	-0,0000216	0,0000000	0,0000000	-0,0000317	0,0000000	-0,0000317
	spąg	-0,0000349	0,0000000	0,0000000	0,0000014	0,0000000	0,0000014
(24) EC/PMB/AC16P Melafir	strop	-0,0000366	0,0000000	0,0000000	0,0000014	0,0000000	0,0000014
	spąg	-0,0000456	0,0000000	0,0000000	0,0000506	0,0000000	0,0000506
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001099	0,0000000	0,0000000	0,0000506	0,0000000	0,0000506
	spąg	-0,0000761	0,0000000	0,0000000	0,0000591	0,0000000	0,0000591
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001702	0,0000000	0,0000000	0,0000591	0,0000000	0,0000591
	spąg	-0,0000199	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(36) EC/PMB/WMS16PW Melafir	14 308,00	0,30	0,07	12,60	3,80
(36) EC/PMB/WMS16PW Melafir	14 308,00	0,30	0,14	12,60	3,80
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001871	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001853	0,0000000	0,0000000
(36) EC/PMB/WMS16PW Melafir	strop	0,0001853	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001836	0,0000000	0,0000000
(36) EC/PMB/WMS16PW Melafir	strop	0,0001836	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001791	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001791	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001618	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001618	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9962762	0,0000000	-0,9962762
	spąg	-0,8194346	0,0000000	0,0000000	-0,7007599	0,0000000	-0,7007599
(36) EC/PMB/WMS16PW Melafir	strop	-0,8194346	0,0000000	0,0000000	-1,0363506	0,0000000	-1,0363506
	spąg	-0,5525985	0,0000000	0,0000000	-0,2302436	0,0000000	-0,2302436
(36) EC/PMB/WMS16PW Melafir	strop	-0,5525985	0,0000000	0,0000000	-0,2302436	0,0000000	-0,2302436
	spąg	-0,0380631	0,0000000	0,0000000	1,0298343	0,0000000	1,0298343
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0380631	0,0000000	0,0000000	0,0129337	0,0000000	0,0129337
	spąg	-0,0145555	0,0000000	0,0000000	0,0291751	0,0000000	0,0291751
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0145555	0,0000000	0,0000000	-0,0002101	0,0000000	-0,0002101
	spąg	-0,0025823	0,0000000	0,0000000	-0,0013905	0,0000000	-0,0013905

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000348	0,0000000	0,0000000	-0,0000605	0,0000000	-0,0000605
	spąg	-0,0000547	0,0000000	0,0000000	-0,0000335	0,0000000	-0,0000335
(36) EC/PMB/WMS16PW Melafir	strop	-0,0000138	0,0000000	0,0000000	-0,0000335	0,0000000	-0,0000335
	spąg	-0,0000290	0,0000000	0,0000000	0,0000003	0,0000000	0,0000003
(36) EC/PMB/WMS16PW Melafir	strop	-0,0000290	0,0000000	0,0000000	0,0000003	0,0000000	0,0000003
	spąg	-0,0000458	0,0000000	0,0000000	0,0000512	0,0000000	0,0000512
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001146	0,0000000	0,0000000	0,0000512	0,0000000	0,0000512
	spąg	-0,0000802	0,0000000	0,0000000	0,0000620	0,0000000	0,0000620
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001801	0,0000000	0,0000000	0,0000620	0,0000000	0,0000620
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 120 676 947 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 106 543 023 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

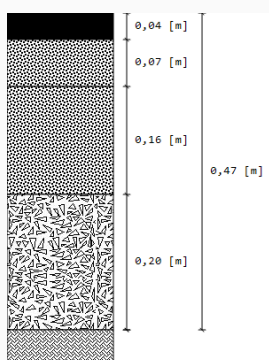
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 234 389 179 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 82 750 124 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

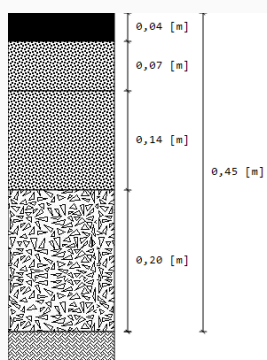
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (27) EC/PMB/AC16W Melafir
- (24) EC/PMB/AC16P Melafir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

106 543 023 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (36) EC/PMB/WMS16PW Melafir
- (36) EC/PMB/WMS16PW Melafir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

82 750 124 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-31

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



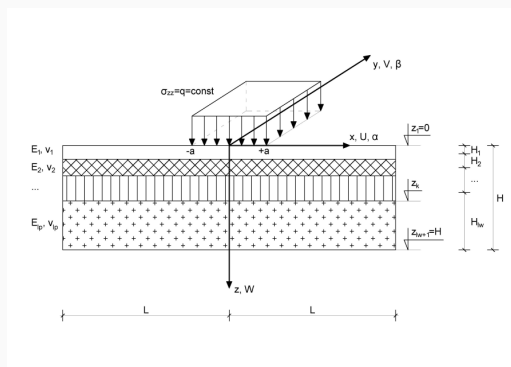
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

IV WYNIKI

1 WYNIKI - KONSTRUKCJA 1

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(33) EC/PMB/AS22W Melafir	11 309,00	0,30	0,07	10,70	4,40
(30) EC/PMB/AC22P Melafir	11 432,00	0,30	0,16	10,00	5,80
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001840	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001822	0,0000000	0,0000000
(33) EC/PMB/AS22W Melafir	strop	0,0001822	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001797	0,0000000	0,0000000
(30) EC/PMB/AC22P Melafir	strop	0,0001797	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001740	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001740	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001569	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001569	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0130760	0,0000000	-1,0130760
	spąg	-0,8205439	0,0000000	0,0000000	-0,6872712	0,0000000	-0,6872712
(33) EC/PMB/AS22W Melafir	strop	-0,8205439	0,0000000	0,0000000	-0,8715806	0,0000000	-0,8715806
	spąg	-0,5684910	0,0000000	0,0000000	-0,2243736	0,0000000	-0,2243736
(30) EC/PMB/AC22P Melafir	strop	-0,5684910	0,0000000	0,0000000	-0,2241641	0,0000000	-0,2241641
	spąg	-0,0370971	0,0000000	0,0000000	0,8374977	0,0000000	0,8374977
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0370971	0,0000000	0,0000000	0,0139612	0,0000000	0,0139612
	spąg	-0,0140354	0,0000000	0,0000000	0,0287790	0,0000000	0,0287790
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0140354	0,0000000	0,0000000	-0,0000634	0,0000000	-0,0000634
	spąg	-0,0025589	0,0000000	0,0000000	-0,0013779	0,0000000	-0,0013779

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000334	0,0000000	0,0000000	-0,0000621	0,0000000	-0,0000621
	spąg	-0,0000559	0,0000000	0,0000000	-0,0000322	0,0000000	-0,0000322
(33) EC/PMB/AS22W Melafir	strop	-0,0000263	0,0000000	0,0000000	-0,0000322	0,0000000	-0,0000322
	spąg	-0,0000384	0,0000000	0,0000000	0,0000012	0,0000000	0,0000012
(30) EC/PMB/AC22P Melafir	strop	-0,0000380	0,0000000	0,0000000	0,0000012	0,0000000	0,0000012
	spąg	-0,0000472	0,0000000	0,0000000	0,0000523	0,0000000	0,0000523
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001137	0,0000000	0,0000000	0,0000523	0,0000000	0,0000523
	spąg	-0,0000783	0,0000000	0,0000000	0,0000609	0,0000000	0,0000609
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001749	0,0000000	0,0000000	0,0000609	0,0000000	0,0000609
	spąg	-0,0000199	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(41) EC/PMB/WMS22PW Melafir	14 860,00	0,30	0,07	12,00	3,10
(40) EC/PMB/WMS22P Melafir	12 172,00	0,30	0,14	12,20	2,70
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001922	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001905	0,0000000	0,0000000
(41) EC/PMB/WMS22PW Melafir	strop	0,0001905	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001888	0,0000000	0,0000000
(40) EC/PMB/WMS22P Melafir	strop	0,0001888	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001837	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001837	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001652	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001652	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0271390	0,0000000	-1,0271390
	spąg	-0,8151826	0,0000000	0,0000000	-0,7102318	0,0000000	-0,7102318
(41) EC/PMB/WMS22PW Melafir	strop	-0,8151826	0,0000000	0,0000000	-1,0839525	0,0000000	-1,0839525
	spąg	-0,5366162	0,0000000	0,0000000	-0,1463998	0,0000000	-0,1463998
(40) EC/PMB/WMS22P Melafir	strop	-0,5366162	0,0000000	0,0000000	-0,1615182	0,0000000	-0,1615182
	spąg	-0,0404704	0,0000000	0,0000000	0,9535635	0,0000000	0,9535635
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0404704	0,0000000	0,0000000	0,0145618	0,0000000	0,0145618
	spąg	-0,0150789	0,0000000	0,0000000	0,0310621	0,0000000	0,0310621
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0150789	0,0000000	0,0000000	-0,0000372	0,0000000	-0,0000372
	spąg	-0,0025895	0,0000000	0,0000000	-0,0013943	0,0000000	-0,0013943

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000322	0,0000000	0,0000000	-0,0000635	0,0000000	-0,0000635
	spąg	-0,0000533	0,0000000	0,0000000	-0,0000346	0,0000000	-0,0000346
(41) EC/PMB/WMS22PW Melafir	strop	-0,0000111	0,0000000	0,0000000	-0,0000346	0,0000000	-0,0000346
	spąg	-0,0000302	0,0000000	0,0000000	0,0000039	0,0000000	0,0000039
(40) EC/PMB/WMS22P Melafir	strop	-0,0000361	0,0000000	0,0000000	0,0000039	0,0000000	0,0000039
	spąg	-0,0000503	0,0000000	0,0000000	0,0000558	0,0000000	0,0000558
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001230	0,0000000	0,0000000	0,0000558	0,0000000	0,0000558
	spąg	-0,0000843	0,0000000	0,0000000	0,0000657	0,0000000	0,0000657
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001882	0,0000000	0,0000000	0,0000657	0,0000000	0,0000657
	spąg	-0,0000202	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 63 242 722 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 94 411 171 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

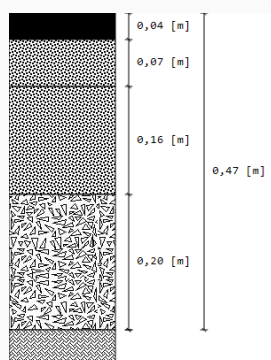
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 358 932 809 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 68 007 612 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

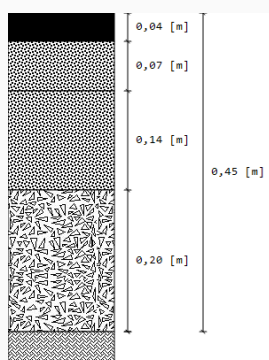
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (33) EC/PMB/AS22W Melafir
- (30) EC/PMB/AC22P Melafir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

63 242 722 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (41) EC/PMB/WMS22PW Melafir
- (40) EC/PMB/WMS22P Melafir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

68 007 612 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



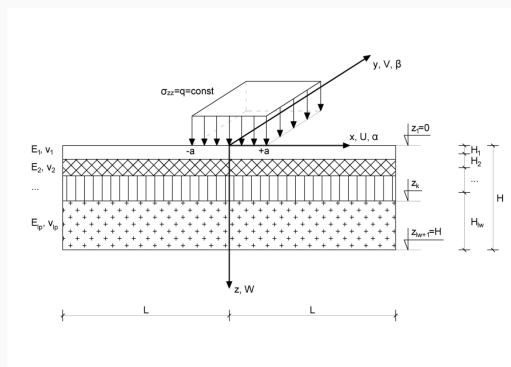
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

IV WYNIKI

1 WYNIKI - KONSTRUKCJA 1

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(26) EC/D30/AC16W Melafir	13 061,00	0,30	0,07	11,40	4,10
(23) EC/D30/AC16P Melafir	12 806,00	0,30	0,16	10,60	4,80
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001770	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001750	0,0000000	0,0000000
(26) EC/D30/AC16W Melafir	strop	0,0001750	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001730	0,0000000	0,0000000
(23) EC/D30/AC16P Melafir	strop	0,0001730	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001678	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001678	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001518	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001518	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9674032	0,0000000	-0,9674032
	spąg	-0,8212782	0,0000000	0,0000000	-0,6758669	0,0000000	-0,6758669
(26) EC/D30/AC16W Melafir	strop	-0,8212782	0,0000000	0,0000000	-0,9314741	0,0000000	-0,9314741
	spąg	-0,5704395	0,0000000	0,0000000	-0,2338278	0,0000000	-0,2338278
(23) EC/D30/AC16P Melafir	strop	-0,5704395	0,0000000	0,0000000	-0,2340357	0,0000000	-0,2340357
	spąg	-0,0344829	0,0000000	0,0000000	0,8702281	0,0000000	0,8702281
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0344829	0,0000000	0,0000000	0,0128651	0,0000000	0,0128651
	spąg	-0,0133451	0,0000000	0,0000000	0,0268538	0,0000000	0,0268538
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0133451	0,0000000	0,0000000	-0,0001701	0,0000000	-0,0001701
	spąg	-0,0025434	0,0000000	0,0000000	-0,0013695	0,0000000	-0,0013695

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000371	0,0000000	0,0000000	-0,0000578	0,0000000	-0,0000578
	spąg	-0,0000570	0,0000000	0,0000000	-0,0000311	0,0000000	-0,0000311
(26) EC/D30/AC16W Melafir	strop	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	-0,0000311	0,0000000	-0,0000311
	spąg	-0,0000329	0,0000000	0,0000000	0,0000006	0,0000000	0,0000006
(23) EC/D30/AC16P Melafir	strop	-0,0000336	0,0000000	0,0000000	0,0000006	0,0000000	0,0000006
	spąg	-0,0000435	0,0000000	0,0000000	0,0000484	0,0000000	0,0000484
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001055	0,0000000	0,0000000	0,0000484	0,0000000	0,0000484
	spąg	-0,0000736	0,0000000	0,0000000	0,0000570	0,0000000	0,0000570
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001653	0,0000000	0,0000000	0,0000570	0,0000000	0,0000570
	spąg	-0,0000198	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(35) EC/D30/WMS16PW Melafir	15 247,00	0,30	0,06	12,60	2,90
(35) EC/D30/WMS16PW Melafir	15 247,00	0,30	0,14	12,60	2,90
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001924	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001907	0,0000000	0,0000000
(35) EC/D30/WMS16PW Melafir	strop	0,0001907	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001894	0,0000000	0,0000000
(35) EC/D30/WMS16PW Melafir	strop	0,0001894	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001850	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001850	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001670	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001670	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0108782	0,0000000	-1,0108782
	spąg	-0,8181567	0,0000000	0,0000000	-0,7133224	0,0000000	-0,7133224
(35) EC/D30/WMS16PW Melafir	strop	-0,8181567	0,0000000	0,0000000	-1,1081509	0,0000000	-1,1081509
	spąg	-0,5934086	0,0000000	0,0000000	-0,3242936	0,0000000	-0,3242936
(35) EC/D30/WMS16PW Melafir	strop	-0,5934086	0,0000000	0,0000000	-0,3242936	0,0000000	-0,3242936
	spąg	-0,0399308	0,0000000	0,0000000	1,1258571	0,0000000	1,1258571
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0399308	0,0000000	0,0000000	0,0128722	0,0000000	0,0128722
	spąg	-0,0151978	0,0000000	0,0000000	0,0303812	0,0000000	0,0303812
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0151978	0,0000000	0,0000000	-0,0002369	0,0000000	-0,0002369
	spąg	-0,0026022	0,0000000	0,0000000	-0,0014012	0,0000000	-0,0014012

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000336	0,0000000	0,0000000	-0,0000619	0,0000000	-0,0000619
	spąg	-0,0000534	0,0000000	0,0000000	-0,0000348	0,0000000	-0,0000348
(35) EC/D30/WMS16PW Melafir	strop	-0,0000101	0,0000000	0,0000000	-0,0000348	0,0000000	-0,0000348
	spąg	-0,0000262	0,0000000	0,0000000	-0,0000032	0,0000000	-0,0000032
(35) EC/D30/WMS16PW Melafir	strop	-0,0000262	0,0000000	0,0000000	-0,0000032	0,0000000	-0,0000032
	spąg	-0,0000469	0,0000000	0,0000000	0,0000525	0,0000000	0,0000525
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001191	0,0000000	0,0000000	0,0000525	0,0000000	0,0000525
	spąg	-0,0000836	0,0000000	0,0000000	0,0000646	0,0000000	0,0000646
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001879	0,0000000	0,0000000	0,0000646	0,0000000	0,0000646
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 137 494 984 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 121 485 385 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

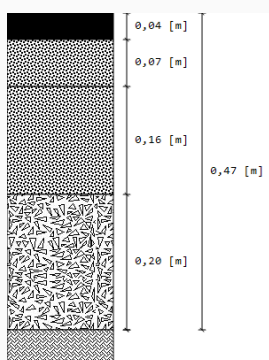
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 323 205 430 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 68 433 029 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



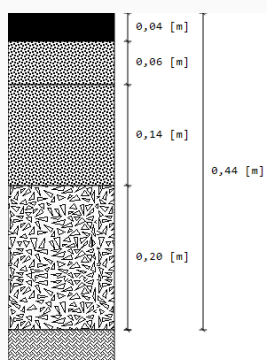
Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z masyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (26) EC/D30/AC16W Melafir
- (23) EC/D30/AC16P Melafir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

121 485 385 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z masyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (35) EC/D30/WMS16PW Melafir
- (35) EC/D30/WMS16PW Melafir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

68 433 029 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-26

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



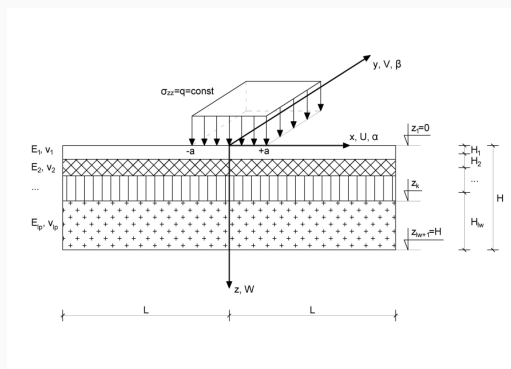
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

IV WYNIKI

1 WYNIKI - KONSTRUKCJA 1

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(32) EC/D30/AC22W Melafir	12 451,00	0,30	0,07	10,70	5,00
(29) EC/D30/AC22P Melafir	12 710,00	0,30	0,16	10,00	6,30
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001782	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001763	0,0000000	0,0000000
(32) EC/D30/AC22W Melafir	strop	0,0001763	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001741	0,0000000	0,0000000
(29) EC/D30/AC22P Melafir	strop	0,0001741	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001689	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001689	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001528	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001528	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9754440	0,0000000	-0,9754440
	spąg	-0,8217534	0,0000000	0,0000000	-0,6776723	0,0000000	-0,6776723
(32) EC/D30/AC22W Melafir	strop	-0,8217534	0,0000000	0,0000000	-0,9073450	0,0000000	-0,9073450
	spąg	-0,5724037	0,0000000	0,0000000	-0,2417570	0,0000000	-0,2417570
(29) EC/D30/AC22P Melafir	strop	-0,5724037	0,0000000	0,0000000	-0,2416830	0,0000000	-0,2416830
	spąg	-0,0348758	0,0000000	0,0000000	0,8711482	0,0000000	0,8711482
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0348758	0,0000000	0,0000000	0,0129398	0,0000000	0,0129398
	spąg	-0,0134654	0,0000000	0,0000000	0,0271249	0,0000000	0,0271249
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0134654	0,0000000	0,0000000	-0,0001654	0,0000000	-0,0001654
	spąg	-0,0025468	0,0000000	0,0000000	-0,0013713	0,0000000	-0,0013713

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000365	0,0000000	0,0000000	-0,0000585	0,0000000	-0,0000585
	spąg	-0,0000569	0,0000000	0,0000000	-0,0000312	0,0000000	-0,0000312
(32) EC/D30/AC22W Melafir	strop	-0,0000223	0,0000000	0,0000000	-0,0000312	0,0000000	-0,0000312
	spąg	-0,0000343	0,0000000	0,0000000	0,0000002	0,0000000	0,0000002
(29) EC/D30/AC22P Melafir	strop	-0,0000336	0,0000000	0,0000000	0,0000002	0,0000000	0,0000002
	spąg	-0,0000439	0,0000000	0,0000000	0,0000488	0,0000000	0,0000488
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001066	0,0000000	0,0000000	0,0000488	0,0000000	0,0000488
	spąg	-0,0000744	0,0000000	0,0000000	0,0000576	0,0000000	0,0000576
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001669	0,0000000	0,0000000	0,0000576	0,0000000	0,0000576
	spąg	-0,0000198	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(39) EC/D30/WMS22PW Melafir	15 474,00	0,30	0,07	12,00	3,00
(38) EC/D30/WMS22P Melafir	12 549,00	0,30	0,14	12,20	2,80
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001902	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001884	0,0000000	0,0000000
(39) EC/D30/WMS22PW Melafir	strop	0,0001884	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001869	0,0000000	0,0000000
(38) EC/D30/WMS22P Melafir	strop	0,0001869	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001819	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001819	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001638	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001638	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0140228	0,0000000	-1,0140228
	spąg	-0,8155029	0,0000000	0,0000000	-0,7061168	0,0000000	-0,7061168
(39) EC/D30/WMS22PW Melafir	strop	-0,8155029	0,0000000	0,0000000	-1,1054285	0,0000000	-1,1054285
	spąg	-0,5369910	0,0000000	0,0000000	-0,1473791	0,0000000	-0,1473791
(38) EC/D30/WMS22P Melafir	strop	-0,5369910	0,0000000	0,0000000	-0,1630230	0,0000000	-0,1630230
	spąg	-0,0396761	0,0000000	0,0000000	0,9635776	0,0000000	0,9635776
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0396761	0,0000000	0,0000000	0,0142520	0,0000000	0,0142520
	spąg	-0,0148744	0,0000000	0,0000000	0,0304969	0,0000000	0,0304969
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0148744	0,0000000	0,0000000	-0,0000677	0,0000000	-0,0000677
	spąg	-0,0025851	0,0000000	0,0000000	-0,0013920	0,0000000	-0,0013920

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000333	0,0000000	0,0000000	-0,0000622	0,0000000	-0,0000622
	spąg	-0,0000537	0,0000000	0,0000000	-0,0000342	0,0000000	-0,0000342
(39) EC/D30/WMS22PW Melafir	strop	-0,0000098	0,0000000	0,0000000	-0,0000342	0,0000000	-0,0000342
	spąg	-0,0000290	0,0000000	0,0000000	0,0000037	0,0000000	0,0000037
(38) EC/D30/WMS22P Melafir	strop	-0,0000350	0,0000000	0,0000000	0,0000037	0,0000000	0,0000037
	spąg	-0,0000492	0,0000000	0,0000000	0,0000547	0,0000000	0,0000547
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001206	0,0000000	0,0000000	0,0000547	0,0000000	0,0000547
	spąg	-0,0000829	0,0000000	0,0000000	0,0000645	0,0000000	0,0000645
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001853	0,0000000	0,0000000	0,0000645	0,0000000	0,0000645
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 58 258 022 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 116 522 679 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

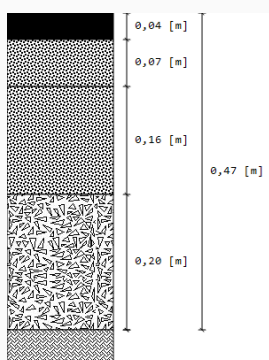
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 352 318 501 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 72 778 270 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

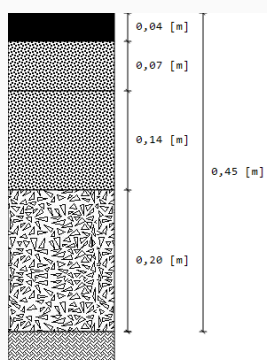
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (32) EC/D30/AC22W Melafir
- (29) EC/D30/AC22P Melafir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

58 258 022 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (39) EC/D30/WMS22PW Melafir
- (38) EC/D30/WMS22P Melafir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

72 778 270 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



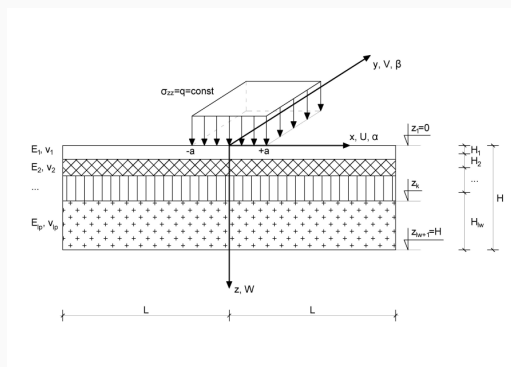
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

IV WYNIKI

1 WYNIKI - KONSTRUKCJA 1

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(85) EC/PMB/AS16W Wapień	11 581,00	0,30	0,08	11,30	4,20
(82) EC/PMB/AC16P Wapień	11 165,00	0,30	0,14	10,60	5,20
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001922	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001905	0,0000000	0,0000000
(85) EC/PMB/AS16W Wapień	strop	0,0001905	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001877	0,0000000	0,0000000
(82) EC/PMB/AC16P Wapień	strop	0,0001877	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001824	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001824	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001640	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001640	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0477430	0,0000000	-1,0477430
	spąg	-0,8180360	0,0000000	0,0000000	-0,7061566	0,0000000	-0,7061566
(85) EC/PMB/AS16W Wapień	strop	-0,8180360	0,0000000	0,0000000	-0,9146763	0,0000000	-0,9146763
	spąg	-0,5054203	0,0000000	0,0000000	-0,1245581	0,0000000	-0,1245581
(82) EC/PMB/AC16P Wapień	strop	-0,5054203	0,0000000	0,0000000	-0,1278646	0,0000000	-0,1278646
	spąg	-0,0403389	0,0000000	0,0000000	0,8786069	0,0000000	0,8786069
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0403389	0,0000000	0,0000000	0,0148085	0,0000000	0,0148085
	spąg	-0,0149656	0,0000000	0,0000000	0,0310069	0,0000000	0,0310069
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0149656	0,0000000	0,0000000	0,0000014	0,0000000	0,0000014
	spąg	-0,0025834	0,0000000	0,0000000	-0,0013911	0,0000000	-0,0013911

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000305	0,0000000	0,0000000	-0,0000655	0,0000000	-0,0000655
	spąg	-0,0000540	0,0000000	0,0000000	-0,0000341	0,0000000	-0,0000341
(85) EC/PMB/AS16W Wapień	strop	-0,0000232	0,0000000	0,0000000	-0,0000341	0,0000000	-0,0000341
	spąg	-0,0000372	0,0000000	0,0000000	0,0000056	0,0000000	0,0000056
(82) EC/PMB/AC16P Wapień	strop	-0,0000384	0,0000000	0,0000000	0,0000056	0,0000000	0,0000056
	spąg	-0,0000508	0,0000000	0,0000000	0,0000562	0,0000000	0,0000562
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001231	0,0000000	0,0000000	0,0000562	0,0000000	0,0000562
	spąg	-0,0000839	0,0000000	0,0000000	0,0000655	0,0000000	0,0000655
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001871	0,0000000	0,0000000	0,0000655	0,0000000	0,0000655
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(88) EC/PMB/WMS16P Wapień	13 242,00	0,30	0,08	12,50	2,60
(88) EC/PMB/WMS16P Wapień	13 242,00	0,30	0,14	12,50	2,60
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001832	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001814	0,0000000	0,0000000
(88) EC/PMB/WMS16P Wapień	strop	0,0001814	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001791	0,0000000	0,0000000
(88) EC/PMB/WMS16P Wapień	strop	0,0001791	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001745	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001745	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001576	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001576	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9897912	0,0000000	-0,9897912
	spąg	-0,8203480	0,0000000	0,0000000	-0,6905388	0,0000000	-0,6905388
(88) EC/PMB/WMS16P Wapień	strop	-0,8203480	0,0000000	0,0000000	-0,9664438	0,0000000	-0,9664438
	spąg	-0,5124647	0,0000000	0,0000000	-0,1548491	0,0000000	-0,1548491
(88) EC/PMB/WMS16P Wapień	strop	-0,5124647	0,0000000	0,0000000	-0,1548491	0,0000000	-0,1548491
	spąg	-0,0367133	0,0000000	0,0000000	0,9392536	0,0000000	0,9392536
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0367133	0,0000000	0,0000000	0,0131130	0,0000000	0,0131130
	spąg	-0,0140627	0,0000000	0,0000000	0,0283399	0,0000000	0,0283399
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0140627	0,0000000	0,0000000	-0,0001701	0,0000000	-0,0001701
	spąg	-0,0025655	0,0000000	0,0000000	-0,0013814	0,0000000	-0,0013814

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000353	0,0000000	0,0000000	-0,0000599	0,0000000	-0,0000599
	spąg	-0,0000556	0,0000000	0,0000000	-0,0000325	0,0000000	-0,0000325
(88) EC/PMB/WMS16P Wapień	strop	-0,0000182	0,0000000	0,0000000	-0,0000325	0,0000000	-0,0000325
	spąg	-0,0000317	0,0000000	0,0000000	0,0000034	0,0000000	0,0000034
(88) EC/PMB/WMS16P Wapień	strop	-0,0000317	0,0000000	0,0000000	0,0000034	0,0000000	0,0000034
	spąg	-0,0000453	0,0000000	0,0000000	0,0000505	0,0000000	0,0000505
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001115	0,0000000	0,0000000	0,0000505	0,0000000	0,0000505
	spąg	-0,0000777	0,0000000	0,0000000	0,0000601	0,0000000	0,0000601
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001743	0,0000000	0,0000000	0,0000601	0,0000000	0,0000601
	spąg	-0,0000200	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 75 064 563 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 69 782 753 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

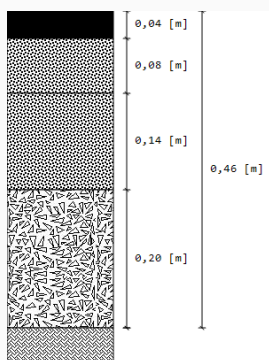
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 528 585 159 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 95 859 997 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

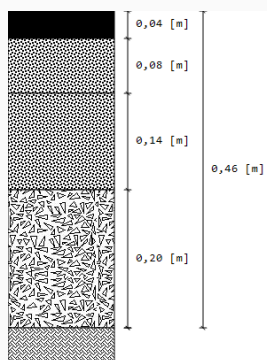
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (85) EC/PMB/AS16W Wapień
- (82) EC/PMB/AC16P Wapień
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

69 782 753 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (88) EC/PMB/WMS16P Wapień
- (88) EC/PMB/WMS16P Wapień
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

95 859 997 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



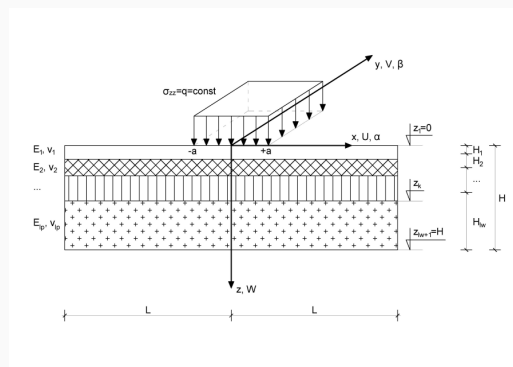
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(93) EC/PMB/AC22W Wapień	11 862,00	0,30	0,07	10,70	4,10
(90) EC/PMB/AC22P Wapień	11 884,00	0,30	0,14	10,20	4,70
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001979	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001962	0,0000000	0,0000000
(93) EC/PMB/AC22W Wapień	strop	0,0001962	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001940	0,0000000	0,0000000
(90) EC/PMB/AC22P Wapień	strop	0,0001940	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001887	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001887	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001696	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001696	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0663659	0,0000000	-1,0663659
	spąg	-0,8173223	0,0000000	0,0000000	-0,7204042	0,0000000	-0,7204042
(93) EC/PMB/AC22W Wapień	strop	-0,8173223	0,0000000	0,0000000	-0,9517059	0,0000000	-0,9517059
	spąg	-0,5471280	0,0000000	0,0000000	-0,2031897	0,0000000	-0,2031897
(90) EC/PMB/AC22P Wapień	strop	-0,5471280	0,0000000	0,0000000	-0,2031317	0,0000000	-0,2031317
	spąg	-0,0424774	0,0000000	0,0000000	0,9616081	0,0000000	0,9616081
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0424774	0,0000000	0,0000000	0,0147746	0,0000000	0,0147746
	spąg	-0,0156622	0,0000000	0,0000000	0,0323288	0,0000000	0,0323288
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0156622	0,0000000	0,0000000	-0,0000246	0,0000000	-0,0000246
	spąg	-0,0026044	0,0000000	0,0000000	-0,0014024	0,0000000	-0,0014024

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000290	0,0000000	0,0000000	-0,0000673	0,0000000	-0,0000673
	spąg	-0,0000528	0,0000000	0,0000000	-0,0000355	0,0000000	-0,0000355
(93) EC/PMB/AC22W Wapień	strop	-0,0000208	0,0000000	0,0000000	-0,0000355	0,0000000	-0,0000355
	spąg	-0,0000358	0,0000000	0,0000000	0,0000018	0,0000000	0,0000018
(90) EC/PMB/AC22P Wapień	strop	-0,0000358	0,0000000	0,0000000	0,0000018	0,0000000	0,0000018
	spąg	-0,0000521	0,0000000	0,0000000	0,0000577	0,0000000	0,0000577
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001284	0,0000000	0,0000000	0,0000577	0,0000000	0,0000577
	spąg	-0,0000876	0,0000000	0,0000000	0,0000683	0,0000000	0,0000683
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001956	0,0000000	0,0000000	0,0000683	0,0000000	0,0000683
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(96) EC/PMB/WMS22P Wapień	13 002,00	0,30	0,07	11,90	2,30
(96) EC/PMB/WMS22P Wapień	13 002,00	0,30	0,14	11,90	2,30
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001926	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001909	0,0000000	0,0000000
(96) EC/PMB/WMS22P Wapień	strop	0,0001909	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001889	0,0000000	0,0000000
(96) EC/PMB/WMS22P Wapień	strop	0,0001889	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001841	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001841	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001658	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001658	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0319099	0,0000000	-1,0319099
	spąg	-0,8183350	0,0000000	0,0000000	-0,7114209	0,0000000	-0,7114209
(96) EC/PMB/WMS22P Wapień	strop	-0,8183350	0,0000000	0,0000000	-0,9931668	0,0000000	-0,9931668
	spąg	-0,5497395	0,0000000	0,0000000	-0,2159792	0,0000000	-0,2159792
(96) EC/PMB/WMS22P Wapień	strop	-0,5497395	0,0000000	0,0000000	-0,2159792	0,0000000	-0,2159792
	spąg	-0,0402884	0,0000000	0,0000000	0,9945775	0,0000000	0,9945775
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0402884	0,0000000	0,0000000	0,0138624	0,0000000	0,0138624
	spąg	-0,0151209	0,0000000	0,0000000	0,0307780	0,0000000	0,0307780
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0151209	0,0000000	0,0000000	-0,0001171	0,0000000	-0,0001171
	spąg	-0,0025939	0,0000000	0,0000000	-0,0013967	0,0000000	-0,0013967

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000318	0,0000000	0,0000000	-0,0000640	0,0000000	-0,0000640
	spąg	-0,0000536	0,0000000	0,0000000	-0,0000346	0,0000000	-0,0000346
(96) EC/PMB/WMS22P Wapień	strop	-0,0000171	0,0000000	0,0000000	-0,0000346	0,0000000	-0,0000346
	spąg	-0,0000323	0,0000000	0,0000000	0,0000011	0,0000000	0,0000011
(96) EC/PMB/WMS22P Wapień	strop	-0,0000323	0,0000000	0,0000000	0,0000011	0,0000000	0,0000011
	spąg	-0,0000490	0,0000000	0,0000000	0,0000545	0,0000000	0,0000545
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001215	0,0000000	0,0000000	0,0000545	0,0000000	0,0000545
	spąg	-0,0000840	0,0000000	0,0000000	0,0000652	0,0000000	0,0000652
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001880	0,0000000	0,0000000	0,0000652	0,0000000	0,0000652
	spąg	-0,0000202	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 72 768 377 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 57 203 247 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

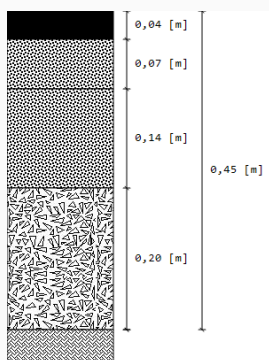
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 450 531 152 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 68 290 328 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



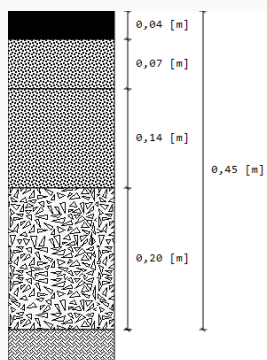
Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (93) EC/PMB/AC22W Wapień
- (90) EC/PMB/AC22P Wapień
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

57 203 247 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (96) EC/PMB/WMS22P Wapień
- (96) EC/PMB/WMS22P Wapień
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

68 290 328 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



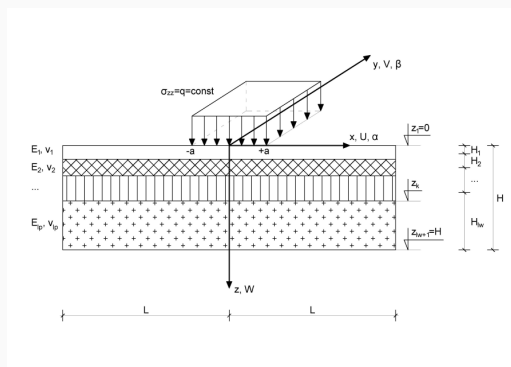
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(84) EC/D30/AC16W Wapień	11 979,00	0,30	0,07	11,30	4,20
(81) EC/D30/AC16P Wapień	12 117,00	0,30	0,14	10,60	5,10
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001970	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001953	0,0000000	0,0000000
(84) EC/D30/AC16W Wapień	strop	0,0001953	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001931	0,0000000	0,0000000
(81) EC/D30/AC16P Wapień	strop	0,0001931	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001879	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001879	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001689	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001689	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0603497	0,0000000	-1,0603497
	spąg	-0,8176748	0,0000000	0,0000000	-0,7188575	0,0000000	-0,7188575
(84) EC/D30/AC16W Wapień	strop	-0,8176748	0,0000000	0,0000000	-0,9550031	0,0000000	-0,9550031
	spąg	-0,5482451	0,0000000	0,0000000	-0,2085146	0,0000000	-0,2085146
(81) EC/D30/AC16P Wapień	strop	-0,5482451	0,0000000	0,0000000	-0,2082099	0,0000000	-0,2082099
	spąg	-0,0420695	0,0000000	0,0000000	0,9695775	0,0000000	0,9695775
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0420695	0,0000000	0,0000000	0,0145726	0,0000000	0,0145726
	spąg	-0,0155668	0,0000000	0,0000000	0,0320338	0,0000000	0,0320338
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0155668	0,0000000	0,0000000	-0,0000456	0,0000000	-0,0000456
	spąg	-0,0026028	0,0000000	0,0000000	-0,0014015	0,0000000	-0,0014015

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000295	0,0000000	0,0000000	-0,0000667	0,0000000	-0,0000667
	spąg	-0,0000529	0,0000000	0,0000000	-0,0000353	0,0000000	-0,0000353
(84) EC/D30/AC16W Wapień	strop	-0,0000204	0,0000000	0,0000000	-0,0000353	0,0000000	-0,0000353
	spąg	-0,0000353	0,0000000	0,0000000	0,0000015	0,0000000	0,0000015
(81) EC/D30/AC16P Wapień	strop	-0,0000349	0,0000000	0,0000000	0,0000015	0,0000000	0,0000015
	spąg	-0,0000515	0,0000000	0,0000000	0,0000571	0,0000000	0,0000571
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001270	0,0000000	0,0000000	0,0000571	0,0000000	0,0000571
	spąg	-0,0000870	0,0000000	0,0000000	0,0000677	0,0000000	0,0000677
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001942	0,0000000	0,0000000	0,0000677	0,0000000	0,0000677
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(87) EC/D30/WMS16PW Wapień	14 270,00	0,30	0,07	12,50	2,40
(87) EC/D30/WMS16PW Wapień	14 270,00	0,30	0,14	12,50	2,40
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001873	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001855	0,0000000	0,0000000
(87) EC/D30/WMS16PW Wapień	strop	0,0001855	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001838	0,0000000	0,0000000
(87) EC/D30/WMS16PW Wapień	strop	0,0001838	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001793	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001793	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001619	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001619	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9972552	0,0000000	-0,9972552
	spąg	-0,8194042	0,0000000	0,0000000	-0,7010702	0,0000000	-0,7010702
(87) EC/D30/WMS16PW Wapień	strop	-0,8194042	0,0000000	0,0000000	-1,0351500	0,0000000	-1,0351500
	spąg	-0,5525196	0,0000000	0,0000000	-0,2298459	0,0000000	-0,2298459
(87) EC/D30/WMS16PW Wapień	strop	-0,5525196	0,0000000	0,0000000	-0,2298459	0,0000000	-0,2298459
	spąg	-0,0381237	0,0000000	0,0000000	1,0288556	0,0000000	1,0288556
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0381237	0,0000000	0,0000000	0,0129589	0,0000000	0,0129589
	spąg	-0,0145711	0,0000000	0,0000000	0,0292191	0,0000000	0,0292191
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0145711	0,0000000	0,0000000	-0,0002076	0,0000000	-0,0002076
	spąg	-0,0025827	0,0000000	0,0000000	-0,0013907	0,0000000	-0,0013907

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000347	0,0000000	0,0000000	-0,0000606	0,0000000	-0,0000606
	spąg	-0,0000546	0,0000000	0,0000000	-0,0000336	0,0000000	-0,0000336
(87) EC/D30/WMS16PW Wapień	strop	-0,0000139	0,0000000	0,0000000	-0,0000336	0,0000000	-0,0000336
	spąg	-0,0000291	0,0000000	0,0000000	0,0000003	0,0000000	0,0000003
(87) EC/D30/WMS16PW Wapień	strop	-0,0000291	0,0000000	0,0000000	0,0000003	0,0000000	0,0000003
	spąg	-0,0000459	0,0000000	0,0000000	0,0000513	0,0000000	0,0000513
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001147	0,0000000	0,0000000	0,0000513	0,0000000	0,0000513
	spąg	-0,0000803	0,0000000	0,0000000	0,0000621	0,0000000	0,0000621
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001803	0,0000000	0,0000000	0,0000621	0,0000000	0,0000621
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 66 885 851 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 59 043 283 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

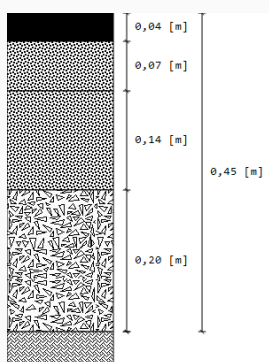
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 513 197 768 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 82 304 308 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

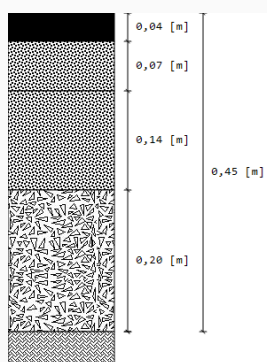
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (84) EC/D30/AC16W Wapień
- (81) EC/D30/AC16P Wapień
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

59 043 283 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (87) EC/D30/WMS16PW Wapień
- (87) EC/D30/WMS16PW Wapień
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

82 304 308 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-26

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



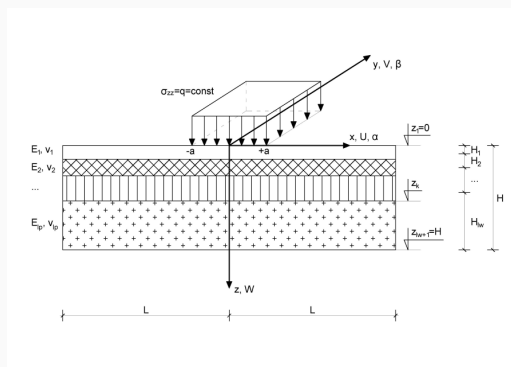
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

IV WYNIKI

1 WYNIKI - KONSTRUKCJA 1

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(11) EC/PMB/AC22W żwir	12 042,00	0,30	0,07	11,10	4,30
(8) EC/PMB/AC22P Żwir	11 281,00	0,30	0,15	10,30	5,60
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001911	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001893	0,0000000	0,0000000
(11) EC/PMB/AC22W żwir	strop	0,0001893	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001871	0,0000000	0,0000000
(8) EC/PMB/AC22P Żwir	strop	0,0001871	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001814	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001814	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001632	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001632	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0404998	0,0000000	-1,0404998
	spąg	-0,8176740	0,0000000	0,0000000	-0,7046517	0,0000000	-0,7046517
(11) EC/PMB/AC22W żwir	strop	-0,8176740	0,0000000	0,0000000	-0,9347492	0,0000000	-0,9347492
	spąg	-0,5535910	0,0000000	0,0000000	-0,1929701	0,0000000	-0,1929701
(8) EC/PMB/AC22P Żwir	strop	-0,5535910	0,0000000	0,0000000	-0,1957686	0,0000000	-0,1957686
	spąg	-0,0399330	0,0000000	0,0000000	0,8801969	0,0000000	0,8801969
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0399330	0,0000000	0,0000000	0,0147026	0,0000000	0,0147026
	spąg	-0,0148517	0,0000000	0,0000000	0,0307290	0,0000000	0,0307290
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0148517	0,0000000	0,0000000	-0,0000076	0,0000000	-0,0000076
	spąg	-0,0025807	0,0000000	0,0000000	-0,0013896	0,0000000	-0,0013896

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000311	0,0000000	0,0000000	-0,0000648	0,0000000	-0,0000648
	spąg	-0,0000541	0,0000000	0,0000000	-0,0000340	0,0000000	-0,0000340
(11) EC/PMB/AC22W żwir	strop	-0,0000213	0,0000000	0,0000000	-0,0000340	0,0000000	-0,0000340
	spąg	-0,0000364	0,0000000	0,0000000	0,0000026	0,0000000	0,0000026
(8) EC/PMB/AC22P Żwir	strop	-0,0000387	0,0000000	0,0000000	0,0000026	0,0000000	0,0000026
	spąg	-0,0000504	0,0000000	0,0000000	0,0000557	0,0000000	0,0000557
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001219	0,0000000	0,0000000	0,0000557	0,0000000	0,0000557
	spąg	-0,0000832	0,0000000	0,0000000	0,0000649	0,0000000	0,0000649
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001856	0,0000000	0,0000000	0,0000649	0,0000000	0,0000649
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(21) EC/PMB/WMS22P/W Zwir	14 223,00	0,30	0,07	12,40	2,70
(20) EC/PMB/WMS22P Zwir	12 416,00	0,30	0,14	12,70	2,50
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001924	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001906	0,0000000	0,0000000
(21) EC/PMB/WMS22P/W Zwir	strop	0,0001906	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001889	0,0000000	0,0000000
(20) EC/PMB/WMS22P Zwir	strop	0,0001889	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001838	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001838	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001655	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001655	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 ściernala z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0291187	0,0000000	-1,0291187
	spąg	-0,8161519	0,0000000	0,0000000	-0,7108887	0,0000000	-0,7108887
(21) EC/PMB/WMS22P/W Zwir	strop	-0,8161519	0,0000000	0,0000000	-1,0533489	0,0000000	-1,0533489
	spąg	-0,5408100	0,0000000	0,0000000	-0,1702042	0,0000000	-0,1702042
(20) EC/PMB/WMS22P Zwir	strop	-0,5408100	0,0000000	0,0000000	-0,1780267	0,0000000	-0,1780267
	spąg	-0,0404373	0,0000000	0,0000000	0,9659784	0,0000000	0,9659784
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0404373	0,0000000	0,0000000	0,0143485	0,0000000	0,0143485
	spąg	-0,0150983	0,0000000	0,0000000	0,0309876	0,0000000	0,0309876
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0150983	0,0000000	0,0000000	-0,0000619	0,0000000	-0,0000619
	spąg	-0,0025910	0,0000000	0,0000000	-0,0013952	0,0000000	-0,0013952

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ściernala z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000321	0,0000000	0,0000000	-0,0000637	0,0000000	-0,0000637
	spąg	-0,0000534	0,0000000	0,0000000	-0,0000346	0,0000000	-0,0000346
(21) EC/PMB/WMS22P/W Zwir	strop	-0,0000129	0,0000000	0,0000000	-0,0000346	0,0000000	-0,0000346
	spąg	-0,0000308	0,0000000	0,0000000	0,0000030	0,0000000	0,0000030
(20) EC/PMB/WMS22P Zwir	strop	-0,0000350	0,0000000	0,0000000	0,0000030	0,0000000	0,0000030
	spąg	-0,0000499	0,0000000	0,0000000	0,0000554	0,0000000	0,0000554
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001226	0,0000000	0,0000000	0,0000554	0,0000000	0,0000554
	spąg	-0,0000842	0,0000000	0,0000000	0,0000656	0,0000000	0,0000656
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001882	0,0000000	0,0000000	0,0000656	0,0000000	0,0000656
	spąg	-0,0000202	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 59 287 163 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 72 352 723 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

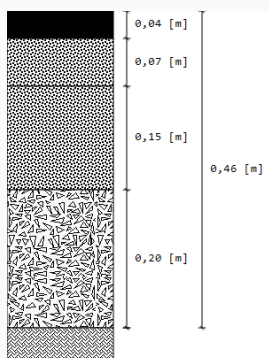
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 433 750 004 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 67 964 931 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

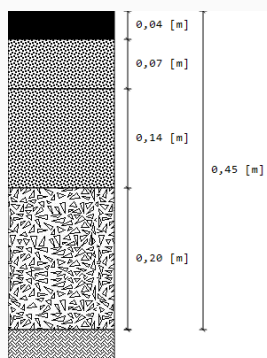
Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (11) EC/PMB/AC22W żwir
- (8) EC/PMB/AC22P Żwir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

59 287 163 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (21) EC/PMB/WMS22P/W Żwir
- (20) EC/PMB/WMS22P Żwir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

67 964 931 osi 100kN/pas/20lat**SPEŁNIA wymagania dla KR7**

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-27

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



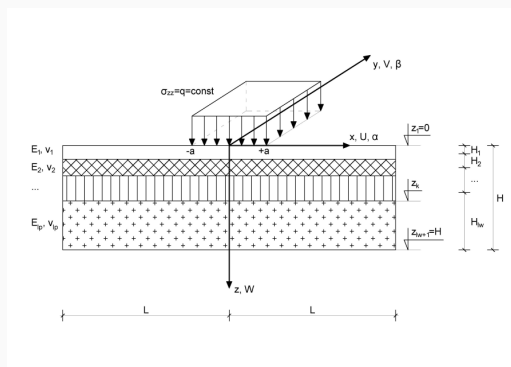
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(5) EC/PMB/AC16W Zwir	11 418,00	0,30	0,07	11,50	4,10
(2) EC/PMB/AC16P Zwir	11 550,00	0,30	0,14	10,80	5,20
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001998	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001981	0,0000000	0,0000000
(5) EC/PMB/AC16W Zwir	strop	0,0001981	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001958	0,0000000	0,0000000
(2) EC/PMB/AC16P Zwir	strop	0,0001958	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001904	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001904	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001709	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001709	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 ściernala z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0787643	0,0000000	-1,0787643
	spąg	-0,8171288	0,0000000	0,0000000	-0,7232057	0,0000000	-0,7232057
(5) EC/PMB/AC16W Zwir	strop	-0,8171288	0,0000000	0,0000000	-0,9336229	0,0000000	-0,9336229
	spąg	-0,5467982	0,0000000	0,0000000	-0,2015010	0,0000000	-0,2015010
(2) EC/PMB/AC16P Zwir	strop	-0,5467982	0,0000000	0,0000000	-0,2011214	0,0000000	-0,2011214
	spąg	-0,0432554	0,0000000	0,0000000	0,9519058	0,0000000	0,9519058
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0432554	0,0000000	0,0000000	0,0150704	0,0000000	0,0150704
	spąg	-0,0158548	0,0000000	0,0000000	0,0328667	0,0000000	0,0328667
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0158548	0,0000000	0,0000000	0,0000053	0,0000000	0,0000053
	spąg	-0,0026082	0,0000000	0,0000000	-0,0014044	0,0000000	-0,0014044

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ściernala z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000280	0,0000000	0,0000000	-0,0000684	0,0000000	-0,0000684
	spąg	-0,0000525	0,0000000	0,0000000	-0,0000358	0,0000000	-0,0000358
(5) EC/PMB/AC16W Zwir	strop	-0,0000225	0,0000000	0,0000000	-0,0000358	0,0000000	-0,0000358
	spąg	-0,0000373	0,0000000	0,0000000	0,0000020	0,0000000	0,0000020
(2) EC/PMB/AC16P Zwir	strop	-0,0000369	0,0000000	0,0000000	0,0000020	0,0000000	0,0000020
	spąg	-0,0000532	0,0000000	0,0000000	0,0000588	0,0000000	0,0000588
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001307	0,0000000	0,0000000	0,0000588	0,0000000	0,0000588
	spąg	-0,0000889	0,0000000	0,0000000	0,0000694	0,0000000	0,0000694
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001982	0,0000000	0,0000000	0,0000694	0,0000000	0,0000694
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(14) EC/D30/WMS16PW Zwir	15 140,00	0,30	0,07	12,60	2,40
(13) EC/D30/WMS16P Zwir	13 686,00	0,30	0,14	12,60	2,50
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001875	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001857	0,0000000	0,0000000
(14) EC/D30/WMS16PW Zwir	strop	0,0001857	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001841	0,0000000	0,0000000
(13) EC/D30/WMS16P Zwir	strop	0,0001841	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001795	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001795	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001619	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001619	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-0,9977113	0,0000000	-0,9977113
	spąg	-0,8177891	0,0000000	0,0000000	-0,7011542	0,0000000	-0,7011542
(14) EC/D30/WMS16PW Zwir	strop	-0,8177891	0,0000000	0,0000000	-1,0777676	0,0000000	-1,0777676
	spąg	-0,5457144	0,0000000	0,0000000	-0,1953124	0,0000000	-0,1953124
(13) EC/D30/WMS16P Zwir	strop	-0,5457144	0,0000000	0,0000000	-0,1990161	0,0000000	-0,1990161
	spąg	-0,0383944	0,0000000	0,0000000	1,0041728	0,0000000	1,0041728
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0383944	0,0000000	0,0000000	0,0133751	0,0000000	0,0133751
	spąg	-0,0145953	0,0000000	0,0000000	0,0294856	0,0000000	0,0294856
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0145953	0,0000000	0,0000000	-0,0001610	0,0000000	-0,0001610
	spąg	-0,0025814	0,0000000	0,0000000	-0,0013900	0,0000000	-0,0013900

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000347	0,0000000	0,0000000	-0,0000607	0,0000000	-0,0000607
	spąg	-0,0000544	0,0000000	0,0000000	-0,0000336	0,0000000	-0,0000336
(14) EC/D30/WMS16PW Zwir	strop	-0,0000113	0,0000000	0,0000000	-0,0000336	0,0000000	-0,0000336
	spąg	-0,0000283	0,0000000	0,0000000	0,0000018	0,0000000	0,0000018
(13) EC/D30/WMS16P Zwir	strop	-0,0000311	0,0000000	0,0000000	0,0000018	0,0000000	0,0000018
	spąg	-0,0000468	0,0000000	0,0000000	0,0000522	0,0000000	0,0000522
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001160	0,0000000	0,0000000	0,0000522	0,0000000	0,0000522
	spąg	-0,0000807	0,0000000	0,0000000	0,0000625	0,0000000	0,0000625
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001810	0,0000000	0,0000000	0,0000625	0,0000000	0,0000625
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 62 964 925 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 53 829 097 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

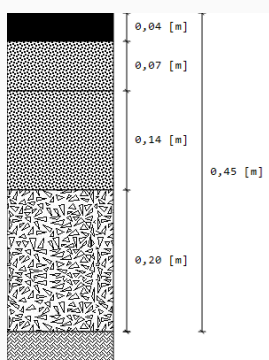
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 479 657 042 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 80 867 197 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



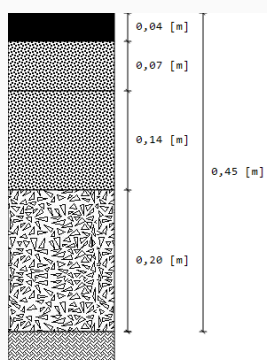
Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (5) EC/PMB/AC16W Zwir
- (2) EC/PMB/AC16P Zwir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

53 829 097 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (14) EC/D30/WMS16PW Zwir
- (13) EC/D30/WMS16P Zwir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

80 867 197 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-24

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



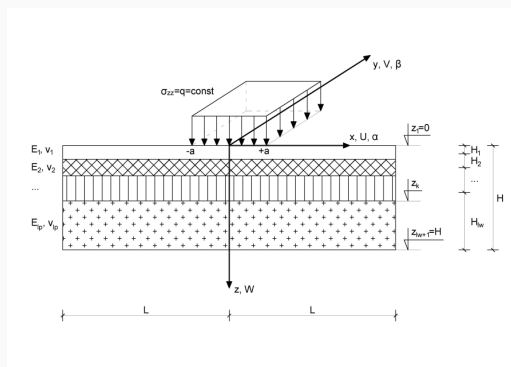
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(5) EC/PMB/AC16W Zwir	11 418,00	0,30	0,07	11,50	4,10
(2) EC/PMB/AC16P Zwir	11 550,00	0,30	0,14	10,80	5,20
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001998	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001981	0,0000000	0,0000000
(5) EC/PMB/AC16W Zwir	strop	0,0001981	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001958	0,0000000	0,0000000
(2) EC/PMB/AC16P Zwir	strop	0,0001958	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001904	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001904	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001709	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001709	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 ściernala z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0787643	0,0000000	-1,0787643
	spąg	-0,8171288	0,0000000	0,0000000	-0,7232057	0,0000000	-0,7232057
(5) EC/PMB/AC16W Zwir	strop	-0,8171288	0,0000000	0,0000000	-0,9336229	0,0000000	-0,9336229
	spąg	-0,5467982	0,0000000	0,0000000	-0,2015010	0,0000000	-0,2015010
(2) EC/PMB/AC16P Zwir	strop	-0,5467982	0,0000000	0,0000000	-0,2011214	0,0000000	-0,2011214
	spąg	-0,0432554	0,0000000	0,0000000	0,9519058	0,0000000	0,9519058
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0432554	0,0000000	0,0000000	0,0150704	0,0000000	0,0150704
	spąg	-0,0158548	0,0000000	0,0000000	0,0328667	0,0000000	0,0328667
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0158548	0,0000000	0,0000000	0,0000053	0,0000000	0,0000053
	spąg	-0,0026082	0,0000000	0,0000000	-0,0014044	0,0000000	-0,0014044

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ściernala z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000280	0,0000000	0,0000000	-0,0000684	0,0000000	-0,0000684
	spąg	-0,0000525	0,0000000	0,0000000	-0,0000358	0,0000000	-0,0000358
(5) EC/PMB/AC16W Zwir	strop	-0,0000225	0,0000000	0,0000000	-0,0000358	0,0000000	-0,0000358
	spąg	-0,0000373	0,0000000	0,0000000	0,0000020	0,0000000	0,0000020
(2) EC/PMB/AC16P Zwir	strop	-0,0000369	0,0000000	0,0000000	0,0000020	0,0000000	0,0000020
	spąg	-0,0000532	0,0000000	0,0000000	0,0000588	0,0000000	0,0000588
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001307	0,0000000	0,0000000	0,0000588	0,0000000	0,0000588
	spąg	-0,0000889	0,0000000	0,0000000	0,0000694	0,0000000	0,0000694
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001982	0,0000000	0,0000000	0,0000694	0,0000000	0,0000694
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona 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
(16) EC/PMB/WMS16P/W Zwir	14 332,00	0,30	0,07	12,60	2,50
(15) EC/PMB/WMS16P Zwir	12 384,00	0,30	0,14	12,60	2,90
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001923	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001906	0,0000000	0,0000000
(16) EC/PMB/WMS16P/W Zwir	strop	0,0001906	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001889	0,0000000	0,0000000
(15) EC/PMB/WMS16P Zwir	strop	0,0001889	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001838	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001838	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001654	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001654	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 ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0285711	0,0000000	-1,0285711
	spąg	-0,8160029	0,0000000	0,0000000	-0,7107234	0,0000000	-0,7107234
(16) EC/PMB/WMS16P/W Zwir	strop	-0,8160029	0,0000000	0,0000000	-1,0584779	0,0000000	-1,0584779
	spąg	-0,5401586	0,0000000	0,0000000	-0,1665895	0,0000000	-0,1665895
(15) EC/PMB/WMS16P Zwir	strop	-0,5401586	0,0000000	0,0000000	-0,1754117	0,0000000	-0,1754117
	spąg	-0,0404279	0,0000000	0,0000000	0,9641895	0,0000000	0,9641895
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0404279	0,0000000	0,0000000	0,0143765	0,0000000	0,0143765
	spąg	-0,0150915	0,0000000	0,0000000	0,0309890	0,0000000	0,0309890
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0150915	0,0000000	0,0000000	-0,0000586	0,0000000	-0,0000586
	spąg	-0,0025907	0,0000000	0,0000000	-0,0013950	0,0000000	-0,0013950

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000321	0,0000000	0,0000000	-0,0000636	0,0000000	-0,0000636
	spąg	-0,0000534	0,0000000	0,0000000	-0,0000346	0,0000000	-0,0000346
(16) EC/PMB/WMS16P/W Zwir	strop	-0,0000126	0,0000000	0,0000000	-0,0000346	0,0000000	-0,0000346
	spąg	-0,0000307	0,0000000	0,0000000	0,0000032	0,0000000	0,0000032
(15) EC/PMB/WMS16P Zwir	strop	-0,0000351	0,0000000	0,0000000	0,0000032	0,0000000	0,0000032
	spąg	-0,0000500	0,0000000	0,0000000	0,0000555	0,0000000	0,0000555
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001226	0,0000000	0,0000000	0,0000555	0,0000000	0,0000555
	spąg	-0,0000842	0,0000000	0,0000000	0,0000655	0,0000000	0,0000655
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001881	0,0000000	0,0000000	0,0000655	0,0000000	0,0000655
	spąg	-0,0000202	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 62 964 925 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 53 829 097 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

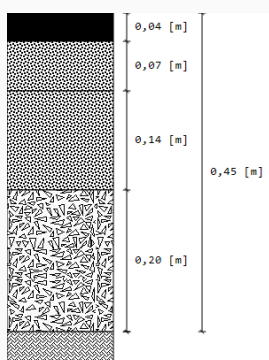
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 337 196 878 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 68 055 789 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



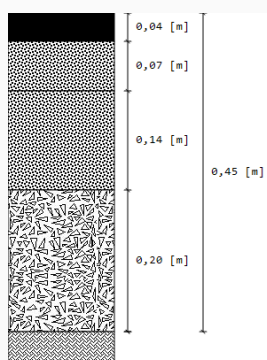
Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (5) EC/PMB/AC16W Zwir
- (2) EC/PMB/AC16P Zwir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

53 829 097 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (16) EC/PMB/WMS16P/W Zwir
- (15) EC/PMB/WMS16P Zwir
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

68 055 789 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-26

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



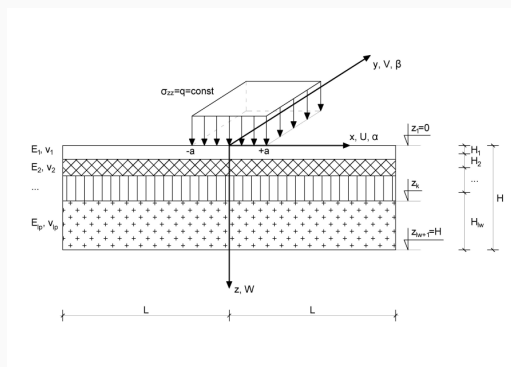
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

IV WYNIKI

1 WYNIKI - KONSTRUKCJA 1

KONSTRUKCJA

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona ν	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
(10) EC/D30/AC22W	12 840,00	0,30	0,07	11,10	4,40
(7) EC/D30/AC22P	12 145,00	0,30	0,14	10,30	4,30
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001954	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001937	0,0000000	0,0000000
(10) EC/D30/AC22W	strop	0,0001937	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001917	0,0000000	0,0000000
(7) EC/D30/AC22P	strop	0,0001917	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001865	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001865	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001677	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001677	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0495107	0,0000000	-1,0495107
	spąg	-0,8168287	0,0000000	0,0000000	-0,7164798	0,0000000	-0,7164798
(10) EC/D30/AC22W	strop	-0,8168287	0,0000000	0,0000000	-0,9945501	0,0000000	-0,9945501
	spąg	-0,5446049	0,0000000	0,0000000	-0,1908466	0,0000000	-0,1908466
(7) EC/D30/AC22P	strop	-0,5446049	0,0000000	0,0000000	-0,1931500	0,0000000	-0,1931500
	spąg	-0,0415331	0,0000000	0,0000000	0,9647425	0,0000000	0,9647425
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0415331	0,0000000	0,0000000	0,0145605	0,0000000	0,0145605
	spąg	-0,0154058	0,0000000	0,0000000	0,0317069	0,0000000	0,0317069
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0154058	0,0000000	0,0000000	-0,0000442	0,0000000	-0,0000442
	spąg	-0,0025985	0,0000000	0,0000000	-0,0013992	0,0000000	-0,0013992

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000304	0,0000000	0,0000000	-0,0000656	0,0000000	-0,0000656
	spąg	-0,0000530	0,0000000	0,0000000	-0,0000351	0,0000000	-0,0000351
(10) EC/D30/AC22W	strop	-0,0000171	0,0000000	0,0000000	-0,0000351	0,0000000	-0,0000351
	spąg	-0,0000335	0,0000000	0,0000000	0,0000023	0,0000000	0,0000023
(7) EC/D30/AC22P	strop	-0,0000353	0,0000000	0,0000000	0,0000023	0,0000000	0,0000023
	spąg	-0,0000511	0,0000000	0,0000000	0,0000566	0,0000000	0,0000566
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001257	0,0000000	0,0000000	0,0000566	0,0000000	0,0000566
	spąg	-0,0000861	0,0000000	0,0000000	0,0000670	0,0000000	0,0000670
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001922	0,0000000	0,0000000	0,0000670	0,0000000	0,0000670
	spąg	-0,0000202	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(19) EC/D30/WMS22P/W Zwir	14 782,00	0,30	0,07	12,40	2,60
(18) EC/D30/WMS/22P Zwir	13 055,00	0,30	0,14	12,70	2,40
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001898	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001880	0,0000000	0,0000000
(19) EC/D30/WMS22P/W Zwir	strop	0,0001880	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001863	0,0000000	0,0000000
(18) EC/D30/WMS/22P Zwir	strop	0,0001863	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001815	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001815	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001635	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001635	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0118794	0,0000000	-1,0118794
	spąg	-0,8169357	0,0000000	0,0000000	-0,7056353	0,0000000	-0,7056353
(19) EC/D30/WMS22P/W Zwir	strop	-0,8169357	0,0000000	0,0000000	-1,0700189	0,0000000	-1,0700189
	spąg	-0,5429921	0,0000000	0,0000000	-0,1812185	0,0000000	-0,1812185
(18) EC/D30/WMS/22P Zwir	strop	-0,5429921	0,0000000	0,0000000	-0,1872344	0,0000000	-0,1872344
	spąg	-0,0393307	0,0000000	0,0000000	0,9850539	0,0000000	0,9850539
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0393307	0,0000000	0,0000000	0,0138421	0,0000000	0,0138421
	spąg	-0,0148242	0,0000000	0,0000000	0,0301815	0,0000000	0,0301815
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0148242	0,0000000	0,0000000	-0,0001132	0,0000000	-0,0001132
	spąg	-0,0025857	0,0000000	0,0000000	-0,0013923	0,0000000	-0,0013923

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000335	0,0000000	0,0000000	-0,0000620	0,0000000	-0,0000620
	spąg	-0,0000539	0,0000000	0,0000000	-0,0000341	0,0000000	-0,0000341
(19) EC/D30/WMS22P/W Zwir	strop	-0,0000118	0,0000000	0,0000000	-0,0000341	0,0000000	-0,0000341
	spąg	-0,0000294	0,0000000	0,0000000	0,0000024	0,0000000	0,0000024
(18) EC/D30/WMS/22P Zwir	strop	-0,0000330	0,0000000	0,0000000	0,0000024	0,0000000	0,0000024
	spąg	-0,0000483	0,0000000	0,0000000	0,0000537	0,0000000	0,0000537
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001191	0,0000000	0,0000000	0,0000537	0,0000000	0,0000537
	spąg	-0,0000823	0,0000000	0,0000000	0,0000639	0,0000000	0,0000639
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001843	0,0000000	0,0000000	0,0000639	0,0000000	0,0000639
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 96 289 124 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 61 848 948 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

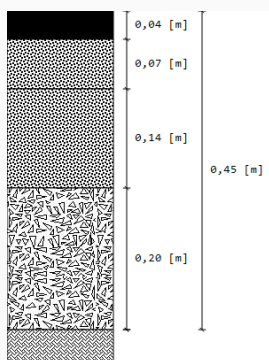
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 489 815 721 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 74 612 013 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C

- (10) EC/D30/AC22W

- (7) EC/D30/AC22P

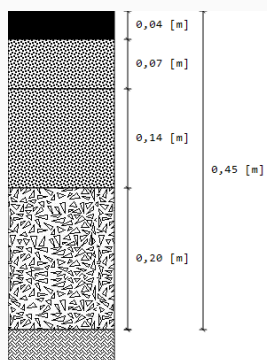
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3

- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

61 848 948 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C

- (19) EC/D30/WMS22P/W Zwir

- (18) EC/D30/WMS22P Zwir

- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3

- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

74 612 013 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7

RAPORT

Z OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTCZNO-EMPIRYCZNĄ

Autor Stanisław

Projekt

Data 2020-11-20

Zamawiający

Pracownia projektowa Sbi - Biuro Inżynierskie Stanisław Styk



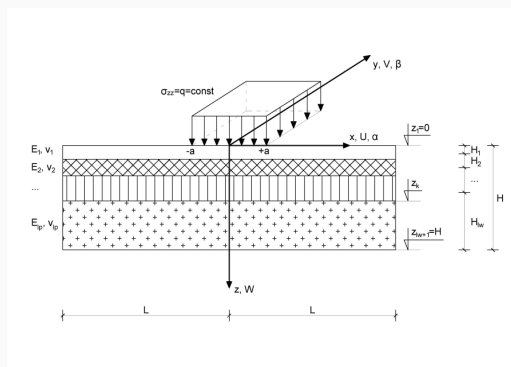
OPIS METODY OBLICZANIA STANU NAPRĘŻEŃ, ODKSZTAŁCEŃ I PRZEMIESZCZEŃ

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:

KR7

Liczba dopuszczalnych osi obliczeniowych dla kategorii ruchu:

od 53 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

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
(94) EC/D30/AC22W Wapień	12 109,00	0,30	0,07	10,70	4,50
(91) EC/D30/AC22P Wapień	12 171,00	0,30	0,14	10,30	5,00
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001966	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001949	0,0000000	0,0000000
(94) EC/D30/AC22W Wapień	strop	0,0001949	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001927	0,0000000	0,0000000
(91) EC/D30/AC22P Wapień	strop	0,0001927	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001876	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001876	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001686	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001686	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0577114	0,0000000	-1,0577114
	spąg	-0,8176407	0,0000000	0,0000000	-0,7182492	0,0000000	-0,7182492
(94) EC/D30/AC22W Wapień	strop	-0,8176407	0,0000000	0,0000000	-0,9605646	0,0000000	-0,9605646
	spąg	-0,5480295	0,0000000	0,0000000	-0,2075383	0,0000000	-0,2075383
(91) EC/D30/AC22P Wapień	strop	-0,5480295	0,0000000	0,0000000	-0,2073984	0,0000000	-0,2073984
	spąg	-0,0419151	0,0000000	0,0000000	0,9706764	0,0000000	0,9706764
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0419151	0,0000000	0,0000000	0,0145280	0,0000000	0,0145280
	spąg	-0,0155262	0,0000000	0,0000000	0,0319298	0,0000000	0,0319298
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0155262	0,0000000	0,0000000	-0,0000499	0,0000000	-0,0000499
	spąg	-0,0026019	0,0000000	0,0000000	-0,0014010	0,0000000	-0,0014010

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000297	0,0000000	0,0000000	-0,0000664	0,0000000	-0,0000664
	spąg	-0,0000530	0,0000000	0,0000000	-0,0000353	0,0000000	-0,0000353
(94) EC/D30/AC22W Wapień	strop	-0,0000199	0,0000000	0,0000000	-0,0000353	0,0000000	-0,0000353
	spąg	-0,0000350	0,0000000	0,0000000	0,0000016	0,0000000	0,0000016
(91) EC/D30/AC22P Wapień	strop	-0,0000348	0,0000000	0,0000000	0,0000016	0,0000000	0,0000016
	spąg	-0,0000513	0,0000000	0,0000000	0,0000569	0,0000000	0,0000569
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001266	0,0000000	0,0000000	0,0000569	0,0000000	0,0000569
	spąg	-0,0000867	0,0000000	0,0000000	0,0000675	0,0000000	0,0000675
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001936	0,0000000	0,0000000	0,0000675	0,0000000	0,0000675
	spąg	-0,0000203	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

2 WYNIKI - KONSTRUKCJA 2

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
(97) EC/D30/WMS22PW	14 047,00	0,30	0,07	12,00	2,40
(97) EC/D30/WMS22PW	14 047,00	0,30	0,14	12,00	2,40
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	400,00	0,30	0,20		
Warstwa podłoża gruntowego G1	80,00	0,35	podłoże gruntowe		

PRZEMIESZCZENIE

Warstwa		W [m]	V [m]	U [m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	0,0001882	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001864	0,0000000	0,0000000
(97) EC/D30/WMS22PW	strop	0,0001864	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001846	0,0000000	0,0000000
(97) EC/D30/WMS22PW	strop	0,0001846	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001801	0,0000000	0,0000000
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	0,0001801	0,0000000	0,0000000
	spąg	0,0001626	0,0000000	0,0000000
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	0,0001626	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 mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,8515982	0,0000000	0,0000000	-1,0030669	0,0000000	-1,0030669
	spąg	-0,8192238	0,0000000	0,0000000	-0,7028927	0,0000000	-0,7028927
(97) EC/D30/WMS22PW	strop	-0,8192238	0,0000000	0,0000000	-1,0280396	0,0000000	-1,0280396
	spąg	-0,5520517	0,0000000	0,0000000	-0,2274918	0,0000000	-0,2274918
(97) EC/D30/WMS22PW	strop	-0,5520517	0,0000000	0,0000000	-0,2274918	0,0000000	-0,2274918
	spąg	-0,0384840	0,0000000	0,0000000	1,0230575	0,0000000	1,0230575
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0384840	0,0000000	0,0000000	0,0131089	0,0000000	0,0131089
	spąg	-0,0146637	0,0000000	0,0000000	0,0294802	0,0000000	0,0294802
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0146637	0,0000000	0,0000000	-0,0001927	0,0000000	-0,0001927
	spąg	-0,0025846	0,0000000	0,0000000	-0,0013917	0,0000000	-0,0013917

ODKSZTAŁCENIE

Warstwa		EPSIZZ [m/m]	EPSIZY [m/m]	EPSIZX [m/m]	EPSIYY [m/m]	EPSIYX [m/m]	EPSIXX [m/m]
Warstwa ścieralna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C	strop	-0,0000342	0,0000000	0,0000000	-0,0000612	0,0000000	-0,0000612
	spąg	-0,0000545	0,0000000	0,0000000	-0,0000337	0,0000000	-0,0000337
(97) EC/D30/WMS22PW	strop	-0,0000144	0,0000000	0,0000000	-0,0000337	0,0000000	-0,0000337
	spąg	-0,0000296	0,0000000	0,0000000	0,0000005	0,0000000	0,0000005
(97) EC/D30/WMS22PW	strop	-0,0000296	0,0000000	0,0000000	0,0000005	0,0000000	0,0000005
	spąg	-0,0000464	0,0000000	0,0000000	0,0000518	0,0000000	0,0000518
Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3	strop	-0,0001159	0,0000000	0,0000000	0,0000518	0,0000000	0,0000518
	spąg	-0,0000809	0,0000000	0,0000000	0,0000626	0,0000000	0,0000626
Warstwa podłoża gruntowego G1	strop	-0,0001816	0,0000000	0,0000000	0,0000626	0,0000000	0,0000626
	spąg	-0,0000201	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

V — TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

1 — KONSTRUKCJA 1

Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 65 951 438 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 59 791 915 osi 100kN/pas/20lat

2 — KONSTRUKCJA 2

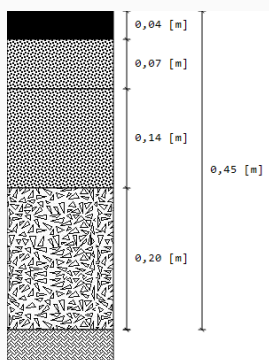
Kryterium spękań zmęczeniowych
Kryterium deformacji strukturalnych

N = 472 334 915 osi 100kN/pas/20lat

N_s = 79 718 890 osi 100kN/pas/20lat

VI — WYNIKI PORÓWNAWCZE - PODSUMOWANIE

Wymagana trwałość dla zakładanej kategorii ruchu KR7:
od 53 mln osi 100kN/pas/20lat



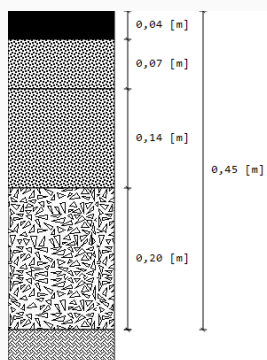
Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (94) EC/D30/AC22W Wapień
- (91) EC/D30/AC22P Wapień
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 1:

59 791 915 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7



Układ warstw konstrukcyjnych:

- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego (SMA) KR3-KR7 konstrukcja podatna +13°C
- (97) EC/D30/WMS22PW
- (97) EC/D30/WMS22PW
- Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3
- Warstwa podłoża gruntowego G1

Trwałość zmęczeniowa Konstrukcji 2:

79 718 890 osi 100kN/pas/20lat

SPEŁNIA wymagania dla KR7