

## WPLYW GRUBOŚCI PODBUDOWY NIEZWIĄZANEJ NA TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWĄ NAWIERZCHNI DROGOWEJ

### Streszczenie

W artykule omówiony został problem wpływu grubości podbudowy niezwiązanej na trwałość zmęczeniową podatnej nawierzchni drogowej. Analizy przeprowadzono dla jedenastu wariantów grubości podbudowy. W obliczeniach przeprowadzonych metodą mechanistyczno-empiryczną uwzględniono podział roku na sezony temperaturowe. Potwierdzono istotny wpływ zmian grubości podbudowy na trwałość całej konstrukcji.

### WSTĘP

Trwałość konstrukcji nawierzchni drogowej uzależniona jest od wielu czynników zarówno technicznych jak i środowiskowych. Dobór odpowiednich materiałów i technologii oraz zaprojektowanie właściwych grubości warstw konstrukcji stanowią jedno z najistotniejszych elementów [1, 2].

W artykule dokonano analizy wpływu grubości podbudowy z kruszywa na trwałość konstrukcji nawierzchni drogowej z uwzględnieniem podziału na sezony temperaturowe. Obliczenia przeprowadzono metodą mechanistyczno-empiryczną wg kryteriów Instytutu Asfaltowego oraz Shella dla konstrukcji nawierzchni podatnej z jedenastoma wariantami grubości podbudowy niezwiązanej w przedziale od 20 do 40 cm i kategorii obciążenia ruchem KR5. W analizach wykorzystano wyniki uzyskane w ramach pracy [3].

### 1. ZAŁOŻENIA

Przyjęto następujące założenia dotyczące obciążenia:

- obciążenie ruchem KR5
- pojedyncza oś standardowa – 115 kN
- koło pojedyncze o nacisku – 57,5 kN
- ciśnienie kontaktowe pomiędzy kołem a nawierzchnią – 700 kPa
- czas obciążenia – 0,02 s

Zgodnie z Katalogiem [4] w analizie nawierzchni założono następujące temperatury odpowiadające czterem porom roku oraz przypisano odpowiednie wagi obciążenia ruchem dla poszczególnych pór roku:

- |                  |       |                       |
|------------------|-------|-----------------------|
| – zima           | -2°C  | 20% obciążenia ruchem |
| – wiosna, jesień | +10°C | 50% obciążenia ruchem |
| – lato           | +23°C | 30% obciążenia ruchem |

W obliczeniach wytrzymałościowych wykorzystano model konstrukcji w postaci wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej.

W celu określenia trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych i trwałości podłoża ze względu na deformacje strukturalne nawierzchni zastosowano kryteria zmęczeniowe Instytutu Asfaltowego wg których moment zniszczenia następuje w chwili wystąpienia spękań zmęczeniowych na 20% powierzchni lub pojawienia się deformacji strukturalnej o głębokości 12,5 mm.

### 2. PARAMETRY WARSTW KONSTRUKCYJNYCH

Założono, iż konstrukcja nawierzchni jest posadowiona na podłożu gruntowym opisanym wtórnym modulem odkształcenia  $E=120$  MPa oraz współczynnikiem Poissona wynoszącym 0,3.

W analizie wpływu grubości podbudowy niezwiązanej z mieszanki kruszywa 0/31,5 na trwałość konstrukcji nawierzchni zasto-

sowano początkowy układ warstw konstrukcyjnych dla obciążenia ruchem KR5:

- warstwa ścieralna AC 11 S (asfalt wielorodzajowy 35/50) – 4 cm
- warstwa wiążąca AC 16 W (asfalt wielorodzajowy 35/50) – 8 cm
- warstwa podbudowy AC 22 P (asfalt wielorodzajowy 35/50) – 12 cm
- warstwa podbudowy niezwiązanej z mieszanki kruszywa 0/31,5 – 20 cm

W kolejnych etapach zwiększano grubość podbudowy niezwiązanej z mieszanki kruszywa 0/31,5 o 2 cm. Za pomocą programu Bisar 3.0 wyznaczano odkształcenia liniowe rozciągające na spodzie warstw bitumicznych oraz odkształcenia liniowe ściskające na górze podłoża gruntowego.

Dla potrzeb analizy założono, że we wszystkich warstwach bitumicznych lepiszczce będzie stanowił asfalt wielorodzajowy 35/50 o następujących parametrach technicznych:

- temperatura mięknięcia – 57°C
- penetracja w 25°C – 35 [0,1mm],  
a mieszanka MMA w zależności od warstwy będzie zawierać:
- 6% v/v (S), 5% v/v (W), 5,5% v/v(P) lepiszczca (Vb)
- 89% v/v (S), 87% v/v (W), 90% v/v (P) kruszywa
- 5% v/v (S), 8% v/v (W), 4,5% v/v(P) wolnych przestrzeni (Va)

Zostały one obliczone w programie BANDS 2.0.

W obliczeniach założono, że penetracja wynosi 35 [0,1mm] dla poszczególnych warstw bitumicznych i w związku z tym dla opisanych powyżej parametrów materiałowych moduły sztywności  $E$  mieszanek MMA w zależności od sezonu temperaturowego wynoszą:

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| – $T=-2^{\circ}\text{C}$ :  | 28,7 GPa (S), 25,1 GPa (W), 30,6 GPa (P) |
| – $T=+10^{\circ}\text{C}$ : | 19,1 GPa (S), 16,0 GPa (W), 20,8 GPa (P) |
| – $T=+23^{\circ}\text{C}$ : | 9,05 GPa (S), 7,77 GPa (W), 10,2 GPa (P) |

### 3. OBLICZENIA

Obliczenia przeprowadzono za pomocą oprogramowania komputerowego BANDS 2.0 i BISAR 3.0.

Liczbę dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych  $N_{asf}$  wyznaczono w oparciu o:

1. kryterium Instytutu Asfaltowego ze wzoru:

$$N_{asf} = 18,4 \cdot C \cdot (6,167 \cdot 10^{-5} \cdot \epsilon_{xx}^{-3,291} \cdot |E_{MMA}|^{-0,854}) \quad (1)$$

gdzie:

$\epsilon_{xx}$  – odkształcenie liniowe rozciągające w spodzie dolnej warstwy bitumicznej

$|E_{MMA}|$  – moduł sztywności mieszanki MMA

$$C = 10^{4,84 \cdot \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69\right)} \quad (2)$$

$V_a$  – zawartość objętościowa wolnej przestrzeni  
 $V_b$  – zawartość objętościowa asfaltu

2. kryterium Shella ze wzoru:

$$N_{asf} = \frac{[(0,856 \cdot V_b + 1,08) \cdot (E_{MMA})^{-0,36}]^5}{\varepsilon_{xx}^5} \quad (3)$$

gdzie:

$\varepsilon_{xx}$  – odkształcenie rozciągające w warstwach asfaltowych

$V_s$  – zawartość objętościowa asfaltu

$E_{MMA}$  – moduł sztywności mieszanki MMA [N/m<sup>2</sup>]

Liczbę dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia krytycznych deformacji trwałych  $N_k$  wyznaczono w oparciu o kryterium Instytutu Asfaltowego oraz kryterium Shella na podstawie zależności:

$$N_k = \left(\frac{k}{\varepsilon_{zz}}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (4)$$

gdzie:

$\varepsilon_{zz}$  – pionowe odkształcenie liniowe ściskające na poziomie podłoża gruntowego

$k, m$  – empiryczne współczynniki materiałowe:

- dla kryterium Instytutu Asfaltowego:  $k=1,05 \cdot 10^{-2}$ ,  $m=0,233$
- dla kryterium Shella:  $k=1,8 \cdot 10^{-2}$ ,  $m=0,25$ ,

Trwałość zmęczeniową  $N_f$  obliczono zarówno dla kryterium Instytutu Asfaltowego, jak i kryterium Shella ze wzoru:

$$N_f = \min(N_{asf}; N_k) \quad (5)$$

Otrzymanym wartościom trwałości zmęczeniowych warstw bitumicznych dla poszczególnych pór roku przypisano wagi obciążenia ruchem i wyznaczono trwałość zmęczeniową warstw bitumicznych dla cyklu całorocznego ze wzoru:

$$N_{asf}^{4 \text{ sezonowy}} = \frac{1}{\frac{0,2}{N_{asf}^{T=-2^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,5}{N_{asf}^{T=+10^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,3}{N_{asf}^{T=+23^{\circ}\text{C}}}} \quad (6)$$

W analogiczny sposób obliczono trwałość podłoża dla cyklu całorocznego.

Całkowitą trwałość zmęczeniową określono jako:

$$N_{asf}^{4 \text{ sezonowy}} = \frac{1}{\frac{0,2}{N_{asf}^{T=-2^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,5}{N_{asf}^{T=+10^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,3}{N_{asf}^{T=+23^{\circ}\text{C}}}} \quad (7)$$

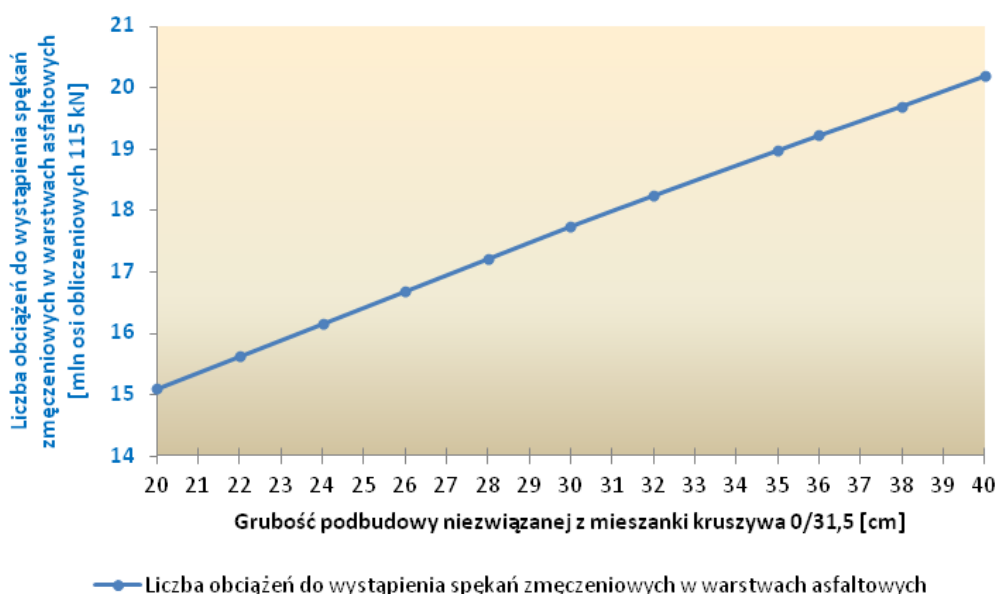
## 4. WYNIKI ANALIZY TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

Wymagana trwałość dla 20-letniego okresu eksploatacji nawierzchni podatnej obciążonej ruchem KR5 wynosi 4,18 – 8,35 mln osi obciążeniowych 115 kN.

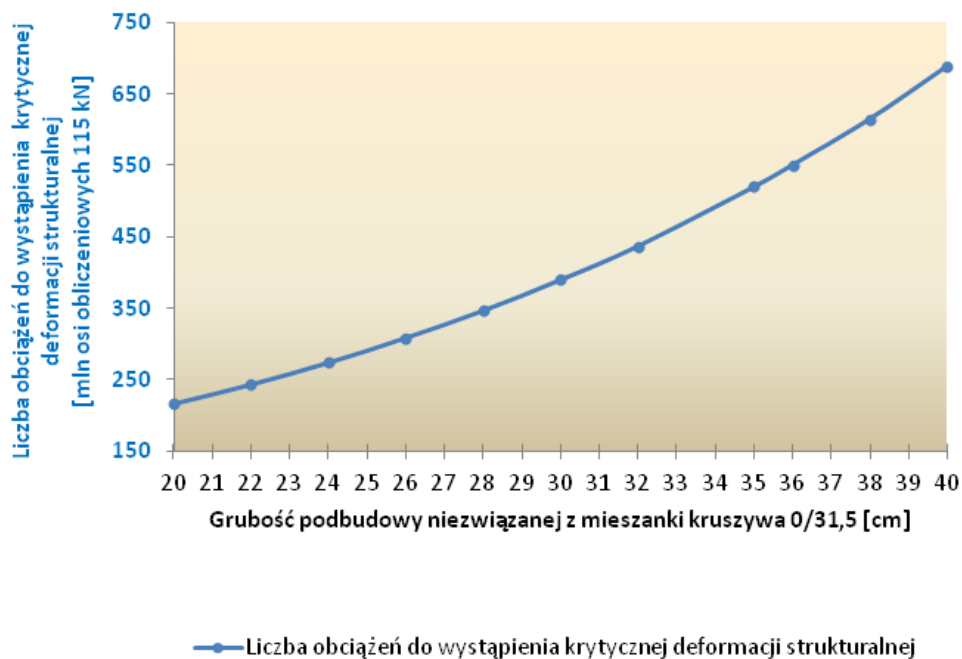
Na rysunku 1 przedstawiono trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni drogowej wg kryterium Instytutu Asfaltowego, wyznaczoną dla różnych grubości podbudowy niezwiązanej z kruszywa.

Na rysunku 2 przedstawiono trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni drogowej wg kryterium deformacji strukturalnych, wyznaczoną dla różnych grubości podbudowy niezwiązanej z kruszywa.

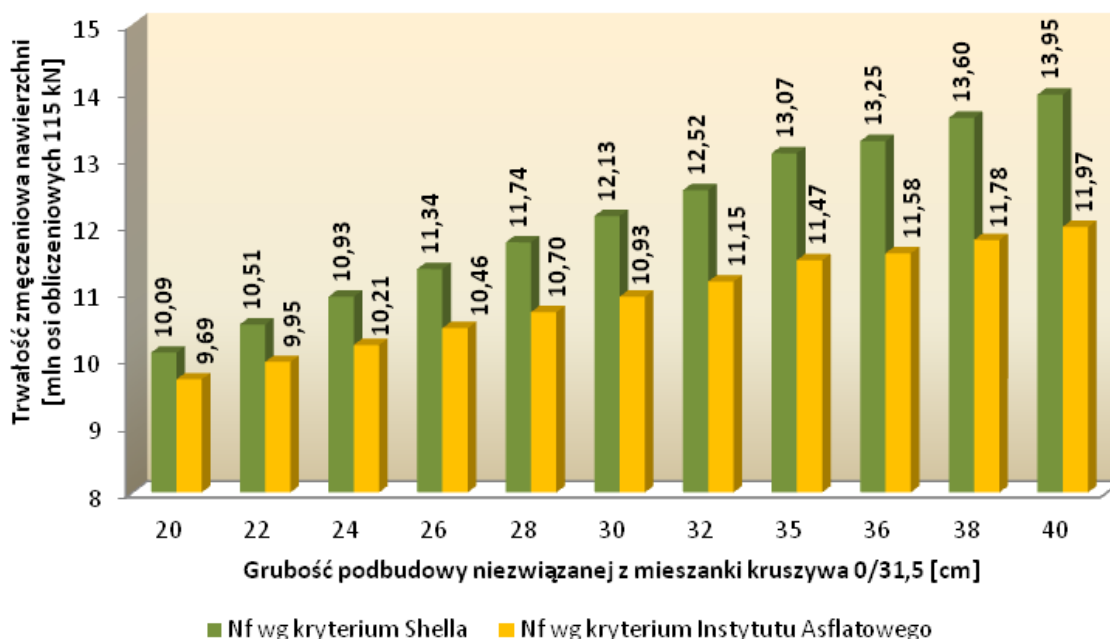
Uzyskane wyniki wykazują prawidłową tendencję. Wraz ze wzrostem grubości warstwy podbudowy następuje wzrost jej trwałości zmęczeniowej.



Rys. 1. Wpływ grubości warstwy podbudowy niezwiązanej z mieszanki kruszywa 0/31,5 na trwałość zmęczeniową dla  $T=+10^{\circ}\text{C}$  wg kryterium spękań zmęczeniowych Shella



Rys. 2. Wpływ grubości warstwy podbudowy niezwiązanej z mieszanki kruszywa 0/31,5 na trwałość zmęczeniową dla  $T=+10^{\circ}\text{C}$  wg kryterium deformacji strukturalnych Shella



Rys. 3. Porównanie trwałości zmęczeniowych nawierzchni dla cyklu całorocznego wyznaczonych dla różnych grubości warstwy podbudowy z niezwiązanej z mieszanki kruszywa 0/31,5 w oparciu o kryterium Instytutu Asfaltowego oraz kryterium Shella

Na rysunku 3 dokonano porównania trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni wg kryteriów Instytutu Asfaltowego i Shella.

Wg obydwu analizowanych kryteriów trwałość nawierzchni wzrasta wraz ze wzrostem grubości warstwy podbudowy niezwiązanej. Widoczna jest natomiast różnica w liczbie osi obliczeniowych wyznaczonych wg poszczególnych kryteriów. Wyższe wartości trwałości uzyskano dla kryterium Shella.

### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie analiz wykonanych metodą mechanistyczno-empiryczną dla konstrukcji nawierzchni drogowej z jedenastoma wariantami grubości podbudowy niezwiązanej i kategorii obciążenia ruchem KR5 sformułowano następujące wnioski:

1. Dla przyjętych założeń i układu warstw konstrukcji decydujące okazało się kryterium trwałości warstw asfaltowych

2. Zwiększenie grubości podbudowy z kruszywa o 2 cm powoduje wzrost trwałości zmęczeniowej konstrukcji dla cyklu całorocznego o około 1%.

Przeprowadzone obliczenia i analizy wskazują na istotny wpływ doboru grubości warstw niezwiązanych na trwałość całej konstrukcji nawierzchni drogowej zarówno dla kryterium Instytutu Asfaltowego jak i kryterium Shella, przy czym wg pierwszego kryterium obliczona trwałość nawierzchni jest niższa.

### BIBLIOGRAFIA

1. Górszczyk J., Wpływ zbrojenia geosyntetyczną warstwą pośrednią na trwałość zmęczeniową asfaltowej nawierzchni drogowej. Dysertacja. Politechnika Krakowska, Kraków 2010
2. Krawczyk B., Szydło A., Identification of homogeneous pavement sections. Road and Bridges – Drogi i Mosty, **12**, 3, 2013, 269-281
3. Świrek M. Wpływ grubości podbudowy niezwiązanej z mieszanki kruszywa na trwałość zmęczeniową nawierzchni podatnej, Politechnika Krakowska, Kraków 2014
4. Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, Załącznik do Zarządzenia nr 6 Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z dnia 24.04.1997, Wyd. II poprawione, Warszawa 1997

## SUBBASE COURSE THICKNESS INFLUENCE ON PAVEMENT STRUCTURE FATIGUE DURABILITY

### Abstract

*Paper discussed the influence of subbase course thickness on the pavement structure fatigue durability. Analyses were performed for eleven variants of subbase course thickness. The calculations performed with using of mechanistic-empirical method takes into account the division of the year into temperature seasons. A significant impact of changes in the thickness of the subbase on the pavement structure fatigue durability was confirmed.*

Autorzy:

dr inż. **Jarosław Górszczyk** – Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej

dr inż. **Konrad Malicki** – Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej

mgr inż. **Małgorzata Świrek** – Dyplomantka, Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej