

ANALIZA WPŁYWU WARIANTU PODBUDOWY Z KRUSZYWA NA ROZKŁAD ODKSZTAŁCEŃ W KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGOWEJ

Streszczenie

W artykule omówiony został problem wpływu grubości podbudowy niezwiązanej na wielkość i rozkład odkształceń konstrukcji podatnej nawierzchni drogowej. Analizy przeprowadzono dla jedenastu wariantów grubości podbudowy. W obliczeniach wykorzystano metodę mechanistyczną. Potwierdzono istotny wpływ zmian grubości podbudowy na wielkość i rozkład odkształceń w konstrukcji nawierzchni.

WSTĘP

Wielkość odkształceń występujących w konstrukcji nawierzchni drogowej wpływa istotnie na jej trwałość zmęczeniową. Znajomość wielkości i rozkładu odkształceń umożliwia właściwy dobór warstw i materiałów w konstrukcji stanowiąc jeden z najistotniejszych elementów procesu projektowania i diagnostyki dróg [1, 2].

W artykule dokonano analizy mechanistycznej wpływu grubości podbudowy z kruszywa na wielkość i rozkład odkształceń występujących w konstrukcji podatnej nawierzchni drogowej. Obliczenia bazujące na procedurze opisanej w Katalogu [3] przeprowadzono z wykorzystaniem programu BISAR opierającego się na zmodyfikowanym modelu Burmistera. Analizie poddano konstrukcję nawierzchni z jedenastoma wariantami grubości podbudowy z kruszywa w przedziale od 20 do 40 cm, dla kategorii obciążenia ruchem KR5. W analizach wykorzystano wyniki uzyskane w ramach pracy [4].

1. ZAŁOŻENIA

W obliczeniach wykorzystano schemat modelu konstrukcji w postaci wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej. Przyjęto, iż konstrukcja nawierzchni jest posadowiona na podłożu opisanym wtórnym modułem odkształcenia $E=120$ MPa oraz współczynnikiem Poissona wynoszącym 0,3. Konstrukcję nawierzchni obciążono kołem o nacisku 57,5 kN, ciśnieniu 700 kPa i czasie obciążenia wynoszącym 0,02 s. Analizy wykonano dla temperatury $+10^{\circ}\text{C}$.

W analizie wpływu grubości podbudowy niezwiązanej z kruszywa 0/31,5 na trwałość konstrukcji nawierzchni zastosowano początkowy układ warstw konstrukcyjnych:

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

W kolejnych etapach zwiększano grubość podbudowy niezwiązanej z kruszywa 0/31,5 o 2 cm.

Za pomocą programu BISAR wyznaczano odkształcenia liniowe rozciągające na spodzie warstw bitumicznych oraz odkształcenia ściskające na górze podłoża gruntowego. Dla potrzeb analizy założono, że we wszystkich warstwach bitumicznych lepsze będzie stanowił asfalt wielorodzajowy 35/50. Moduły sztywności E mieszanek MMA zostały obliczone w programie BANDS i wynoszą 19,1 GPa (warstw ścieralna), 16,0 GPa (warstwa wiążąca), 20,8 GPa (warstwa podbudowy).

2. MODEL OBLICZENIOWY

Dla celów analizy mechanistycznej typową nawierzchnię podatną można zdefiniować jako układ, składający się z poszczególnych warstw konstrukcyjnych położonych na uwarstwionym podłożu. Każda z warstw konstrukcyjnych oraz podłoże charakteryzują się odrębnymi własnościami materiałowymi. Od lat 60-tych XX wieku badacze podejmowali próby opisanego wyężenia konstrukcji nawierzchni pod wpływem obciążenia za pomocą różnych modeli obliczeniowych. Kolejne powstające w czasie modele starały się rozważać wpływ różnego rodzaju czynników na odpowiedź układu. W toku badań [5] stwierdzono, że na zachowanie konstrukcji nawierzchni mają wpływ trzy kluczowe zmienne: charakterystyka materiałowa, geometria układu oraz warunki środowiskowe.

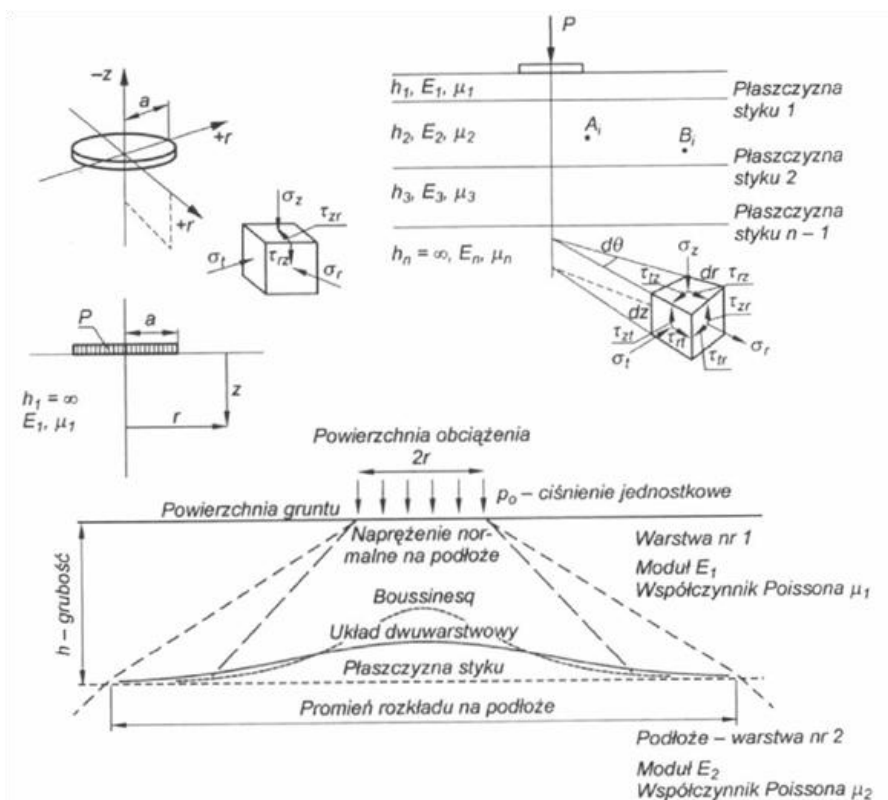
W odniesieniu do cech materiałowych są zazwyczaj brane pod uwagę:

- związek pomiędzy naprężeniem i odkształceniem (zależność liniowa / nieliniowa)
- czas trwania odkształcenia pod wpływem działania obciążenia ciągłego (materiał lepki / nielepki)
- stopień, w jakim odkształcony materiał jest w stanie powrócić do pierwotnego kształtu po zdjęciu obciążenia (materiał sprężysty / plastyczny).

Większość teoretycznych modeli zachowania nawierzchni opiera się na podejściu mechanicznego continuum. Wyróżnia się dwa rodzaje modeli - modele stanowiące zamkniętą formułę analityczną oraz modele numeryczne. Charakteryzują się one rosnącymi poziomami ufności, począwszy od rozwiązania analitycznego w postaci równania Boussinesq'a opartego na zasadach teorii sprężystości do trójwymiarowego modelu MES o złożonej geometrii.

W niniejszym artykule obliczenia przeprowadzono za pomocą oprogramowania komputerowego BANDS 2.0 i BISAR 3.0. W programie BISAR zaimplementowane jest rozwinięcie modelu Burmistera.

Burmister jako pierwszy rozwinął równania umożliwiające obliczenie naprężeń, odkształceń i ugięć w 2-warstwowych układach (patrz: rys. 1).



Rys. 1. Warstwowy układ Burmistera [6]

Model Burmistera opiera się na następujących założeniach:

- układ nawierzchni składa się z kilku warstw, każda warstwa jest homogeniczna, izotropowa i liniowo sprężysta, opisana modułem sprężystości i współczynnikiem Poissona (spełnia prawo Hooke'a)
- każda warstwa ma taką samą grubość i skończone wymiary we wszystkich kierunkach i leży na półprzestrzeni sprężystej,
- przed przyłożeniem obciążenia zewnętrznego układ warstw konstrukcyjnych jest wolny od naprężeń i deformacji,
- ciężar warstw konstrukcyjnych jest pominięty,
- nie uwzględnia się wpływu efektów dynamicznych,
- warunkiem wystarczającym jest wystąpienie jednego z dwóch przypadków wpływu warunków wzajemnego oddziaływania granic ciągłości między warstwami:
 - warstwy w pełni związane: zakłada się, że na styku warstw naprężenia ścinające oraz wszystkie składowe wektora przemieszczenia są takie same. Z uwagi na nieciągłość naprężenia normalnego σ_r , musi być ono wyznaczone w oparciu o odpowiedni moduł sprężystości warstwy
 - warstwy nie w pełni związane: nieciągłość składowych wektora przemieszczenia, wprowadzenie na kierunku stycznym sztywności ścinania $[N/m^3]$.

Burmister wyprowadził równania naprężeń i przemieszczeń dla układów 2-warstwowych na podstawie równań sprężystości układu w trójosiowym stanie naprężenia opracowanych przez [7,8]. Wprowadził przy tym założenie upraszczające i przyjął wartość współczynnika Poissona równą 0.5. Stwierdził, że wartość naprężenia i ugięcia zależy od stosunku modułu podłoża do modułu nawierzchni (E_2/E_1), a stosunek promienia obciążonego pola - od grubości warstwy (r/h_1).

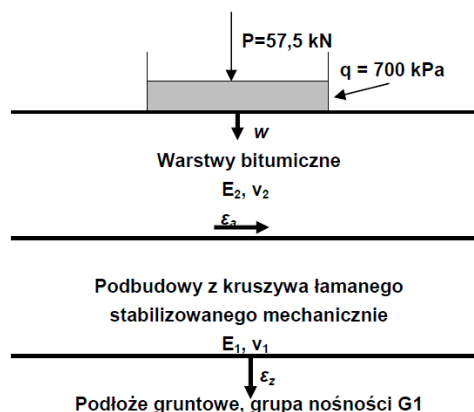
Dla celów wymiarowania nawierzchni podatnych przyjętą następujące równanie ugięć nawierzchni:

$$W = \frac{1,5 p_r}{E_2} \cdot F_W \quad (1)$$

gdzie:

- W – ugięcie nawierzchni w środku równomiernego obciążenia kołowego
- p_r – ciśnienie obciążenia kołowego
- E_2 – moduł sprężystości warstwy podłoża
- F_W – wskaźnik ugięcia

W niniejszym artykule w obliczeniach wykorzystano wielowarstwowy model półprzestrzeni sprężystej pokazany na rysunku 2.



Rys. 2. Model obliczeniowy nawierzchni

Legenda do rys.2:

- w – ugięcie
- ϵ_a – odkształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych
- ϵ_z – odkształcenie ściskające w podłożu
- E_i, ν_i – stałe materiałowe poszczególnych warstw
- P – obciążenie koła $P=57,5$ kN

q – ciśnienie kontaktowe pomiędzy kołem i nawierzchnią $q=700$ kPa

3. WYNIKI ANALIZY ODKSZTAŁCEŃ

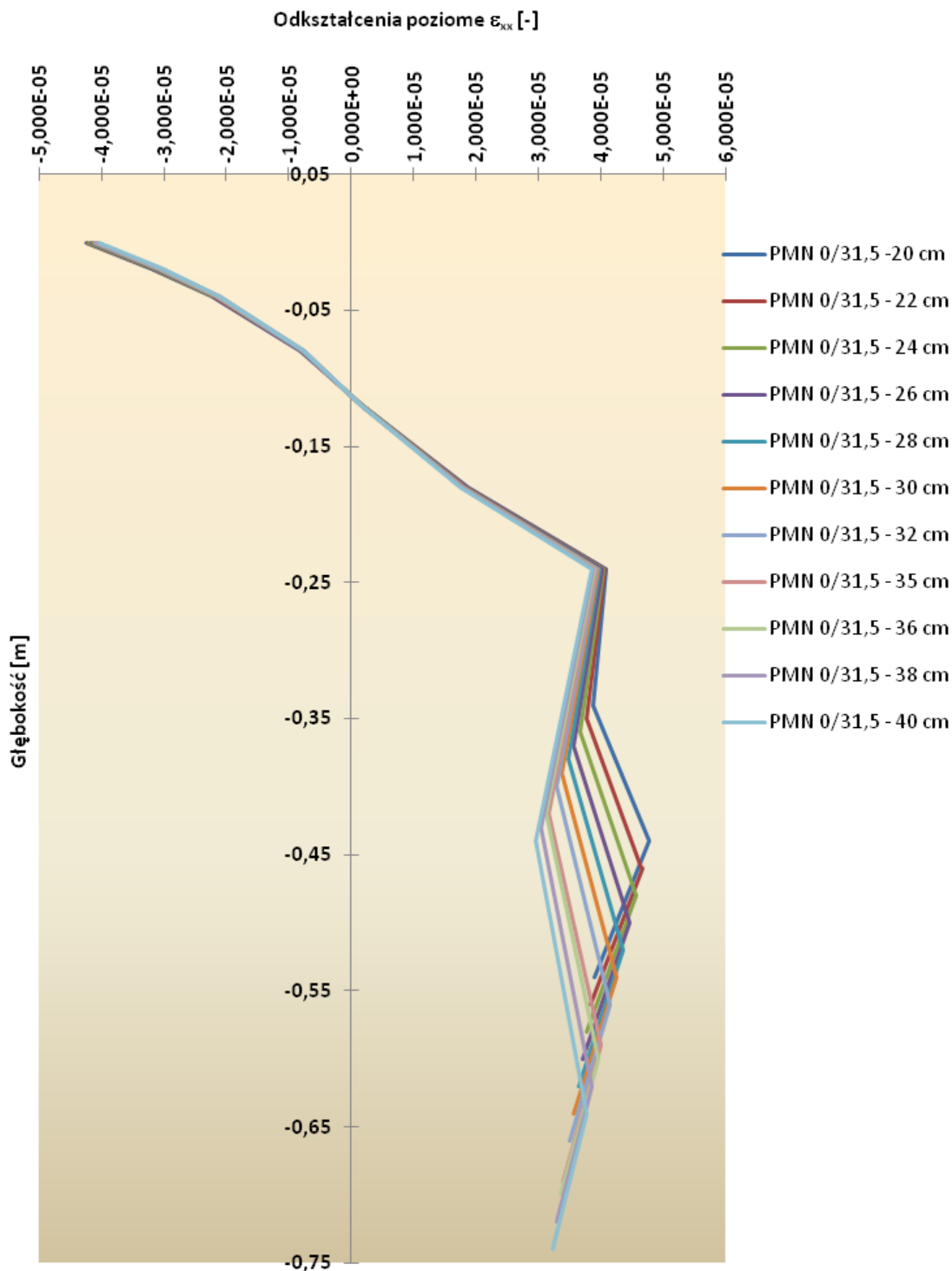
W wyniku analiz wyznaczono rozkłady odkształceń w konstrukcji nawierzchni drogowej.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność odkształceń poziomych od głębokości dla różnych grubości podbudowy niezwiązanej

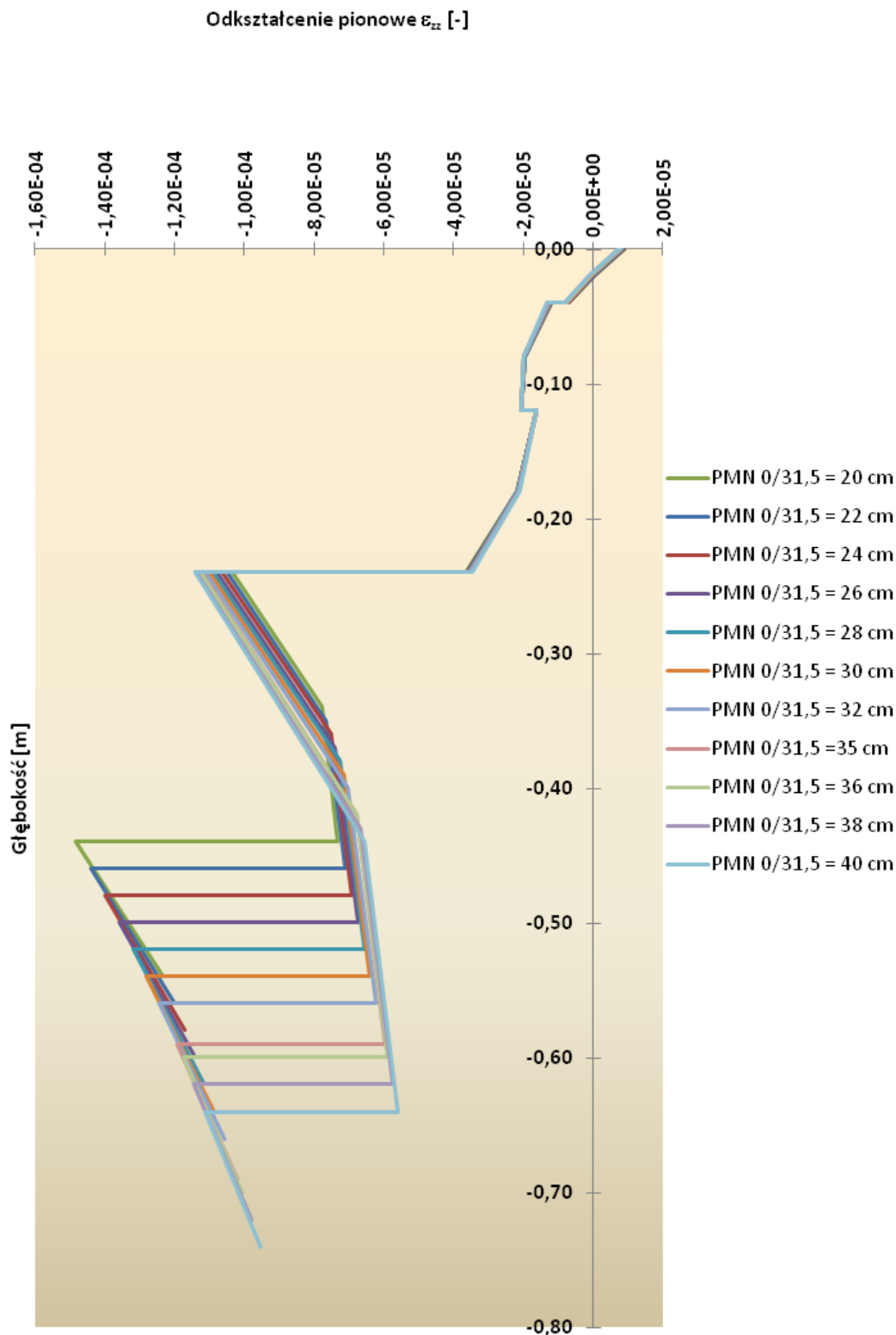
z kruszywa.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność odkształceń pionowych od głębokości dla różnych grubości podbudowy niezwiązanej z kruszywa.

Uzyskane wyniki wykazują prawidłową tendencję. Wraz ze wzrostem grubości warstwy podbudowy następuje spadek wartości analizowanych odkształceń pionowych i poziomych w przyjętej konstrukcji nawierzchni.



Rys. 3. Zależność odkształceń liniowych poziomych od głębokości dla różnych wariantów podbudowy niezwiązanej z mieszanki kruszywa 0/31,5



Rys. 4. Zależność odkształceń liniowych pionowych od głębokości dla różnych wariantów podbudowy niezwiązanej z mieszanki kruszywa 0/31,5

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono obliczenia odkształceń występujących w konstrukcji nawierzchni drogowej z jedenastoma wariantami grubości podbudowy niezwiązanej i kategorii obciążenia ruchem KR5. Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem programu

BISAR bazującym na rozwiniętym modelu Burmistera. Przeprowadzone analizy potwierdziły występowanie istotnych zależności:

1. wzrost grubości podbudowy niezwiązanej z kruszywa powoduje obniżenie wartości odkształceń rozciągających w warstwach asfaltowych oraz odkształceń ściskających w podłożu gruntowym

2. przeprowadzona analiza wpływu głębokości na odkształcenia generowane w określonych punktach charakterystycznych układu warstw konstrukcyjnych wykazała, że nieciągłości odkształceń pojawiają się na styku warstw o różnych modułach sztywności, natomiast w obrębie jednej warstwy wartość odkształceń zmienia się w sposób zbliżony do liniowego.

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. 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
4. Świrek M. Wpływ grubości podbudowy niezwiązanej z mieszanki kruszywa na trwałość zmęczeniową nawierzchni podatnej, Politechnika Krakowska, Kraków 2014
5. E.J. Yoder , M. Witczak , Principles of Pavement Design, John Wiley and Sons , New York , 1975
6. Gradkowski K., Nośność podłoży nawierzchni dróg samochodowych wzmacnianych geosyntetykami – badania doświadczalne, Prace Naukowe – Budownictwo, z. 151, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008
7. A.E.H. Love, The stress produced in a semi-infinite body by pressure on part of the boundary, Philosophical Trans. of the Royal Society, 1928
8. S. Timoshenko, Theory of elasticity , McGraw-Hill Book Company, 1934

IMPACT ANALYSIS OF THE MINERAL AGGREGATE SUBBASE VARIANT ON THE STRAINS DISTRIBUTION IN ROAD PAVEMENT STRUCTURE

Abstract

Paper discussed the influence of mineral aggregate subbase course thickness on the strain distribution in flexible pavement structure. Analyses were performed for eleven variants of subbase course thickness. The calculations performed with using of mechanistic method. A significant impact of changes in the thickness of the subbase course on the strain distribution in pavement structure was confirmed.

Autorzy:

mgr inż. **Małgorzata Świrek** – Dyplomantka, Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej
dr inż. **Jarosław Górszczyk** – Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej
dr inż. **Konrad Malicki** – Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej