

Streszczenie

Przedmiotem pracy było zbadanie wpływu uwzględnienia sił bezwładności w modelach mechanicznych na wyniki stanu odkształceń i ugięć nawierzchni drogowej. Rozważono przypadki obciążenia zasadne przy projektowaniu nawierzchni drogowej podatnej i półsztywnej oraz w czasie badań nieniszczących polegających na pomiarze ugięć pod znanym zmiennym w czasie obciążeniem.

W rozdziale pierwszym przedstawiono cel pracy, opisano szczegółowo jej zakres oraz uzasadniono motywację stojącą za zajęciem się omawianym tematem. Następnie w ramach rozdziału drugiego omówiono literaturę przedmiotu w podziale na poszczególne zagadnienia podejmowane w pracy. W rozdziale trzecim omówiono stosowane w pracy modele nawierzchni drogowej, dodatkowo przedstawiono narzędzia stosowane w pracy takie jak modele elementów skończonych wykonane w programie ABAQUS (w tym z zastosowaniem elementów specjalnych o nieskończonym wymiarze), program VEROAD, rozwiązanie Burmistera oraz samodzielnie zaimplementowane rozwiązania znanych w literaturze zadań, uwzględniających siły bezwładności przy zastosowaniu transformacji całkowych. Szczególną uwagę zwrócono na modelowanie lepkosprężystych własności warstw asfaltowych oraz weryfikację poprawności stworzonych modeli numerycznych.

W kolejnych trzech rozdziałach rozważano zidentyfikowane zagadnienia, w których efekty dynamiczne zostały uwzględnione ze względu na fundamentalne znaczenie rozpatrywanego przypadku obliczeniowego lub ze względu na znaczny wpływ sił bezwładności na uzyskiwanie rezultaty. W każdym z rozdziałów wykonano obliczenia dla przypadku uwzględniającego siły bezwładności oraz gdy siły bezwładności w równaniach równowagi były pomijane. Dodatkowo w każdym z obu przypadków obliczenia wykonano przy użyciu modelu lepkosprężystego dla warstw asfaltowych lub modelu liniowo sprężystego przy przyjęciu jako moduł sprężystości warstw asfaltowych modułu dynamicznego dla danej częstotliwości obciążenia. Rozważono pięć różnych częstotliwości obciążenia nawierzchni. Obliczenia wykonano dla jednej przykładowej konstrukcji nawierzchni.

W rozdziale czwartym rozważono obciążenie od koła pojazdu 100 kN osi pojazdu ciężkiego, poruszającego się jedną z pięciu prędkości 5 km/h, 30 km/h, 60 km/h, 90 km/h, 120 km/h. Skomentowano rozbieżności otrzymanych wyników ekstremalnych ugięć i odkształceń między modelami lepkosprężystymi i liniowo sprężystymi. Siły bezwładności w rozważanym przypadku były pomijalne, natomiast zmienność od prędkości obciążenia wyników krytycznych ugięć i odkształceń oraz trwałości obliczeniowych nawierzchni spowodowane było lepkosprężystymi własnościami warstw asfaltowych. Na podstawie zależności wy-

ników od prędkości dla rozważanej konstrukcji nawierzchni, obliczono trwałość zmęczeniową wykorzystując rozkład prędkości ruchu pojazdów ciężkich. Zaproponowano metodę obliczania prędkości efektywnej oraz rozważono wyniki dla występujących realnie rozkładów prędkości pojazdów ciężkich.

W rozdziale piątym sposób modelowania obciążenia został uzupełniony o uwzględnienie wpływu nierówności nawierzchni. W standardowym przypadku zakłada się stałe obciążenie, w rzeczywistości pojazd porusza się po nierównej drodze, co powoduje jego drgania, a zatem siła jest zmienna w czasie. Wykonano obliczenia dla przykładowej nierówności. Przy szybszym ruchu pojazdu siła oddziaływania na nawierzchnię była większa. W rozważanym przypadku decydujące były ciągle własności lepkosprężyste warstw asfaltowych. Największe ugięcia i odkształcenia uzyskano dla prędkości 5 km/h. Natomiast w sposób zauważalny różniły się one od rozwiązań z założeniem stałej wartości siły. W kolejnym kroku rozważono większy zakres nierówności, pochodzący z realnych pomiarów na sieci drogowej. Posiadane dane podzielono na 20 metrowe odcinki drogowe, dla których policzono wskaźniki IRI (International Roughness Index) oraz odchylenie standardowe siły od koła pojazdu. W ten sposób przy pomocy regresji znaleziono zależność odchylenia standardowego od IRI dla poszczególnych prędkości. Na podstawie odchylenia standardowego zbudowano przedział ufności dla siły obciążającej nawierzchnię, 95% kwantyl siły posłużył jako obciążenie, które dla wybranej wartości prędkości i IRI użyto do obliczenia krytycznych ugięć i odkształceń, a następnie trwałości. Dla dużych nierówności krytycznym przypadkiem było obciążenie nawierzchni z wysokimi prędkościami. Podsumowując, wpływ sił bezwładności w pojeździe był w analizowanym przypadku znaczący, wpływ sił bezwładności w nawierzchni pozostawał pomijalny.

W rozdziale szóstym rozważono przypadek obciążenia w badaniu Falling Weight Deflectometer (FWD), gdzie wartość obciążenia była szybkozmienna w czasie. Uwzględnienie sił bezwładności było w tym przypadku istotne. Wyniki analizy statycznej i dynamicznej znacznie się różniły. Zbadano wpływ tych różnic na obliczenia półodwrotne. Efekty dynamiczne nie powinny być ignorowane. Dodatkowo zwrócono też uwagę na kwestię wrażliwości wyników obliczeń w badaniach półodwrotnych FWD.

Ostatni rozdział jest podsumowaniem obliczeń wykonanych w rozdziałach wcześniejszych, określono w nim wpływ uwzględniania sił bezwładności w poszczególnych przypadkach obliczeniowych.

Słowa kluczowe: mechanika nawierzchni drogowej, dynamika nawierzchni, modelowanie numeryczne, projektowanie mechanistyczno-empiryczne, badania diagnostyczne