

MODELOWANIE STREFY POŁĄCZEŃ PODKŁADÓW WZDŁUŻNYCH W NAWIERZCHNI LONGASF¹

Małgorzata Urbanek

mgr inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, tel.: 12 628 2358, e-mail: murbanek@pk.edu.pl

Aleksandra Pawlak-Burakowska

mgr inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, tel.: 12 628 2358, e-mail: apawlak@pk.edu.pl

***Streszczenie.** W artykule przedstawiono zarys koncepcji niekonwencjonalnej nawierzchni kolejowej na podkładach wzdluznych i podłożu asfaltowym LONGASF. Autorzy zaprezentowali metodę modelowania numerycznego nawierzchni LONGASF w programie Autodesk Simulation Multiphysics. Model ten stworzono na podstawie próbki laboratoryjnej nawierzchni. W niniejszej pracy opisano proces modelowania elementu elastycznego, łączącego podkłady wzdluzne, a także przedstawiono wyniki analizy.*

***Słowa kluczowe:** nawierzchnia kolejowa, podkłady wzdluzne, modelowanie numeryczne nawierzchni kolejowej*

1. Wprowadzenie

Projektowanie nowych nawierzchni kolejowych wymaga uwzględnienia dużych wymiarów konstrukcji oraz powtarzalności jej elementów (podkład, przytwierdzenie, szyna). Jednym z pierwszych badań, jakim poddawane są takie nawierzchnie, są badania laboratoryjne jej małego fragmentu. Jest to podyktowane ograniczonymi możliwościami laboratoryjnymi. Badania takie pozwalają ocenić zachowanie się małego fragmentu nawierzchni.

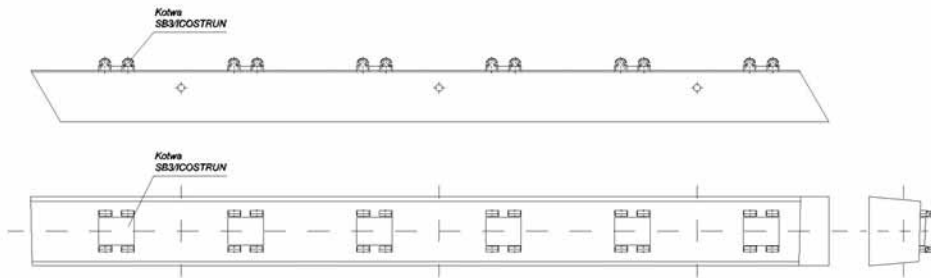
Analizy długiego odcinka projektowanej nawierzchni są jednak problematyczne, gdyż samymi metodami laboratoryjnymi nie można ocenić pracy konstrukcji. Coraz częściej wykorzystywanym narzędziem, umożliwiającym analizę zachowań nawierzchni kolejowej jest modelowanie numeryczne. Umożliwia ono przejście ze skali mikro (próbki laboratoryjnej) do rzeczywistych rozmiarów nawierzchni, oraz przeprowadzenie dodatkowych symulacji komputerowych wymagających znacznych długości toru jak na przykład hamowanie.

¹ Wkład autorów w publikację: Pawlak-Burakowska A. 50%, Urbanek M. 50%.

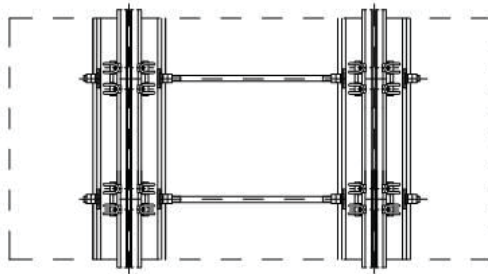
2. Koncepcja nawierzchni kolejowej LONGASF

Niekonwencjonalna nawierzchnia kolejowa LONGASF [1] jest nawierzchnią, dla której podbudowę stanowi typowa konstrukcja drogi samochodowej. Na podłożu o odpowiedniej nośności układana jest warstwa kruszywa stabilizowanego mechanicznie, na której układana jest warstwa asfaltobetonu bez warstwy ścierniej. Wykorzystanie takiego materiału znacznie skraca czas budowy nawierzchni.

W konstrukcji LONGASF zastosowane zostały podpory podłużne WZA. Są to prefabrykowane belki żelbetowe lub strunobetonowe, które są posadowione na warstwie asfaltobetonu. Długość pojedynczego podkładu wynosi 4470 mm, a wysokość 200 mm. Szerokość podkładów dobrano tak, aby obciążenia przekazywane na powierzchnię asfaltobetonu nie były większe od obciążeń jednostkowych najcięższych samochodów. Podkłady te łączone są ze sobą ukośnie, pod kątem 60° , za pomocą materiałów elastycznych (rys. 1). Połączenie poprzeczne realizowane jest za pomocą łączników stalowych, które umiejscowione w otworach, co 1500 mm. Mają one na celu zapewnienie odpowiedniej szerokości, oraz stabilności podłoża (rys. 2).



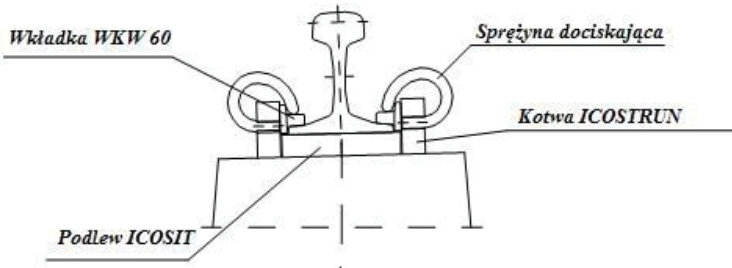
Rys. 1. Schemat podkładu wzdłużnego {1}



Rys. 2. Połączenie poprzeczne podkładów wzdłużnych {1}

Pomiędzy warstwą asfaltobetonu i podporami wzdłużnymi zastosowana została warstwa wyrównawcza. Ma ona na celu zniwelowanie niedokładności ułożenia podłoża asfaltowego.

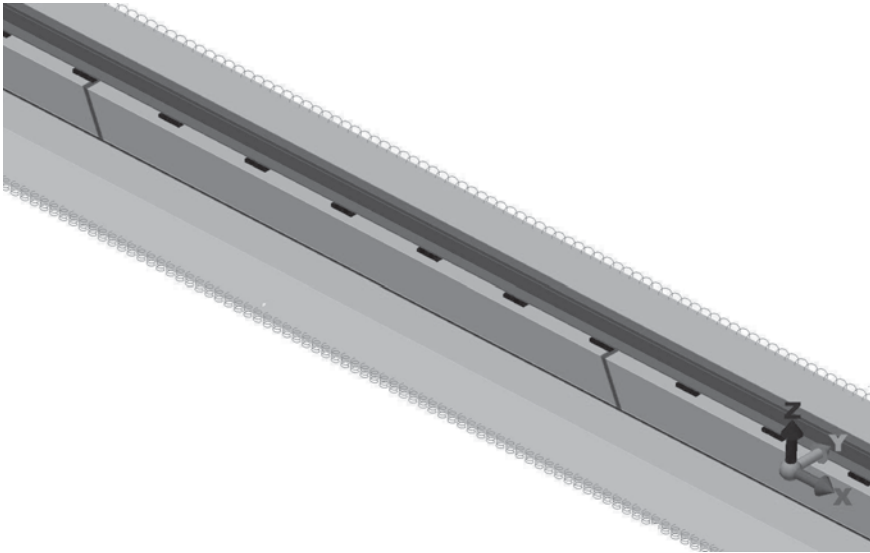
W nawierzchni LONGASF zastosowane zostało przytwierdzenie ICOSTRUN-03, które jest modyfikacją przytwierdzenia ICOSTRUN-02. Przyjęto w nim podwójne pary łapek oraz podatną warstwę podszynową (rys. 3).



Rys. 3. Schemat przytwierdzenia ICOSTRUN-03 [1]

3. Analiza numeryczna elastycznego połączenia podkładów wzdłużnych

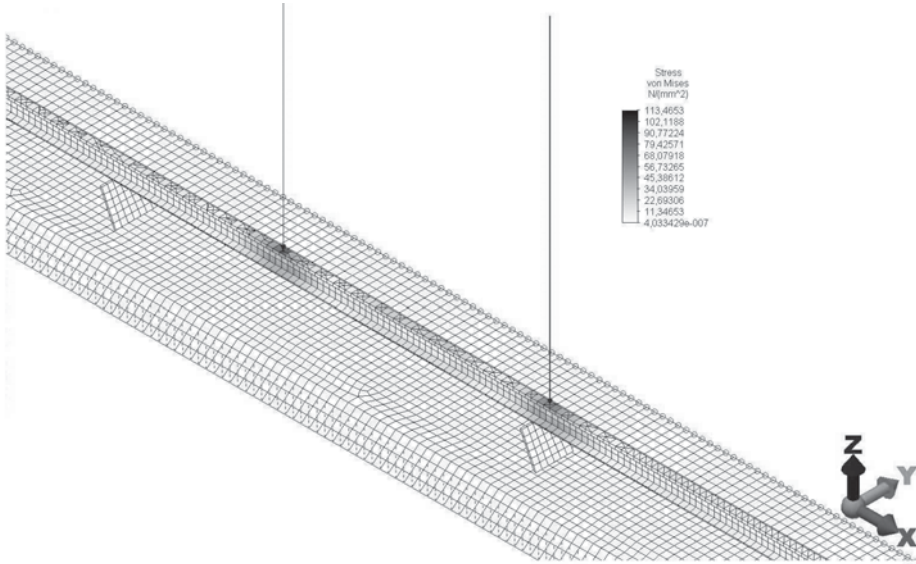
Trójwymiarowy model nawierzchni LONGASF stworzono za pomocą programu Autodesk Simulation Multiphysics. Elementy modelu, takie jak: szyna, asfalt, podkład, podkładka, warstwa wyrównawcza oraz połączenie podkładów stanowią elementy typu brick. Podłoże gruntowe pod warstwą asfaltu zamodelowane zostało przy użyciu elementu typu spring. Do obliczeń przyjęto bardzo słabe podłoże, o współczynniku $C = 75 \text{ MN/m}^3$. W modelu pominięto zasypkę, która ma spełniać zadanie ochrony termicznej asfaltu. Model przedstawiono na rys. 4.



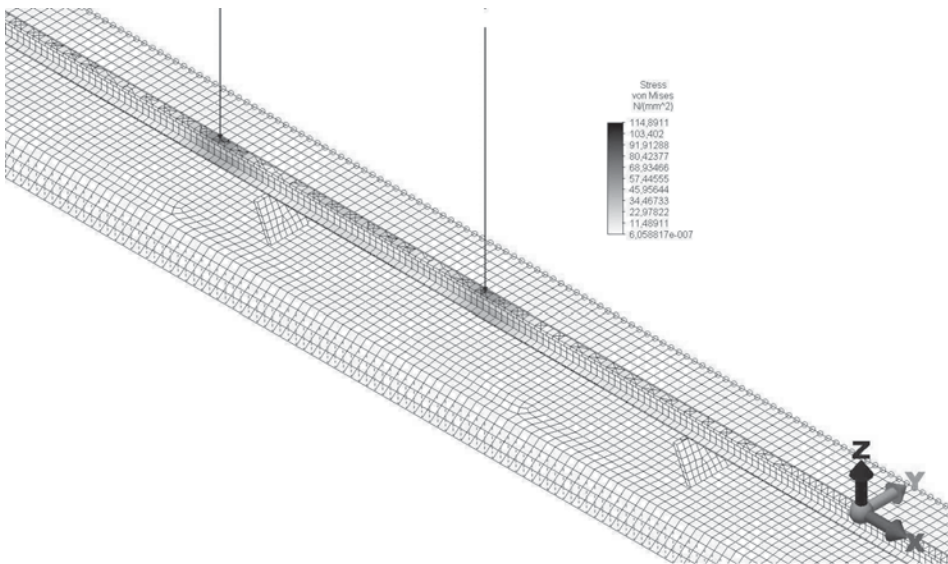
Rys. 4. Model nawierzchni 3D

Podkładkę oraz elastyczne połączenie podkładów stanowi Icosit[®] KC 340/7 [2], natomiast warstwa wyrównawcza to SikaGrout[®]-311 [3]. Właściwości asfaltu przyjęte zostały dla okresu wiosna - jesień, przyjęto moduł Younga $10\,000 \text{ N/m}^2$ i współczynnik Poissona 0,23. Dla pozostałych elementów właściwości materiałów przyjęto zgodnie z ich rodzajem.

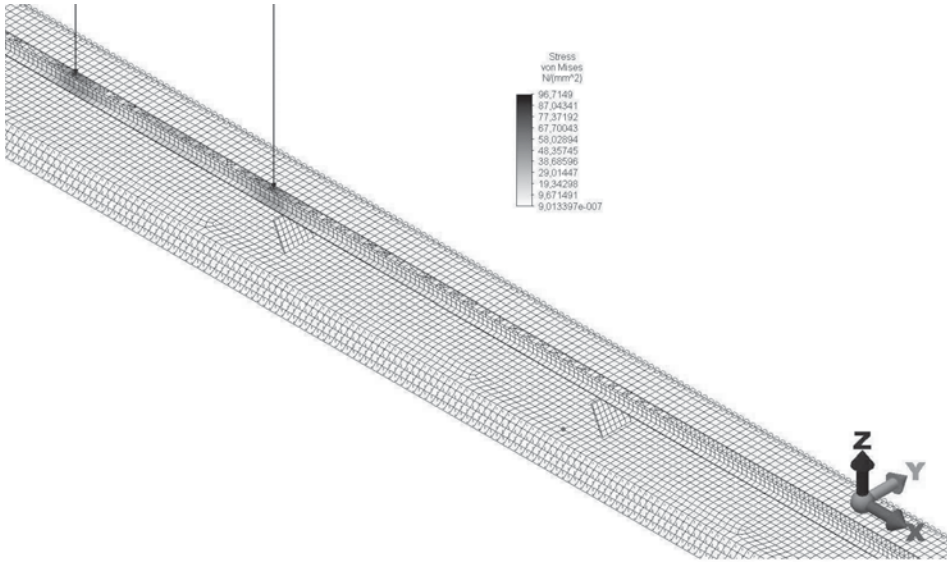
Analizę przeprowadzono dla dwóch rodzajów połączeń podkładów o szerokości 20 i 40 mm oraz dla belki sztywnej (bez połączeń elastycznych podkładów). Do porównania przyjęto trzy przypadki położenia siły pionowej, przedstawione na rysunkach od 5 do 7. Wartość sił oraz ich rozstaw przyjęto dla lokomotywy EP09. Analizowano naprężenia w połączeniach elastycznych, a także naprężenia i przemieszczenia pionowe w górnej powierzchni warstwy asfaltu.



Rys. 5. Pierwsze położenie lokomotywy.



Rys. 6. Drugie położenie lokomotywy.



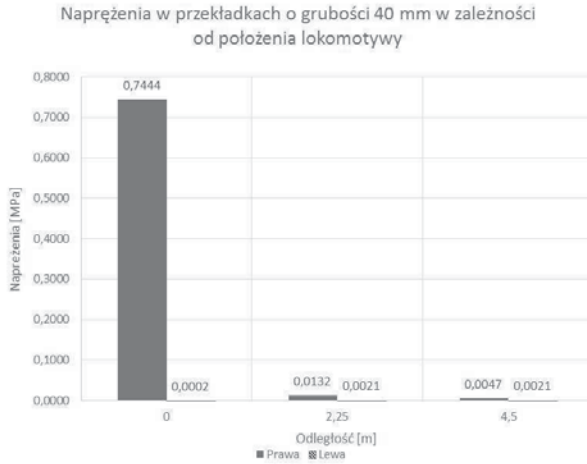
Rys. 7. Trzecie położenie lokomotywy.

Wyniki analizy naprężenia w połączeniach elastycznych przedstawiono na rysunkach poniżej, w których porównano naprężenia dla połączeń, opisanych odpowiednio jako lewe i prawe, znajdujących się na dwóch końcach tego samego podkładu.

Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono naprężenia występujące w połączeniach elastycznych o dwóch różnych grubościach, dla trzech przypadków położenia sił i dla jednego zestawu kołowego. Największe naprężenia występują dla elementu elastycznego o grubości 20 mm. Wynoszą one 0,640 MPa, natomiast dla połączenia 40 mm ich maksymalna wartość wynosi 0,74444 MPa.



Rys. 8. Naprężenia w połączeniach elastycznych o grubości 20 mm w zależności od położenia lokomotywy.



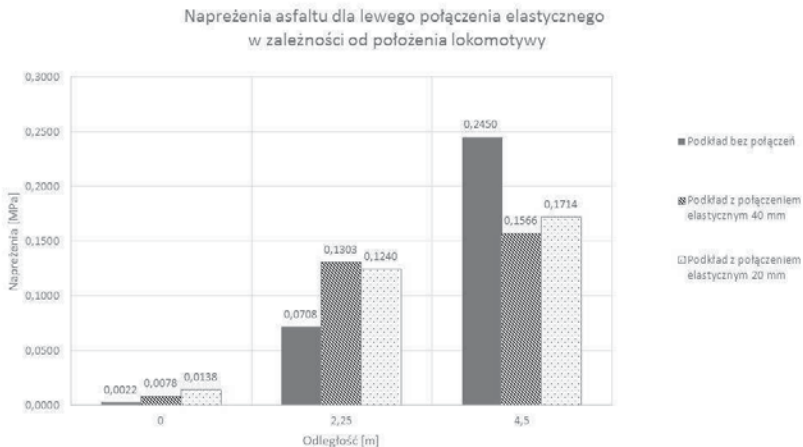
Rys. 9. Naprężenia w połączeniach elastycznych o grubości 20 mm w zależności od położenia lokomotywy.

Naprężenia maksymalne w warstwie asfaltu dla wszystkich trzech wariantów połączenia podkładów przedstawiono w tabeli 1. Najmniejsze z nich odnotowujemy dla połączenia o grubości 20 mm.

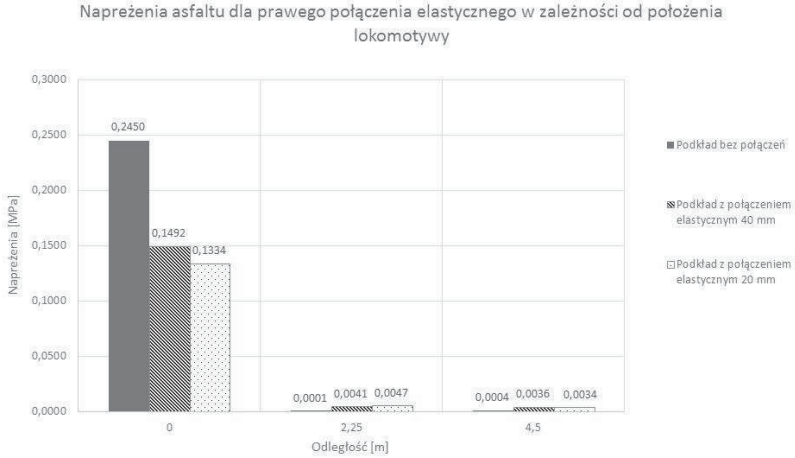
Tab.1 Maksymalne naprężenia w górnej warstwie asfaltu

Maksymalne naprężenia w górnej warstwie asfaltu [MPa]	
Podkład bez połączenia	0,262800
Podkład z połączeniem o grubości 20 mm	0,144846
Podkład z połączeniem o grubości 40 mm	0,149154

Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono naprężenia asfaltu odpowiednio dla lewego i prawego połączenia elastycznego podkładów, oraz dla przypadku belki sztywnej (brak połączeń elastycznych podkładu i podkładki), dla trzech przypadków położenia sił jednego zestawu kołowego.



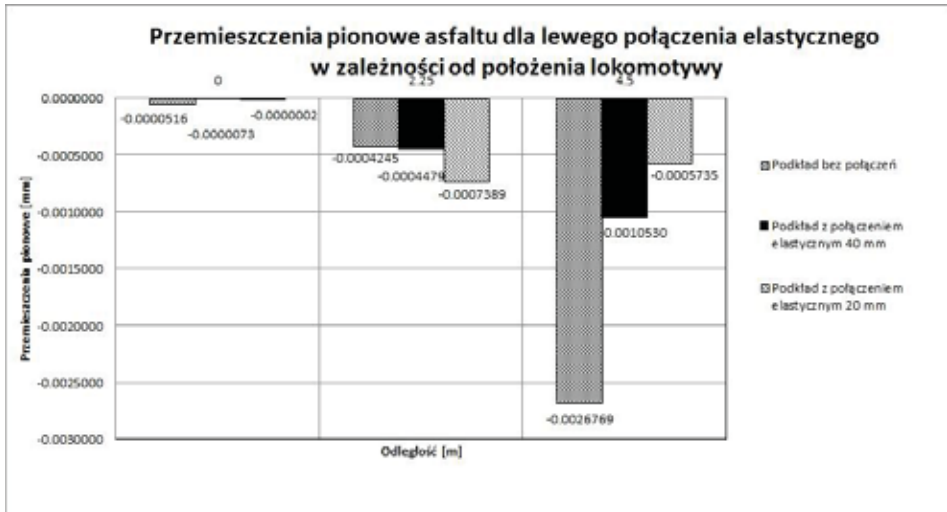
Rys.10. Naprężenia w górnej warstwie asfaltu pod podkładem WZA dla lewego połączenia elastycznego w zależności od położenia lokomotywy.



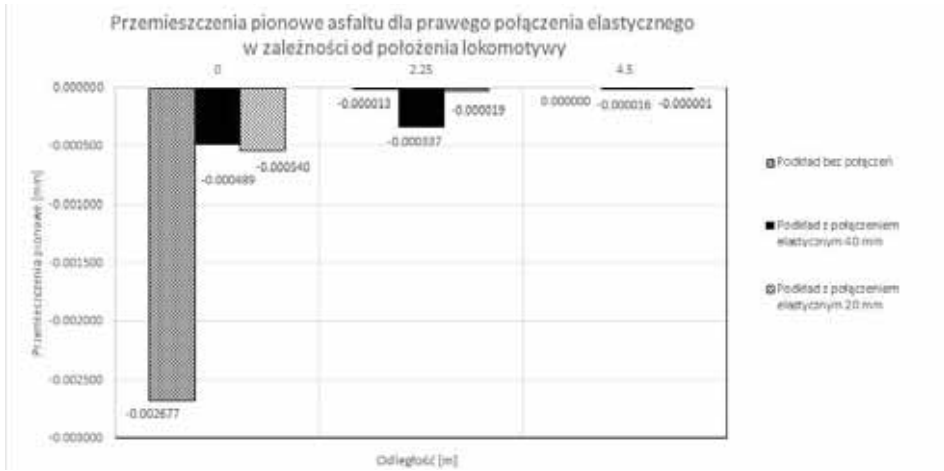
Rys.11. Naprężenia w górnej warstwie asfaltu pod podkładem WZA dla prawego połączenia elastycznego w zależności od położenia lokomotywy.

Na podstawie analizy naprężeń, za najbardziej niekorzystne położenie sił (występowanie największych wartości naprężeń) uznaje się takie, w którym jedna z sił znajduje się bezpośrednio nad połączeniem elastycznym podkładów.

Rysunki 12 i 13 przedstawiają przemieszczenia pionowe asfaltu dla lewego i prawego połączenia elastycznego podkładów, oraz dla przypadku belki sztywnej. Najmniejsze ugięcia pionowe zauważalne są dla wariantu z połączeniem elastycznym podkładów o grubości 20 mm. Osiągają one maksymalną wartość $7,4 \times 10^{-4}$ mm. Maksymalne ugięcia asfaltu dla przekładki o grubości 40 mm wynoszą $1,1 \times 10^{-3}$ mm. Ze względu na brak podkładki, w belce sztywnej obliczone maksymalne wartości przemieszczeń pionowych wynoszą 0,003 mm.



Rys. 12. Przemieszczenia pionowe górnej warstwy asfaltu pod podkładem WZA dla lewego połączenia elastycznego w zależności od położenia lokomotywy.



Rys. 13. Przemieszczenia pionowe górnej warstwy asfaltu pod podkładem WZA dla prawego połączenia elastycznego w zależności od położenia lokomotywy.

4. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono schemat doboru połączeń elastycznych podkładów wzdłużnych w nawierzchni LONGASF na podstawie modelowania numerycznego. Modelowanie numeryczne przeprowadzono dla trzech wariantów nawierzchni, czyli belki sztywnej oraz podkładów WZA połączonych elementami elastycznymi o grubości 20 i 40 mm. W wyniku analizy otrzymano wartości przemieszczeń pionowych i naprężeń w warstwie asfaltu, oraz naprężeń w elastycznym połączeniu podkładów wzdłużnych. Przeprowadzona analiza pokazała, że najkorzystniejszym sposobem połączenia podkładów wzdłużnych jest element elastyczny o grubości 20 mm. Dla takiego połączenia otrzymano najmniejsze wartości przemieszczeń pionowych i naprężeń w górnej warstwie asfaltu, znajdującego się pod analizowanym połączeniem. Dodatkowo analiza naprężeń połączenia elastycznego wykazała, iż dla grubości 20 mm osiągają one wartość nieprzekraczającą wartości granicznych. Taka grubość przekładki jest minimalną, możliwą do zrealizowania w procesie technologicznym układania nawierzchni.

Literatura

- [1] Czyczuła W. i wsp. - Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu rozwojowego „Nawierzchnia kolejowa o podwyższonym standardzie i zmniejszonym oddziaływaniu na środowisko“ (nr projektu: NR10-0004-10/2010), Kraków 2013
- [2] Karta Informacyjna, Wydanie 01/2012, Numer identyfikacyjny 02 02 02 02 003 0 000003, Icosit® KC 340/7
- [3] Karta Informacyjna, Wydanie 06/09/2011, Numer identyfikacyjny: 02 02 01 01 001 0 000004, SikaGrout®-311