

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA
KATEDRA MECHANIKI STOSOWANEJ**

**ZESZYTY NAUKOWE
KATEDRY MECHANIKI STOSOWANEJ**

**XLIV
SYMPOZJON**

PTMTS

**MODELOWANIE
W
MECHANICE**

GLIWICE 2005

**29
2005**

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY
KATEDRA MECHANIKI STOSOWANEJ**

**ZESZYTY NAUKOWE
KATEDRY MECHANIKI STOSOWANEJ**

zeszyt nr 29

**XLIV
SYMPOZJON
PTMTS**

**MODELOWANIE
W
MECHANICE**

27 LUTEGO - 3 MARCA 2005

GLIWICE 2005

70. Slavikova K., Švigler J.: Relative movement of conjugated screw surfaces under bearing deformation.....	419
71. Sładkowski A., Kuminek T.: Modelowanie współpracy kontaktowej kół i szyn za pomocą MES	425
72. Sokołowski A., Czyszpak T.: Analiza wpływu parametrów systemu wnioskowania rozmytego na sprawność klasyfikacji.....	431
73. Świder J., Chuchnowska I.: Modelowanie zjawisk dynamicznych w robocie kardiochirurgicznym.....	437
74. Теплова Т. Б., Могирева Е. С., Переселенкова Е. И.: Методы принятия решений создания алгоритма автоматического выбора рациональных режимов шлифования для размерно-регулируемой обработки твердых материалов	443
75. Trawiński T., Pilch Z.: Pomiarowa weryfikacja modelu matematycznego silnika prądu stałego napędzającego aktuator głowic dysków twardych	451
76. Warmiński J.: Drgania układu parametryczno-samowzbudnego z ograniczoną mocą w warunkach rezonansu wewnętrznego	457
77. Wengerski R.: Badania modelowe sztywności przewodnic toczyńnych metodą elementów skończonych.....	463
78. Wierzcholski K.: Asperities and deformations of hyper elastic joint cartilages in cultivation aspects.....	469
79. Wierzcholski K., Cwanek J.: Measurements of surface roughness of heads of human hip joints in lubrication aspects	477
80. Wilczyński B.: Maximization of crack reinitiation time in machine components	485
81. Witzak D.: Termiczna identyfikacja położenia defektu w elementach konstrukcji	491
82. Wodecki J.: Badanie naprężeń w narzędziach skrawających metodą elementów skończonych	497
83. Wojnarowski J., Kaczmarczyk J.: Wpływ głębokości skrawania na stan naprężeń w pile taśmowej bez końca	505
84. Wolański W.: Wpływ implantacji na wartości sił w strukturach kręgosłupa szyjnego...	511
85. Wyleżół M.: Weryfikacja postaci geometrycznych modeli bryłowych z zastosowaniem elementów wiedzy.....	517
86. Zapoměl J.: A computational approach to stability analysis of synchronous vibration of rotors supported by journal bearings taking into account turbulent flow in the oil film	523
87. Zboiński G.: Wykrywanie a posteriori niewłaściwej granicy rozwiązania, <i>lockingu</i> i warstwy brzegowej w adaptacyjnej analizie płyt i powłok	527
88. Zielnica J., Zielnica C.: Zastosowanie metody elementów skończonych w numerycznej analizie naprężeń hartowniczych	533
89. Zieniuk E., Szerszeń K.: Modelowanie kształtu brzegu bikubicznymi płacami Béziera w wielospójnych potencjalnych zagadnieniach brzegowych.....	539

Aleksander SŁADKOWSKI, Tomasz KUMINEK
Katedra Transportu Szynowego, Politechnika Śląska

MODELOWANIE WSPÓLPRACY KONTAKTOWEJ KÓŁ I SZYN PRZY POMOCY MES

1. WSTĘP

Zestawy kołowe spośród wszystkich elementów podwozia są najbardziej odpowiedzialną ruchomą częścią pojazdów szynowych. Ścisłe określenie warunków pracy, jakim podlegają one w czasie jazdy, jest zagadnieniem bardzo trudnym, ponieważ w czasie ruchu przyjmują wszystkie uderzenia od nierówności toru, zarówno w kierunku pionowym jak i w kierunku poziomym. Zestawy kołowe i ich elementy są więc narażone na działanie sił przeważnie zmiennych, występujących w dwóch płaszczyznach: pionowej i poziomej. W procesie eksploatacji zestawy kołowe a głównie ich profile toczne ulegają zużyciu głównie ściernemu. Główną przyczyną tego zużycia są naprężenia występujące w strefie kontaktu koła z szyną oraz towarzyszące im deformacje plastyczne.

W programie UM na przykładzie lokomotywy SM42 wyznaczono siły poprzeczne działające na koło w czasie przejazdu lokomotywy po łuku. W oparciu o zaproponowaną metodykę, wyznaczono naprężenia kontaktowe oraz deformacje plastyczne w strefie kontaktu dla różnego położenia koła względem szyny oraz dla wyznaczonych sił bocznych.

2. WYZNACZENIE SIŁ DZIAŁAJĄCYCH NA KOŁO

Wyznaczenie sił działających na koło nie jest proste, ponieważ w łuku na koła działa nie tylko siła pionowa wynikająca z masy lokomotywy, lecz również siła poprzeczna. Wartość tej siły jest uzależniona głównie od masy lokomotywy, geometrii torowiska, prędkości przejazdu oraz od kształtu profilu tocznego koła. Wyznaczenie tej siły metodą eksperymentalną jest bardzo trudne.

Aby dokonać analizy sił działających na koło w czasie przejazdu lokomotywy przez łuk toru należy rozważyć cały wózek i przeanalizować siły działające na poszczególne koła. Rozwiązywanie tego zagadnienia z punktu widzenia jednego koła czy nawet jednego zestawu jest niepoprawne, gdyż np. koło wewnętrzne (w łuku) ma bardzo duży wpływ na siły

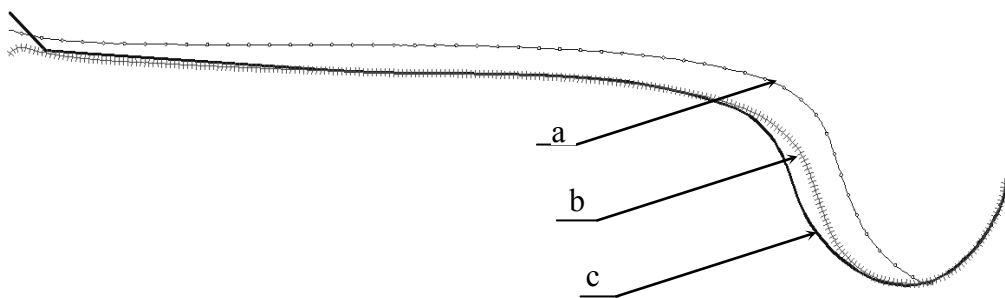
działające na koło zewnętrzne. W tym celu wykonano w programie UM model lokomotywy SM42 [1] na przykładzie którego badano wpływ kształtu profili toczyńnych na siły poprzeczne działające na koło w czasie przejazdu lokomotywy po torze zakrzywionym.

Obliczenia przeprowadzono na torze idealnym (bez nierówności) o promieniu 150m przy prędkości 8m/s.

Przyjęto następujące warianty:

- koło nowe o profilu nowym 28UIC140, szyny nowe;
- koło o niewielkim zużyciu, szyny nowe;
- koło o dużym zużyciu, szyny nowe.

Na rysunku 1 przedstawiono wykorzystane do analizy profile kół.

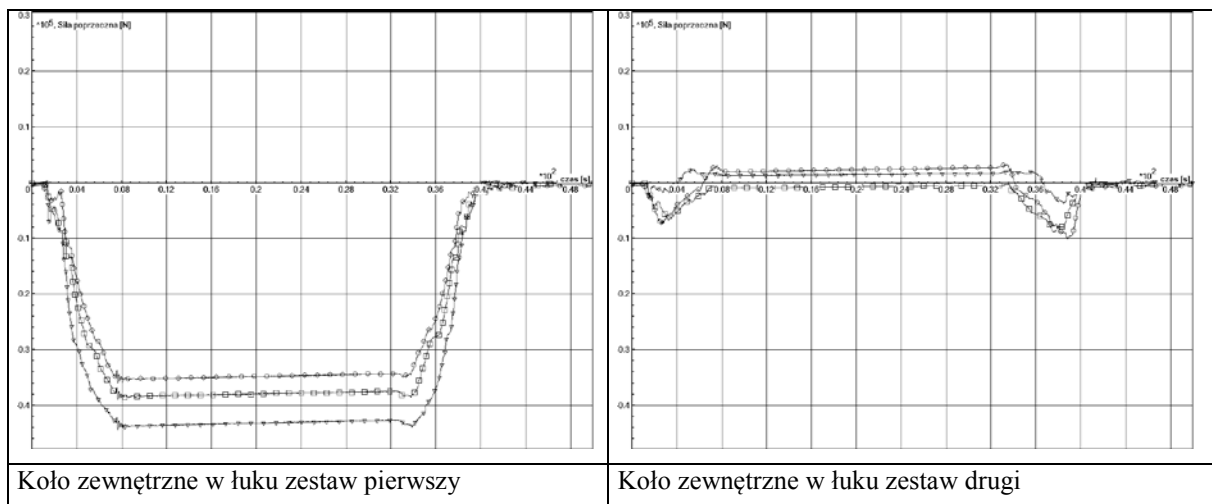


Rys. 1. Profile kół i szyn wykorzystane do analizy:

- a) profil o dużym zużyciu, b) profil o niewielkim zużyciu, c) profil nowy

Zużyte profile kół otrzymano z przeprowadzonych badań eksploatacyjnych za pomocą profilomierza A-B do kół.

Na rysunku 2 przedstawiono zależność sił poprzecznych działających na koło od stopnia zużycia profilu.



Rys. 2. Siły poprzeczne działające na koło

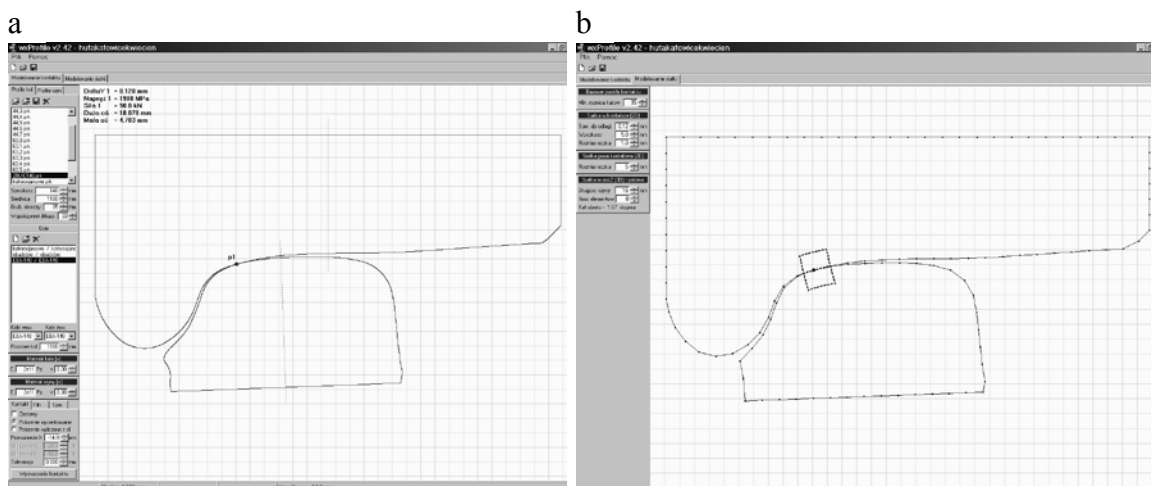
- - koło o dużym zużyciu
- △—△—△—△—△ - koło nowe o profilu toczyńnym 28UIC140
- - koło o niewielkim zużyciu.

Jak wynika z przedstawionych wykresów, w zależności od stopnia zużycia profili tocznych kół zmieniają się wartości sił poprzecznych działających na koło. Największa siła poprzeczna działa na koło nowe, natomiast najmniejsza na koło maksymalnie zużyte. Maksymalna siła boczna działa na koło lewe, zewnętrznie w łuku na pierwszym (prowadzącym) zestawie i wynosi około 40 kN, natomiast najmniejsza wartość siły poprzecznej występuje na kole lewym, zewnętrznym w łuku na drugim zestawie i jest bliska zero.

Wyznaczone w programie UM siły poprzeczne posłużyły do zadania warunków brzegowych w programie MSC.MARC.

3. OBLICZENIA NUMERYCZNE W MSC.MARC

Modelowanie współpracy kontaktowej systemu koło szyna jest zadaniem bardzo trudnym ze względu na skomplikowany kształt profili tocznych kół i szyn. W Katedrze Transportu Szynowego Politechniki Śląskiej do obliczeń tego typu zagadnień kontaktowych wykorzystywany jest pakiet MSC.MARC. Znalezienie tego punktu lub kilku punktów styku pomiędzy przekrojami poprzecznymi koła i szyny jest bardzo trudne ze względu na skomplikowaną geometrie układu. W wyniku tego, powstał autorski program „wxProfile” (rys. 3). Program ten służy do tworzenia modelu na etapie płaskiego przekroju poprzecznego koła i szyny, przy pomocy którego możemy: wyznaczyć początkowe punkty kontaktu pomiędzy przekrojami poprzecznymi koła i szyny z uwzględnieniem sił działających na koło, określić przy pomocy Hertza wielkość naprężeń kontaktowych, oraz wstępnie zamodelować siatkę elementów skończonych.



Rys. 3. Okno dialogowe programu „wxProfile”

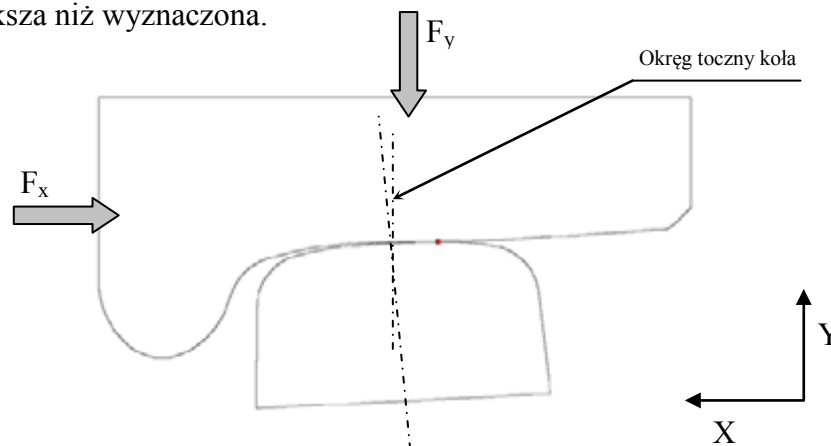
- a) wyznaczenie położenia punktu kontaktu,
- b) wstępne modelowanie siatki ES

Na rysunku 3a przedstawiono okno programu w którym wyznaczamy położenie punktów kontaktu oraz wykonujemy obliczenia naprężeń kontaktowych wg Hertza. Natomiast na rysunku 3b przedstawiono okno w którym wstępnie modelujemy siatkę ES poprzez podział profilu na określonej długości linii oraz tworzymy strefę siatki zagęszczonej w miejscu kontaktu.

Otrzymane z programu rezultaty możemy wyeksportować do programu Visual Nastran for Windows gdzie na podstawie przekroju poprzecznego tworzymy model przestrzenny. Następnie stworzony model przestrzenny eksportujemy do programu MSC.MARC gdzie zadajemy warunki brzegowe oraz wykonujemy obliczenia.

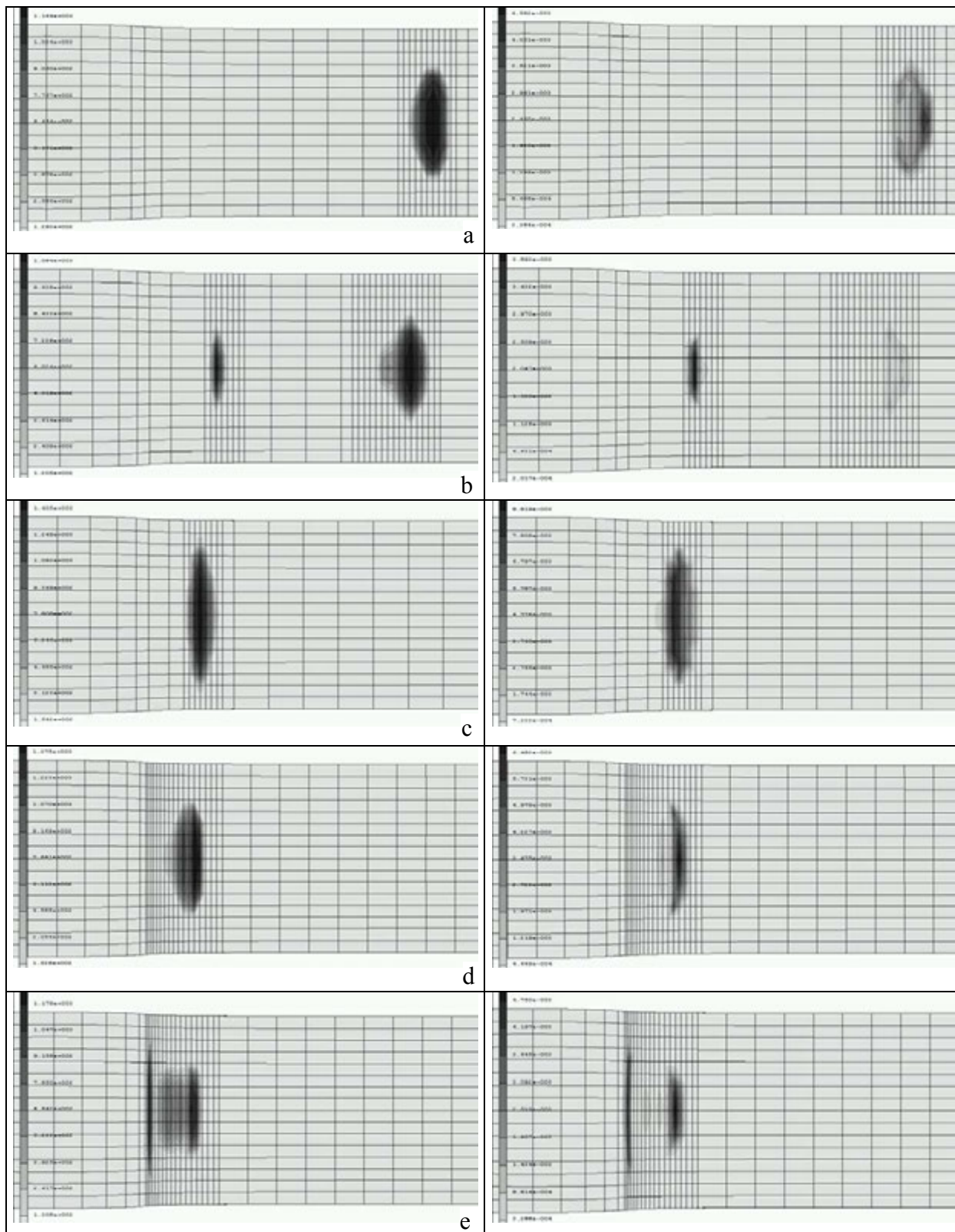
W obliczeniach przyjęto jednakowy materiał koła i szyny o charakterystyce nieliniowej (bi line) o następujących własnościach: moduł Younga $E = 2 \cdot 10^{11}$ Pa, stała Poissona $\nu = 0.3$, granica plastyczności $R_e = 500$ MPa, granica wytrzymałości $R_m = 880$ MPa.

Dla wszystkich przypadków przyjęto średnicę koła wynoszącą 1100 mm oraz jednakowe obciążenie pionowe, wynikające z masy lokomotywy $F_y = 90$ kN (rys. 4). Obliczenia prowadzono dla różnego położenia koła względem szyny przesuwając koło w osi X od położenia wycelowanego (okrąg toczny koła pokrywa się ze środkiem szyny) do położenia -6 mm z krokiem co 2 mm (rys.4). Dodatkowo wykonano obliczenia uwzględniając siłę boczną F_x działającą na koło, która została wyznaczona w programie UM w czasie symulacji przejazdu lokomotywy przez łuk toru. Siły te wynoszą dla profilu 28UIC140 dla szyn nowych 40 kN. Ponieważ siły te zostały wyznaczone w programie UM dla toru idealnego (bez nierówności) w analizie MES wykonano również obliczenia uwzględniając siłę boczną dwukrotnie większą niż wyznaczona.



Rys. 6.4 Położenie koła względem szyny

Rysunki 4e oraz 4f przedstawiają rozkład normalnych naprężeń kontaktowych przy jednoczesnym działaniu siły pionowej wynoszącej 90 kN oraz siły bocznej wynoszącej odpowiednio 40 kN oraz 80 kN. Rysunki 6a-e przedstawiają rozkład deformacji plastycznych dla odpowiadających wartości naprężeń kontaktowych z rysunków 6a-e.



Rys. 5. Rozkład normalnych naprężeń kontaktowych dla profilu 28UIC140 – szyna nowa S49

- a) położenie wycentrowane „0”
- b) położenie „-4”
- c) położenie „-6”
- d) położenie „-6.64” (siła boczna 40 kN)
- e) położenie „-6.66” (siła boczna 80 kN)

Rys. 6. Rozkład deformacji plastycznych dla profilu 28UIC140 – szyna nowa S49

- a) położenie wycentrowane „0”
- b) położenie „-4”
- c) położenie „-6”
- d) położenie „-6.64” (siła boczna 40 kN)
- e) położenie „-6.66” (siła boczna 80 kN)

Jak wynika z przedstawionych powyżej rysunków dla profilu obręczy 28UIC140 we współpracy z nową szyną typu S49, z zdanym obciążeniem bocznym, naprężenia występują w jednej strefie i wynoszą 1528MPa dla koła obciążonego siłą boczną wynoszącą 40kN oraz 1308MPa dla obciążenia bocznego wynoszącego 80kN. Należy zwrócić uwagę na fakt że przy obciążeniu bocznym wynoszącym 80kN wartość naprężeń kontaktowych jest mniejsza. Spowodowane jest to zwiększeniem strefy kontaktu, zatem naprężenia kontaktowe w tym przypadku rozłożyły się na większej powierzchni.

Największe wartości naprężeń kontaktowych występują w przypadku położenia koła w pozycji -6 (rys. 5c) i wynoszą 1562 MPa. W tym przypadku strefa kontaktu jest niewielka i występuje praktycznie na obrzeżu koła co powoduje wzrost naprężeń kontaktowych.

Dla przypadku położenia koła w pozycji -4 (rys. 5b), naprężenia kontaktowe występują w dwóch strefach znajdujących się na powierzchni tocznej. W pozostałych naprężenia kontaktowe występują w jednej strefie i wynoszą ok. 1250 MPa.

Największa wartość deformacji plastycznych występuje dla przypadku w którym występują największe naprężenia kontaktowe rys. 6d i wynosi $9,8 \cdot 10^{-3}$.

Dosyć znaczne odkształcenia plastyczne wynoszące $7,2 \cdot 10^{-3}$ występują również dla przypadku w którym działa jednocześnie siła pionowa 90 kN oraz boczna 40 kN (rys. 6d).

Dla pozostałych przypadków wartość deformacji plastycznych jest na poziomie $5,0 \cdot 10^{-3}$.

4. WNIOSKI

Wartość sił poprzecznych działających na koło jest uzależniona od stopnia zużycia profilu koła natomiast nie zależy od zużycia główki szyny. Na wartość tej siły wpływa geometria toru tzn. pochylenie, poszerzenie toru oraz prędkość ruchu lokomotywy. Z przeprowadzonej analizy MES wynika, że wartości naprężeń kontaktowych jest zależna od obciążenia oraz od wielkości powierzchni kontaktu. Zwiększenie obciążenia nie musi prowadzić do wzrostu naprężeń kontaktowych. Wartość deformacji plastycznych zależy w dużym stopniu od wielkości naprężeń kontaktowych oraz od kształtu stykających się ciał.

Literatura

1. Kuminek T., Śładkowski A.: Modelowanie dynamiki jazdy oraz zużycia kół kolejowych lokomotywy spalinowej serii SM42 w programie UM. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, Gliwice z. 56 s.261-271.

-
2. Yessaulov V., Kozlovsky A., Sladkovsky A., etc.: Studies into Contact Interactions of Elastic Bodies for Improvement of Wheels and Rails // Contact Mechanics IV.- Southampton, Boston: WIT Press, 1999. - P.463-472.
 3. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К., etc.: Расчеты на прочность в машиностроении. Машгиз: Москва. 1958. – Т.2. – 974 с.
 4. Śladkowski A. Wojdyła T.: Simplified model of vertical vibrations for passenger car during its moving on irregular track. Scientific proceedings of Riga Technical University, Riga 2003, ss 28 – 36.
 5. Wojdyła T.: Porównanie modeli testowych pojazdu szynowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, Gliwice z. 44 s.163 – 168.

MODELOWANIE WSPÓŁPRACY KONTAKTOWEJ KÓŁ I SZYN PRZY POMOCY MES

Opracowano program służący do tworzenia modelu na etapie płaskiego przekroju poprzecznego koła i szyny. Program ten służy między innymi do określenia położenia punktów kontaktu koła z szyną w zależności od sił działających na koło jak również do wstępnego modelowania siatki elementów skończonych. Wykonano również model dynamiczny lokomotywy w programie Uniwersalny Mechanizm (UM), w którym określono wielkość sił działających na koło w zależności od kształtu profili toczonego koła i szyny.

W ramach pracy przeprowadzono badania współpracy nowych kół i szyn, a w szczególności tych, które wykorzystuje się na kolejach Polski. Dokonano porównania ich stanów naprężeń i odkształceń. Proces współpracy kontaktowej kół i szyn został rozpatrzony kompleksowo, z uwzględnieniem różnych czynników zewnętrznych. Opracowana metodyka i algorytmy obliczeń mogą być wykorzystane przy projektowaniu nowych konstrukcji kół i szyn.

MODELLING OF THE CONTACT INTERACTION OF THE WHEELS AND THE RAILS BY MEANS OF FEM

The program intended for creation of model at a stage of flat cross-section of a wheel and a rail is developed. This program except for that serves for definition of position of initial points of contact of a wheel with a rail depending on the forces acting on a wheel, and also for preliminary modelling the mesh of the finite elements. The dynamic model of the locomotive is developed also in the program the Universal Mechanism (UM) by means of which the size of the forces acting on a wheel depending on the form of profiles of working surfaces of a wheel and a rail is certain.

The interaction of new wheels and rails is investigated in work, and in particular those are used on Polish railways. Comparison of their stress and deformed condition is carried out. Process of the contact interaction of wheels and rails is considered in a complex, in view of various external factors. The developed techniques and algorithms of calculation can be used at designing of new wheels and rails.