

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
KATEDRA MECHANIKI STOSOWANEJ

ZESZYTY NAUKOWE
KATEDRY MECHANIKI STOSOWANEJ

XLI
SYMPOZJON
PTMTS

MODELOWANIE
W
MECHANICE

GLIWICE 2002

18
2002

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY
KATEDRA MECHANIKI STOSOWANEJ

ZESZYTY NAUKOWE
KATEDRY MECHANIKI STOSOWANEJ

zeszyt nr 18

XLI
SYMPOZJON
PTMTS

MODELOWANIE
W
MECHANICE

18 - 22 LUTEGO 2002

GLIWICE 2002

41. Maryniak J.: Modelowanie matematyczne dynamiki odkształcalnego wahającego skrzydła.....	263
42. Maryniak J., Grajecki M.: Modelowanie i analiza dynamiki autonomicznego zasobnika przeciwpancerneho w fazie lotu swobodnego i rozrzucania subamunicji	273
43. Matyja T., Mrówczyńska B.: Modelowanie połączeń odkształceniowych w kolejowych zestawach kołowych.....	279
44. Mieszczak Z., Krawczuk M.: Statyka wielowarstwowych płyt kompozytowych z delaminacją i aktywnymi elementami piezoelektrycznymi.....	285
45. Miller A., Kiryk S.: Modelowanie matematyczne w projektowaniu układu wodorowej turbiny gazowej.....	291
46. Miller K.: Analytical solution to uniaxial extension problem for incompressible soft tissue samples with low aspect ratio	297
47. Miller K.: Single-phase and bi-phasic models of soft tissues.....	303
48. Nawrat Z., Religa Z.: Od protez serca do robotów kardiochirurgicznych doświadczenia własne	309
49. Ondrouch J., Bilošová A.: The use of measured frequency response functions for identification of dynamic properties of railway bogies	321
50. Orlikowski C.: Modalne grafy wiązań – podejście wykorzystujące metodę transmitancji układu o parametrach rozłożonych	327
51. Paczos P., Zielnica J.: Stateczność sprężysto – plastycznych otwartych dwuwarstwowych powłok stożkowych.....	337
52. Palacz M., Krawczuk M., Ostachowicz W.: Zastosowanie fal sprężystych do detekcji uszkodzeń w elementach konstrukcyjnych	343
53. Pilch Z., Kluszczyński K.: Wpływ momentów pasożytniczych silnika indukcyjnego na ocenę naprężeń w podstawie zęba kół zębatych przekładni mechanicznej.....	349
54. Podhorecki A., Delyavskyy M., Ran R., Beregova N.: Określenia stanu naprężeń w płytach prostokątnych średniej grubości.....	355
55. Pownuk A.: Modelling of structures with taking into account uncertainty of the parameters	361
56. Przybył K.: Określenie eksploatacyjnych parametrów pracy zespołu skrętowo-nawojowego przędzarki obrączkowej na podstawie eksperymentów numerycznych	367
57. Rotkegel M.: Określenie wymaganej grubości powłoki TEKFLEX do zastosowania jej jako opinki obudowy chodnikowej.....	373
58. Sibilski K., Winczura Z., Żyłuk A., Pęczak A.: Badania lotniczego zasobnika subamunicji w aspekcie zwiększenia donośności.....	379
59. Sitarz M., Piec M., Helka A., Zajac G.: Pomiary poziomu hałasu i przyspieszeń klocków hamulcowych na kolejowym taborze trakcyjnym	385
60. Skrzypczyk J., Liszka T.: Sufficient conditions on stability of interval systems based upon generalization of Gershgorin's theorem	391
61. Śladkowski A., Bizoń K., Chrużik K.: Porównanie wyników analizy MES z wynikami pomiarów tensometrycznych deformacji kół kolejowych zestawów kołowych.....	397
62. Szczygieł M., Trawiński T.: Silnik o dwóch stopniach swobody wykorzystywany w układzie napędowym robota.....	403

Aleksander Śladkowski, Krzysztof Bizoń, Katarzyna Chrużik

Instytut Transportu, Zakład Transportu Szynowego, Politechnika Śląska w Katowicach

PORÓWNANIE WYNIKÓW ANALIZY MES Z WYNIKAMI POMIARÓW TENSOMETRYCZNYCH DEFORMACJI KÓŁ KOLEJOWYCH ZESTAWÓW KOŁOWYCH

Streszczenie. Metoda elementów skończonych jest najbardziej rozpowszechnioną metodą obliczeń wytrzymałościowych kół kolejowych zestawów kołowych. Jednakże wykorzystanie metody elementów skończonych bazującej na procedurach obliczeń przybliżonych powoduje otrzymanie wyników obarczonych błędem. Niezbędna staje się weryfikacja otrzymanych wyników numerycznych obliczeń deformacji i naprężeń. Najbardziej rozpowszechnioną metodą weryfikacji numerycznych obliczeń deformacji i naprężeń są pomiary tensometryczne. Autorzy pracy przeprowadzili obliczenia deformacji kół kolejowych zestawów kołowych za pomocą metody elementów skończonych, a następnie dokonali porównania wyników analizy numerycznej z wynikami pomiarów tensometrycznych deformacji koła.

1. WPROWADZENIE

Metoda elementów skończonych jest najbardziej rozpowszechnioną metodą obliczeń wytrzymałościowych kół kolejowych zestawów kołowych. Pozwala ona analizować koła o złożonej geometrii, poddane obciążeniom termicznym, obciążeniom w postaci sił skupionych, obciążeniom pochodzącym od wzajemnego oddziaływania układu koło – oś (wcisk) a także obciążeniom wynikającym z sił bezwładności i sił grawitacji. Jednakże wykorzystanie metody elementów skończonych bazującej na procedurach obliczeń przybliżonych powoduje otrzymanie wyników obarczonych błędem. Również geometryczne odwzorowanie obiektu rzeczywistego, które jest jednym z etapów tworzenia modelu obliczeniowego, bywa niedokładne. Wydaje się, że głównym powodem powstawania niedokładności podczas tworzenia modelu geometrycznego obiektu rzeczywistego są odchyłki wymiarów, które w przypadku kół kolejowych zestawów kołowych mogą stanowić nawet kilka procent wymiaru bazowego. Wyniki obliczeń numerycznych dokonanych metodą elementów skończonych mogą być obarczone błędami, których wartość może mieć duży wpływ na końcową ocenę i wnioski wypływające z przeprowadzonej analizy. Celem przeprowadzonych symulacji numerycznych uwzględniających zmianę modelu geometrycznego koła spowodowaną odchyłkami technologicznymi wymiarów było zbadanie wpływu zmian wymiarów tarczy koła (zmiana grubości tarczy wzdłuż obwodu koła) na wartości jego deformacji. Wyznaczona drogą pomiarów tensometrycznych wartość deformacja tarczy koła, posłużyła do weryfikacji wyników otrzymanych na drodze analizy numerycznej.

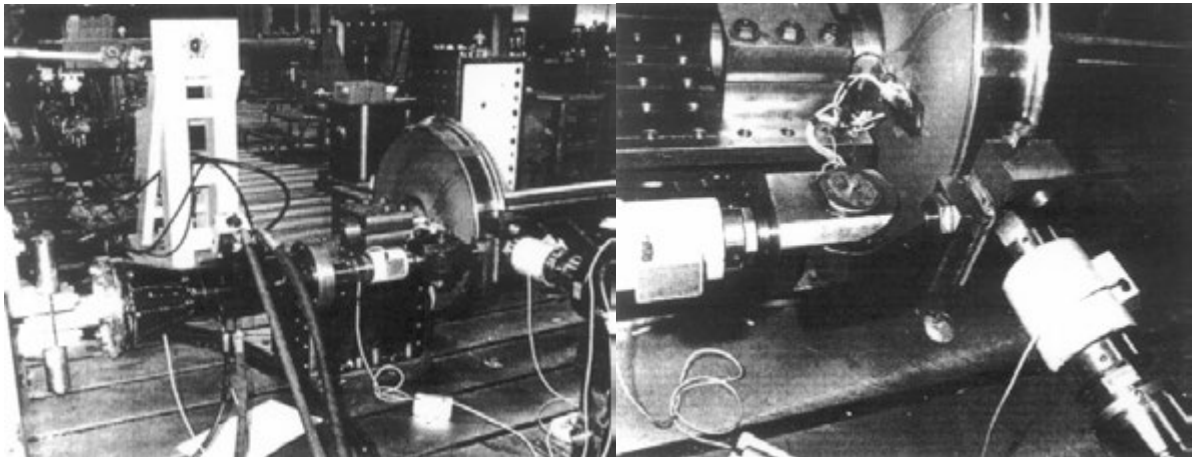
Badania prowadzone były we współpracy z zakładami Bonatrans a.s. Bohumin w Czechach.

2. PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań było koło kolejowego zestawu kołowego produkowane w Czechach. Wartości deformacji wyznaczone drogą pomiarów tensometrycznych na stanowisku badawczym porównane zostały z wartościami deformacji wyznaczonymi metodą elementów skończonych. Porównanie to pozwoliło uwzględnić wpływ zmian modelu geometrycznego na wartości deformacji tarczy koła. Obliczenia numeryczne prowadzone były z wykorzystaniem programu do analizy metodą elementów skończonych Cosmos 2.6 [1].

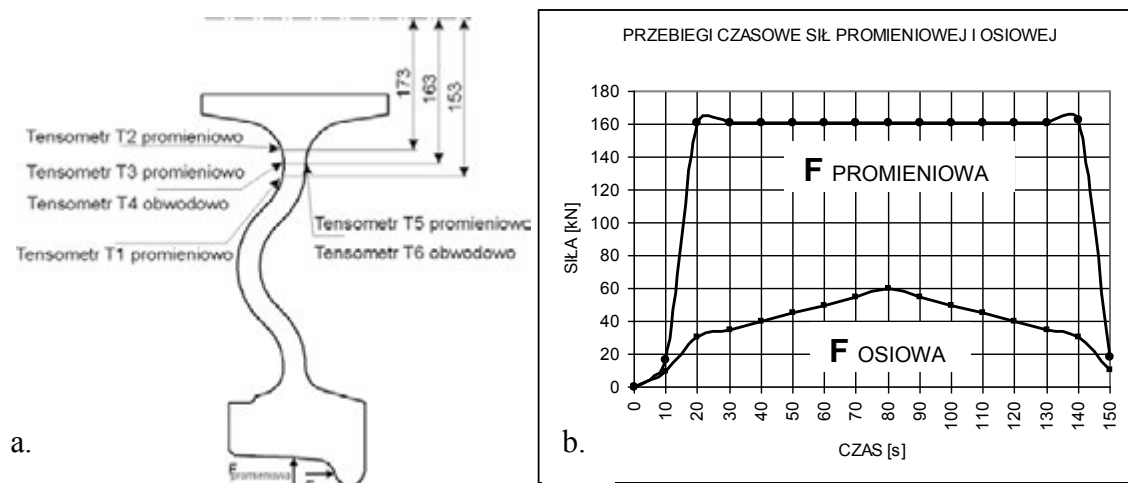
3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Badania doświadczalne przeprowadzone zostały w zakładach Bonatrans a.s. Bohumin w Czechach, na stanowisku służącym do dokonywania pomiarów tensometrycznych deformacji kół kolejowych zestawów kołowych (Rys.1). Tensometry zostały umieszczone na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni tarczy koła w kierunku promieniowym i obwodowym (Rys.2a). Maksymalne obciążenie koła wywołane siłownikiem hydraulicznym odpowiadało statycznemu oddziaływaniu w układzie koło – szyna.

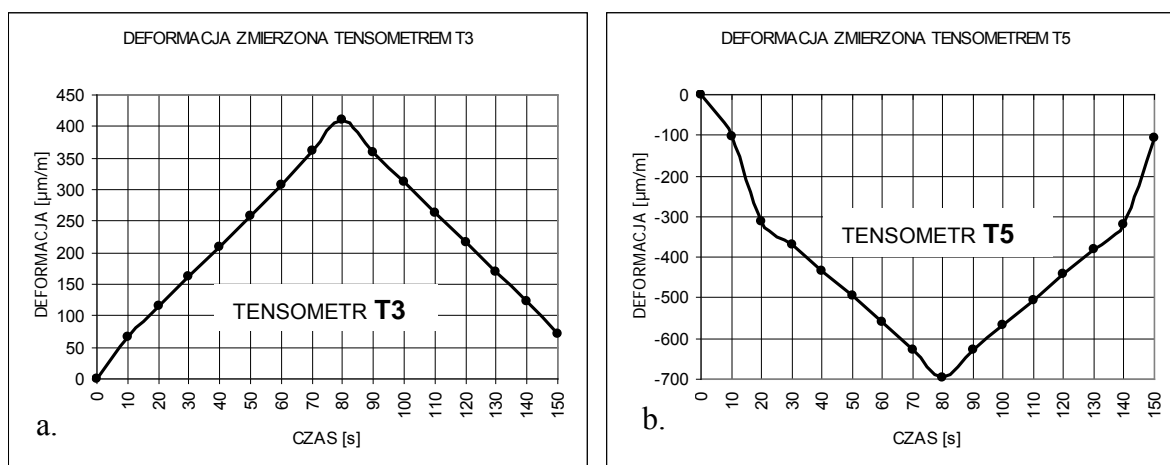


Rys. 1. Stanowisko do dokonywania pomiarów tensometrycznych deformacji kół kolejowych zestawów kołowych (Bonatrans a.s. Bohumin, Czechy)

Wynikiem przeprowadzonych badań doświadczalnych było wyznaczenie deformacji tarczy koła kolejowego przy pomocy pomiarów tensometrycznych. Koło obciążano jednocześnie siłą promieniową i osiową (Rys.2a) w czasie 150 sekund. Maksymalne, ustalone wartości sił wynosiły odpowiednio: siła osiowa 60 kN, siła promieniowa 160 kN (Rys.2b). Maksymalne, ustalone wartości siły promieniowej i siły osiowej zostały przyjęte w drugim etapie badań, podczas prowadzenia analizy koła metodą elementów skończonych. Do porównania wyników badań doświadczalnych z wynikami analizy numerycznej MES, wybrano wartości deformacji zmierzone tensometrami T3 i T5 umieszczonymi promieniowo po obu stronach tarczy koła (Rys.2a). Wartości deformacji w kierunku promieniowym miały dominujące znaczenia i były o rząd większe od deformacji w kierunku obwodowym. Maksymalne zmierzone wartości deformacji promieniowej tarczy koła po stronie wewnętrznej (tensometr 3 – T3) i po stronie zewnętrznej (tensometr 5 – T5) wynosiły odpowiednio: strona zewnętrzna (tensometr 3 – T3) 412 $\mu\text{m/m}$ (Rys. 3a), strona wewnętrzna (tensometr 5 – T5) – 695 $\mu\text{m/m}$ (Rys.3b).



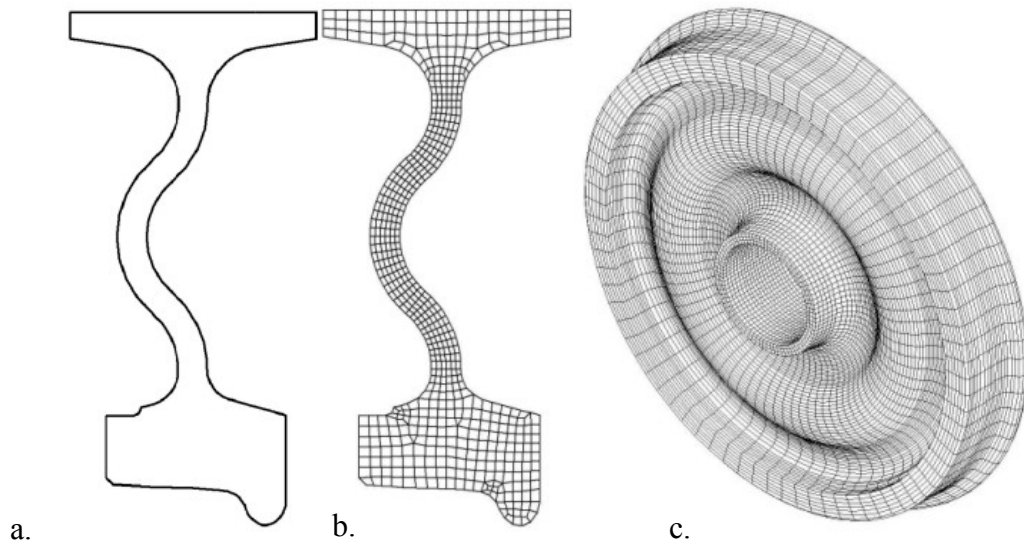
Rys. 2.: a. – schemat obciążenia koła na stanowisku badawczym i umieszczenia tensometrów na kole, b. – przebiegi czasowe sił obciążających koło na stanowisku badawczym.



Rys. 3.: Przebiegi czasowe deformacji koła zestawu kołowego zmierzone na stanowisku badawczym: a. – deformacja tarczy koła w miejscu naklejenia tensometru T3 (strona zewnętrzna koła), b. – deformacja tarczy koła w miejscu naklejenia tensometru T5 (strona wewnętrzna koła).

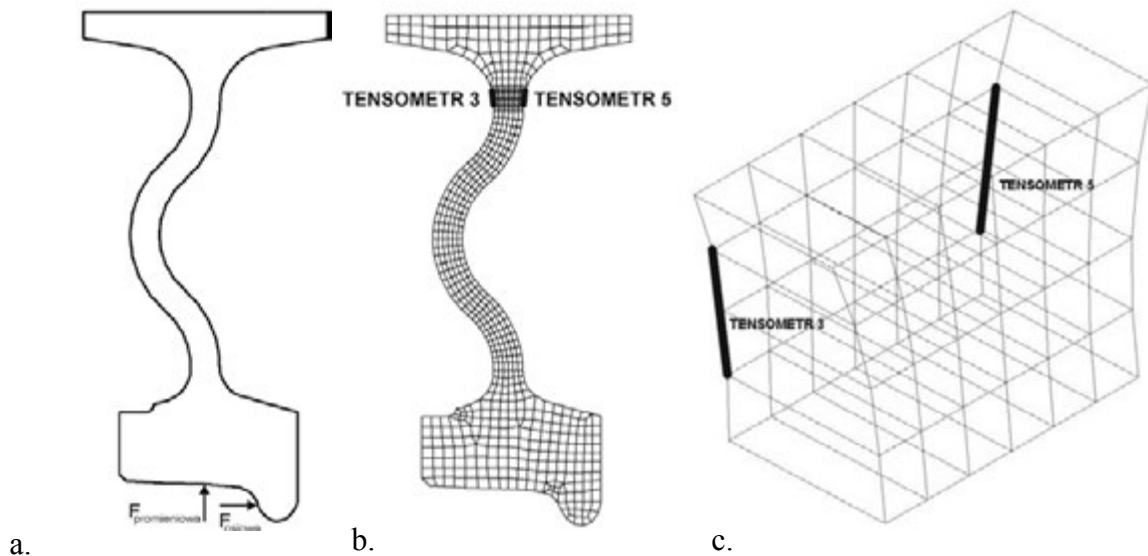
4. ANALIZA MES

Na podstawie dokumentacji technicznej przyjęta została geometria połowy poprzecznego przekroju koła (Rys.4a). Model geometryczny koła posłużył do stworzenia modelu fizycznego, a ten został wykorzystany do stworzenia płaskiego i przestrzennego modelu dyskretnego koła kolejowego zestawu kołowego (Rys.4b i 4c) [2, 3]. Płaski model MES został wykorzystany do wygenerowania przestrzennego, bryłowego modelu dyskretnego koła. Do przeprowadzenia obliczeń numerycznych wykorzystano przestrzenny model koła.



Rys.4.: a. – model fizyczny połowy przekroju poprzecznego koła kolejowego, b. – model dyskretny 2D koła, c. – model dyskretny 3D koła.

Model dyskretny koła podparto w miejscach styku piasty koła z osią kolejowego zestawu kołowego, odbierając w węzłach leżących na powierzchni styku wszystkie stopnie swobody [4, 5]. Obciążenie koła kolejowego zestawu kołowego stanowiły dwie siły skupione (pionowa i pozioma) odpowiadające statycznemu oddziaływaniu w układzie szyna – koło (Rys.5a).



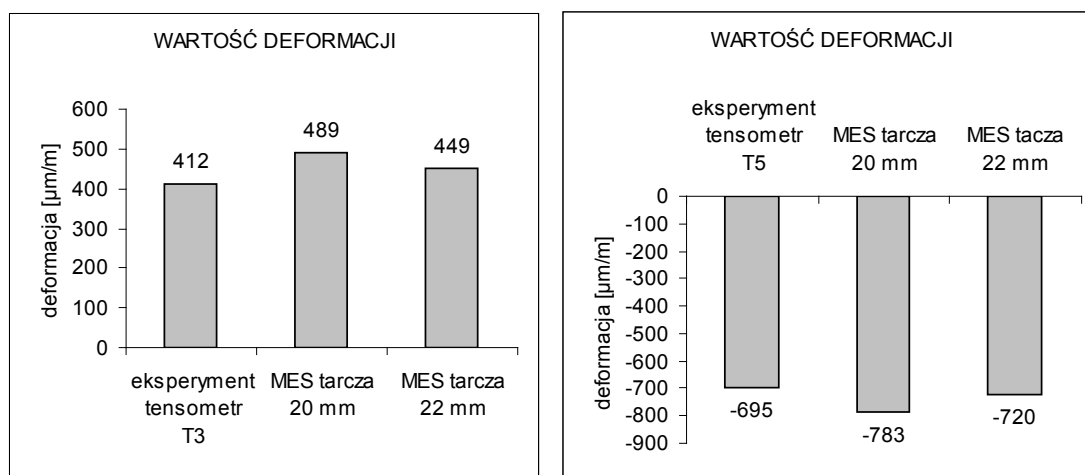
Rys. 5.: a. schemat obciążenia koła kolejowego zestawu kołowego siłami odpowiadającymi statycznemu oddziaływaniu w układzie szyna – koło, b. – schemat rozmieszczenia tensometrów, c. – schemat rozmieszczenia tensometrów – fragment.

Analizę numeryczną przeprowadzono dla modeli MES, uwzględniających różne warianty wymiarowe koła kolejowego zestawu kołowego. Szczególną uwagę poświęcono dwóm wariantom wymiarowym, różniącym się wymiarem określającym grubość tarczy. W pierwszym wariantcie wymiarowym grubość tarczy koła równa była wartości wymiaru bazowego i wynosiła 20 mm, w drugim przypadku grubość tarczy równa była wymiarowi bazowemu powiększonemu o wartość górnej odchyłki wymiarowej i wynosiła 22 mm. Położenie i wymiary krawędzi elementów skończonych, których deformację wyznaczono

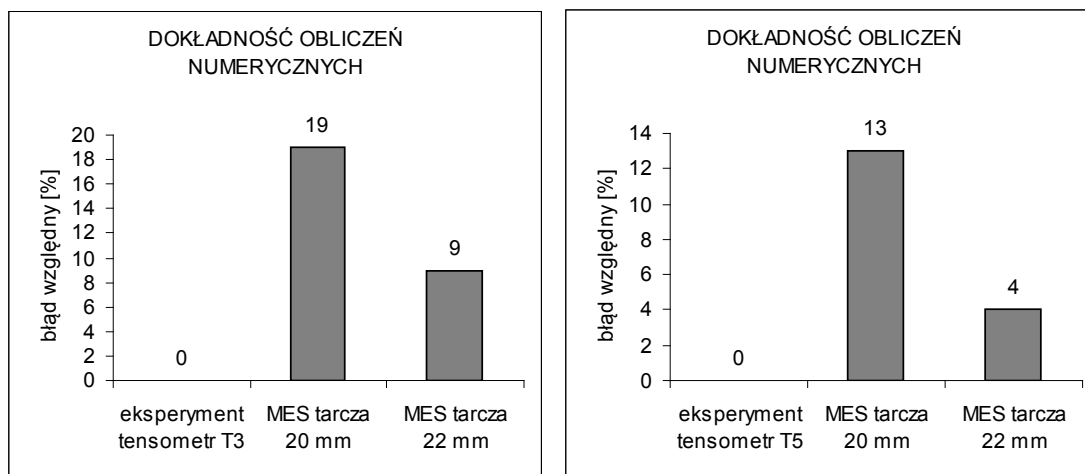
Porównanie wyników analizy MES z wynikami pomiarów tensometrycznych...

numerycznie, odpowiadało miejscom naklejenia tensometrów na obiekcie rzeczywistym i ich wymiarom (Rys.5b i 5c). Wyznaczono deformację po stronie włókien rozciąganych (tensometr 3) i po stronie włókien ściskanych (tensometr 5).

Analiza numeryczna modeli różniących się geometrią pozwoliła na określenie zakresu zmian wartości deformacji tarczy koła w zależności od jej grubości (Rys.6.). Otrzymane wyniki analizy numerycznej MES wykazują zadowalającą autorów zgodność z wynikami badań eksperymentalnych. Model oparty na geometrii uwzględniającej maksymalną grubość tarczy cechuje różnica wyników poniżej 10 % w stosunku do wyników pomiarów tensometrycznych (Rys.7).



Rys. 6. Porównanie wartości deformacji wyznaczonej doświadczalnie i numerycznie.



Rys.7. Błąd względny obliczeń numerycznych w odniesieniu do wyników pomiarów tensometrycznych.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzona analiza MES przemieszczeń węzłów elementów skończonych i określenie deformacji krawędzi elementów skończonych pozwoliły na porównanie wartości deformacji otrzymanych w wyniku obliczeń numerycznych i drogą pomiarów tensometrycznych. Najmniejszy błąd względny wyników obliczeń numerycznych odniesionych do wyników badań doświadczalnych wynosił od 4 do 9 procent. Na podstawie

dobrej zgodności wyników analizy numerycznej deformacji z wynikami badań doświadczalnych wnioskować można, że model odpowiada obiektowi rzeczywistemu. Wybrany model poddany zostanie nieliniowej analizie termicznej, analizie strukturalnej, która będzie uwzględniać oddziaływania dynamiczne w układzie szyna – koło, siły bezwładności, siły pochodzące od naprasowania koła na oś kolejowego zestawu kołowego, nieliniowe własności materiałowe zależne od temperatury.

LITERATURA

1. Rusiński E.: Metoda elementów skończonych. System Cosmos/M. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa, 1994.
2. Sitarz M., Śładkowski A.W., Chruzik K.: Analysis of calculation errors in MES (Final Elements Method). 42nd International Scientific Conference Riga 2001.
3. Sitarz M., Bizoń K., Chruzik K.: Numerical calculations reckonings of railway wheel sets 42nd International Scientific Conference Riga 2001.
4. Śładkowski A., Chruzik K.: Zastosowanie metod numerycznych do analiz wytrzymałościowych połączenia montażowego koło – oś XL sympozjon PTMTS „Modelowanie w mechnice” Streszczenia referatów. – Wisła, 2001. – s. 241 - 242.
5. Сладковский А.В., Шмурыгин Н.Д.: К вопросу точности определения НДС железнодорожных колес при помощи МКЭ / XVIII Международная конференция. Математическое моделирование в механике сплошных сред на основе методов граничных и конечных элементов. Санкт – Петербург, 2000. с. 163 – 168.

RESULTS COMPARISON OF FEM ANALYSIS WITH TENSOMETERS MEASUREMENTS OF WHEEL OF RAIL WHEEL-SETS DEFORMATION RESULTS

Summary. Finite Element Method is the most popular method of the structural and thermal calculations of the rail sets wheel. Usage of finite elements method on approximate calculating procedures causes receiving mistake results. The verification of numeric calculations with received in research results is necessary. Tensometers measurements are the most popular method of structural numeric calculations verification. The authors of the paper made structural calculations of wheels of rail wheel-sets with the help of finite elements method, and later compared the analysis results with tensometers measurements of wheel deformation.