

ANALIZA DYNAMICZNA TURBOZESPOŁU ENERGETYCZNEGO JAKO PODSTAWA DO ZMIANY JEGO KONSTRUKCJI

Maciej KAHSIN, Henryk OLSZEWSKI, Zbigniew WALCZYK

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Elblągu
ul. Wojska Polskiego 1, 82-300 Elbląg
fax: + 48 55 239 88 52, e-mail: z.walczyk@pwsz.elblag.pl

Mirosław MIŚCICKI

ALSTOM Power Sp. z o.o. w Elblągu
ul. Stoczniowa 2, 82-300 Elbląg
fax: + 48 55 232 49 76

Streszczenie

W pracy badano wpływ rekonstrukcji naprawczych turbozespołu energetycznego dużej mocy na jego dynamiczne charakterystyki – częstości i postacie drgań własnych. W obliczeniach uwzględniono wpływ gruntu, w którym osadzona jest dolna płyta fundamentu. Wyniki symulacji komputerowych porównano z dynamicznymi charakterystykami turbozespołu i jego fundamentu wyznaczonymi eksperymentalnie. Przedmiotem badań był turbozespół energetyczny AEG TG-A w elektrowni Pomorzany.

Słowa kluczowe: dynamika, drgania własne, drgania wymuszone, turbozespoły, metody numeryczne

DYNAMICS ANALYSIS OF HIGH POWER TURBO SET AS A BASIS FOR CONSTRUCTIONAL CHANGES

Summary

Influence constructional changes of high power turbo set on dynamical characteristics – natural frequencies and natural forms was analyzed in this paper. Influence of soil together with lower plate of foundation was included in calculations. Results of computer simulations were compared with dynamical characteristics of turbo set and turbine set foundation experimental specified. High power turbine set AEG TG-A at power plant Pomorzany was object of the analysis.

Keywords: dynamics, natural vibrations, forced vibrations, turbine sets, numerical methods

1. WSTĘP

Problematyka dynamiki turbozespołów jest ogromna. W pracy zajęto się przede wszystkim problemem wpływu fundamentowania konstrukcji wspierającej linię wirników na dynamikę turbozespołu. Przyjęto, że pojęcie fundamentowania obejmuje fundament wraz z gruntem, na którym jest osadzony.

Głównym celem metod analiz dynamiki turbozespołów jest określenie przyczyn złego stanu dynamicznego tych konstrukcji. W oparciu o powyższe metody mogą być opracowywane systemy diagnostyczne opisujące stan dynamiczny turbozespołu w czasie jego eksploatacji oraz systemy wspomagające projektowanie, których głównym celem jest zapewnienie właściwej pracy turbozespołu. Wykonane w pracy obliczenia numeryczne uwzględniają najważniejsze zjawiska występujące podczas eksploatacji turbozespołu wywołujące drgania. Drgania turbozespołów są

zjawiskiem niekorzystnym, obniżającym jego niezawodność i żywotność oraz utrudniającym jego eksploatację. Podczas rozchodzenia się drgań i hałasu poza turbozespołem dochodzi negatywny ich wpływ na otoczenie.

Opisem dynamicznych właściwości elementów turbozespołu nazywa się opis ich stanu dynamicznego. Jest to pojęcie powszechnie używane w literaturze [10, 11] i służy ono do określenia „jakości” zachowania się turbozespołu podczas ruchu.

Zły stan dynamiczny turbozespołu występuje wówczas, gdy następuje przekroczenie dopuszczalnych wartości parametrów opisujących ten stan. Podstawowymi parametrami określającymi dynamiczny stan turbozespołu są wielkości charakteryzujące widma drgań elementów turbozespołów takie, jak: amplitudy, prędkości, przyspieszenia, częstości drgań oraz temperatury elementów i czynników płynnych [10]. Pomiarów powyższych parametrów dokonuje się okresowo lub

w sposób ciągły podczas jego eksploatacji. Pomiar te najczęściej obejmują widmo drgań bezwzględnych stojaków łożyskowych, drgań wybranych punktów korpusów maszyn i fundamentu turbozespołu oraz pomiary widma drgań względnych elementów wirnika odniesionych do stratorów.

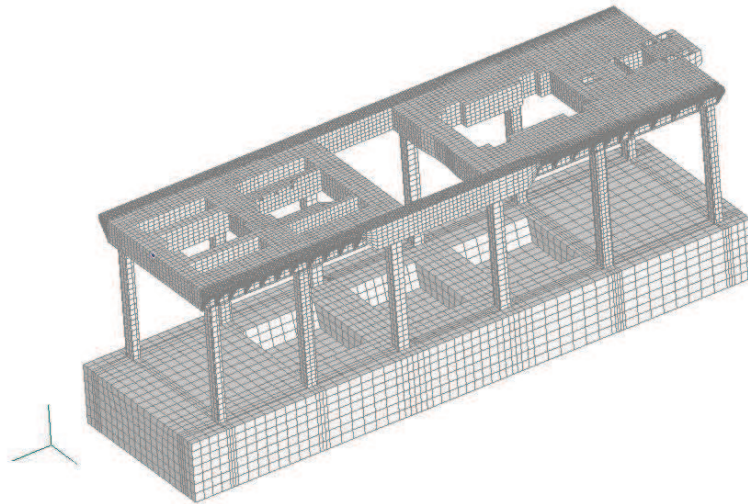
Ponieważ głównym celem pracy jest opracowanie modelu turbozespołu, a przede wszystkim wykonanie modeli fundamentu i korpusów maszyn przyjęto koncepcję modelowania elementami skończonymi jako najbardziej rokującą powodzenie. Modelowanie MES polega na podziale układu o ciągłym rozkładzie parametrów na elementy skończone [1, 2]. Uzyskane modele dają wyniki przybliżone i powinny być zweryfikowane eksperymentem. Wymagają one „dostrajania” na podstawie własności zmierzonych na rzeczywistym obiekcie.

W pracy wykorzystano rezultaty pomiarów charakterystyk odizolowanych punktów turbozespołu

energetycznego wykonanych przez zespół prof. T. Uhla [8]. Zarówno obliczenia numeryczne, jak i badania doświadczalne dotyczyły turbozespołu energetycznego AEG TG-A.

2. MODEL FUNDAMENTU

Podczas analiz statycznych i dynamicznych fundamenty turbozespołów konwencjonalnie są modelowane jako trójwymiarowe układy kratownicowe. Fundamenty ze sprężycie posadowioną płytą górną są obliczane jako dwuwymiarowe układy kratownicowe lub ramowe. W obliczeniach uwzględniane są parametry gruntu, na którym posadowiona jest dolna płyta fundamentu. W pracy przyjęto przestrzenny model fundamentu, jako najbliższy rzeczywistej konstrukcji. Model fundamentu był następnie dyskretyzowany przestrzennymi odkształcalnymi elementami skończonymi – rys. 1.



Rys. 1. Fundament turbozespołu AEG TG-A - widok izometryczny

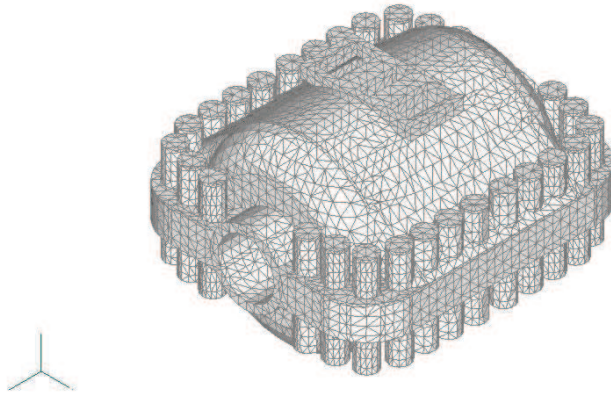
3. MODELE KORPUSÓW MASZYN TURBOZESPOŁU

W ramach pracy wykonano szereg fizycznych modeli turbozespołu AEG TG-A. Do dyskretyzacji konstrukcji użyto metodę odkształcalnych elementów skończonych [12], wraz z metodą mas skupionych [7]. Przy pomocy odkształcalnych elementów skończonych OES zdyskretyzowano fundament. Odkształcalnymi elementami skończonymi modelowane były również korpusy maszyn turbozespołu w celu wyznaczenia parametrów bezwłasnościowych i sztywnościowych modeli mas skupionych – MS.

Na rys. 2 przedstawiono widoki korpusu turbiny WP. Korpus turbiny WP składa się z dwóch zasadniczych części: korpusu wewnętrznego oraz korpusu zewnętrznego. Modele fizyczne korpusów zewnętrznego i wewnętrznego turbiny WP są bryłami.

Korpus turbiny SP składa się z: korpusu wewnętrznego, korpusu zewnętrznego wraz z wylotem pary. Model fizyczny korpusu turbiny SP (podobnie, jak w przypadku korpusu turbiny WP) jest bryłą.

Korpus turbin NP zamodelowano jako przestrzenną konstrukcję powłokową. Korpus turbin NP składa się z dwóch części: lewej i prawej, stanowiącej w przybliżeniu lustrzane odbicie części lewej (względem płaszczyzny prostopadłej do osi wirników przechodzącej przez środek korpusu), co zostało wykorzystane podczas budowy modeli. Korpus turbin NP poprzez złącze kompensacyjne połączony jest ze skraplaczem. Kolejnymi elementami turbozespołu są generator i korpusy łożysk również zamodelowane jako przestrzenne konstrukcje powłokowe.



Rys. 2. Model OES korpusu turbiny WP turbozespołu AEG TG-A

4. MODEL CAŁOŚCIOWY TURBOZESPOŁU

W modelu całościowym turbozespołu do dyskretyzacji korpusów maszyn zastosowano metodę mas skupionych - MS. W metodzie tej parametry bezwładnościowe są opisane w punkcie materialnym znajdującym się w środku masy dyskretyzowanej konstrukcji [4, 5, 6]. Umieszczona w tym punkcie masa skupiona posiada sześć stopni swobody (trzy translacyjne i trzy rotacyjne). Parametry bezwładnościowe mas skupionych zostały wyznaczone w sposób naturalny, zaś parametry sztywnościowe w wyniku iteracyjnego strojenia wartości częstości i postaci drgań własnych modeli wykonanych metodą OES i MS.

Masy skupione są połączone ze sobą i z ostoją za pomocą elementów sprężystych. W szczególnym przypadku elementami łączącymi mogą być sztywne elementy dwuwymiarowe (reprezentowane geometrycznie przez odcinki linii prostej). Elementy sztywne dwuwymiarowe w metodzie mas skupionych służą głównie do przykładania w określonych punktach wymuszeń - zarówno siłowych, jak i kinematycznych. Metodę MS zastosowano w systemie obliczeniowym MSC/NASTRAN. Stworzono przestrzenne struktury elementów skończonych obejmujące masy skupione, elementy sprężyste i elementy sztywne dyskretyzujące korpusy maszyn turbozespołu.

W rezultacie został opracowany model całościowy turbozespołu – rys. 3. W modelu tym fundament jest opisany odkształcalnymi elementami skończonymi. W przypadku gruntu zastosowano model sprężysty (Winklera). Własności fizyczne gruntu określone są sztywnościami elementów sprężystych (model bezmasowy).

5. REKONSTRUKCJE NAPRAWCZE TURBOZESPOŁU

W ramach pracy „strojono” model całościowy MES turbozespołu oraz model doświadczalny [8, 9]

i na tej podstawie skorygowano parametry modeli MES. Przyjęto, że model całościowy MES i model doświadczalny są zbieżne, jeżeli postaci drgań własnych odpowiadające częstościom 18 Hz, 50 Hz i 100 Hz są identyczne. Należy przy tym zwrócić uwagę, że „strojenie” postaci drgań własnym jest zagadnieniem o rząd trudniejszym niż „strojenie” wartości częstości własnych. Zarówno „strojenia” wartości częstości, jak postaci drgań własnych są procesami iteracyjnymi, wzajemnie ze sobą sprzężonymi.

Po nastrojeniu układu osiągniętego przez dobór jego parametrów można uznać, że opracowany w ten sposób model będzie z wystarczającą dokładnością opisywać układ rzeczywisty (ponieważ przy strojeniu wykorzystano wyniki eksperymentu). Wobec tego można przystąpić do realizacji najważniejszego celu tej pracy a mianowicie do określenia rekonstrukcji naprawczej turbozespołu odstrajającej go od częstości 50 Hz i 100 Hz.

Na rys. 3 przedstawiono wyniki strojenia modelu całościowego MES turbozespołu z pomierzonymi formami drgań przez AGH – ENERGOCONTROL [8]. W tabeli 1 przedstawiono i porównano proponowane warianty rekonstrukcji naprawczych turbozespołu. W obliczeniach uwzględniono dostrojone parametry elementów skończonych. Na rys. 4÷6 pokazane są postaci drgań własnych analizowanych rekonstrukcji naprawczych turbozespołu.

6. WNIOSKI

Jednym z najważniejszych zastosowań metod analizy drgań turbozespołów jest wykorzystanie ich w czasie eksploatacji w procesie diagnozowania. Możliwość równoczesnego występowania wielu zjawisk fizycznych wywołujących drgania turbozespołu komplikuje diagnozowanie pogarszającego się stanu dynamicznego mechanizmu [7, 3]. Stąd przy opracowywaniu systemów diagnostycznych należy

dokładnie modelować te układy częściowe, które decydują o stanie dynamicznym całego turbozespołu. Jak wykazały przeprowadzone analizy numeryczne i wyniki badań doświadczalnych układami tymi są również fundament wraz z gruntem oraz korpusy maszyn. Z przeprowadzonych obliczeń turbozespołu AEG TG-A wynika, że wpływ konstrukcji podpierającej na dynamikę wirników jest niepomijalny.

Do modelowania konstrukcji wspierającej linię wirników można wykorzystać modele liniowe stosując „uśrednione” charakterystyki mechaniczne żelbetu, z którego wykonany jest fundament.

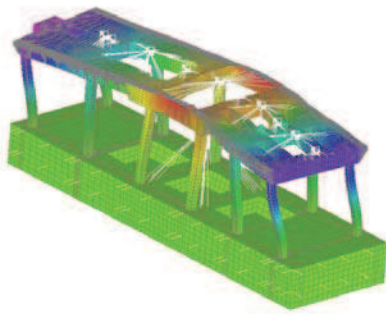
Pominięcie wpływu gruntu w modelowaniu konstrukcji podpierającej udaremniło by możliwość „dostrojenia” modelu do wyników eksperymentu.

Stwierdzono, że zastosowanie metody mas skupionych w modelowaniu korpusów maszyn turbozespołu może dawać w ostateczności wystarczającą dokładność obliczeń. Należy tutaj jednakże wziąć pod uwagę fakt, że to stwierdzenie mogło być sformułowane w przypadku analizowanego turbozespołu, gdzie posiadano również wyniki uzyskane bardziej dokładnymi modelami (model OES).

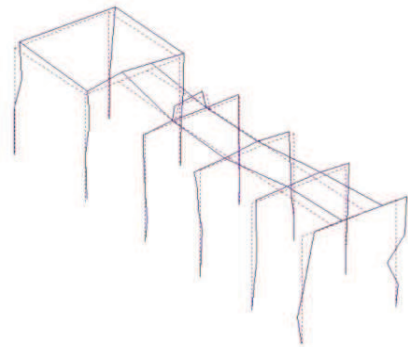
Tabela 1. Zestawienie rekonstrukcji naprawczych turbozespołu AEG TG-A

Nr rekonstr.	Opis	Częstotliwość dostrojona	Częstotliwość po rekonstrukcji
[-]	[-]	[Hz]	[Hz]
1	Wspawanie teownika (wysokości 750 mm, szerokości słupów, grubość blach 35 mm) pod rygłem znajdującym się pod korpusem łożyska nr 4.	50.32	50.87
2	Pogrubienie dolnej płyty rygła znajdującego się pod korpusem łożyska nr 4 z 35 mm do 70 mm	50.32	50.41
3	Pogrubienie ścian zewnętrznych słupów ramy pod korpusem łożyska nr 4 z 20 mm do 55 mm	50.32	52.91
4	Pogrubienie ścian zewnętrznych słupów ramy pod korpusem łożyska nr 4 z 20 mm do 55 mm oraz dolnej płyty rygła pod korpusem łożyska nr 4 z 35 mm do 70 mm	50.32	53.29
5	Pogrubienie ścian zewnętrznych słupów ramy pod korpusem łożyska nr 4 z 20 mm do 55 mm, dolnej płyty rygła znajdującego się pod korpusem łożyska nr 4 z 35 mm do 70 mm oraz wspawanie węzłówek o grubości 35 mm.	50.32	53.92
6	Wstawienie „skrzyni” o szerokości rygła znajdującego się pod korpusem łożyska nr 4 i wysokości 500 mm (będącej rozbudowaniem konstrukcji rygła)	50.32	50.35
7	Wzmocnienie słupów ramy pod łożyskiem nr 4 ceownikami o wysokości średnika równej szerokości słupów, szerokości półki równej 320 mm oraz grubości ścianek 20 mm, ceowniki są związane na sztywno z dolną płytą fundamentu	50.32	53.65
8	Wzmocnienie słupów ramy pod korpusem łożyska nr 4 ceownikami o wysokości średnika równej szerokości słupów, szerokości półki równej 320 mm, grubości ścianek równej 20 mm, ceowniki są związane na sztywno z dolną płytą fundamentu oraz wstawienie „skrzyni” o szerokości rygła znajdującego się pod korpusem łożyska nr 4 i wysokości 500 mm (będącej rozbudowaniem rygła)	50.32	53.96
9	Wzmocnienie słupów ramy pod korpusem łożyska nr 4 ceownikami o wysokości średnika równej szerokości słupów, szerokości półki równej 320 mm i grubości ścianek równej 20 mm, ceowniki <u>nie są związane</u> z dolną płytą fundamentu oraz z rygłem	50.32	52.75

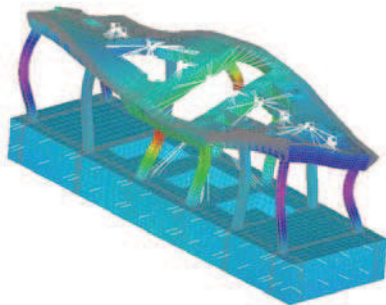
a) postać drgań Nr 6 (19.87 Hz)



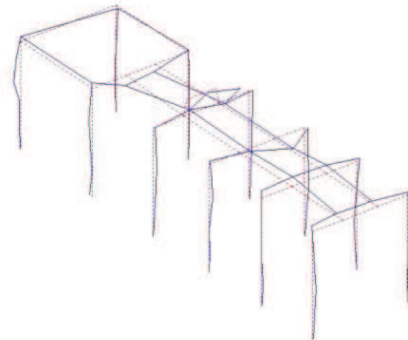
Pomierzona forma drgań przez AGH – ENERGOCONTROL [8]



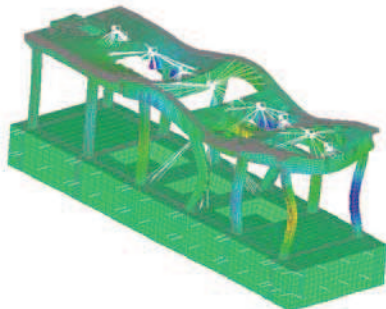
b) postać drgań Nr 25 (50.32 Hz)



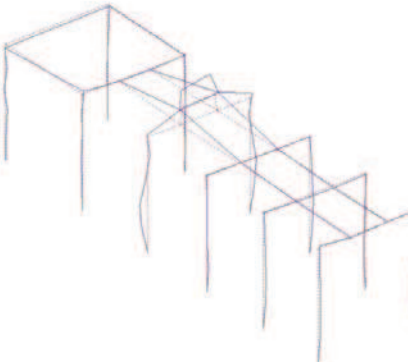
Pomierzona forma drgań przez AGH – ENERGOCONTROL [8]



c) postać drgań Nr 83 (96.20 Hz)

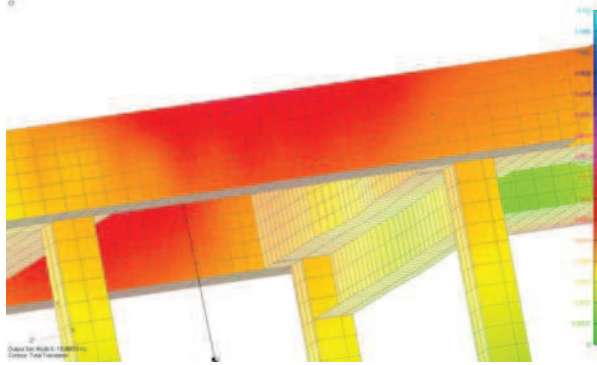


Pomierzona forma drgań przez AGH – ENERGOCONTROL [8]

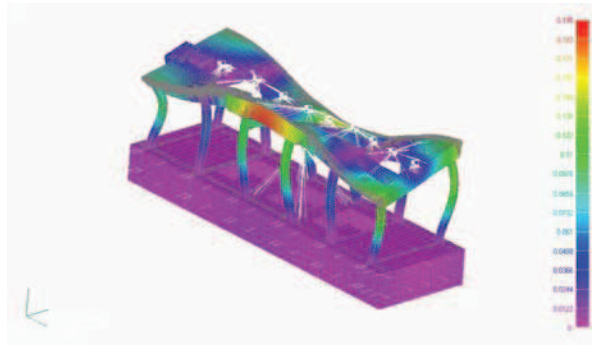


Rys. 3. Strojone postacie drgań własnych modelu turboszespołu AEG TG-A

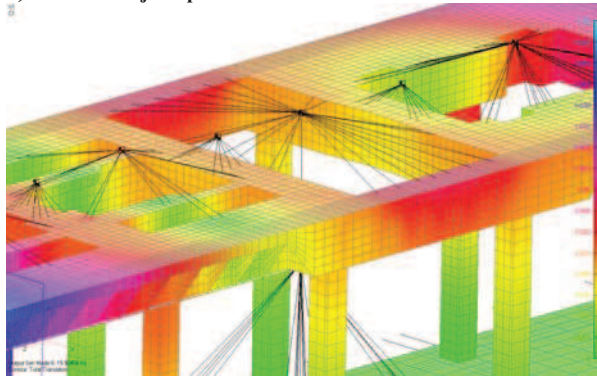
a) rekonstrukcja naprawcza 1:



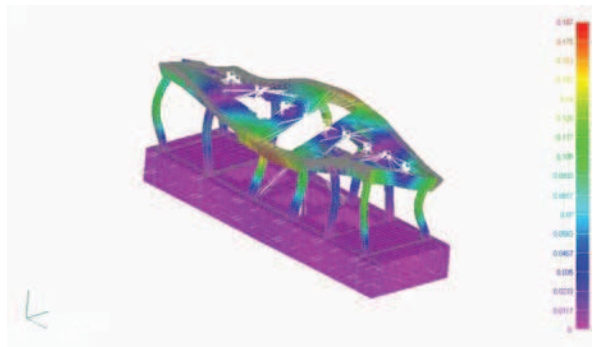
postać drgań Nr 26 (50.87 Hz):



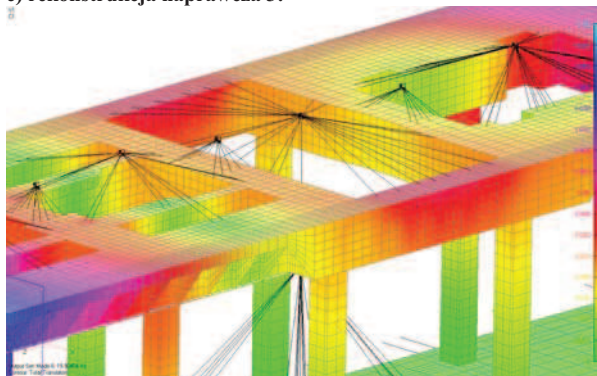
b) rekonstrukcja naprawcza 2:



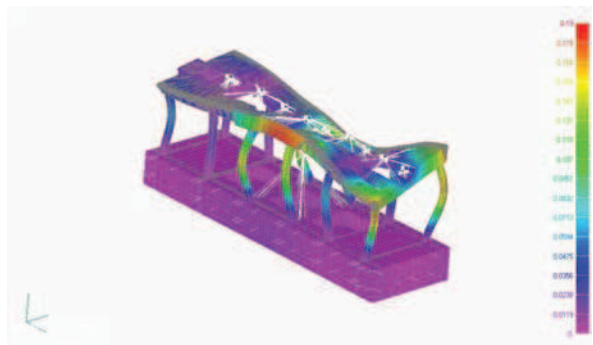
postać drgań Nr 25 (50.41 Hz):



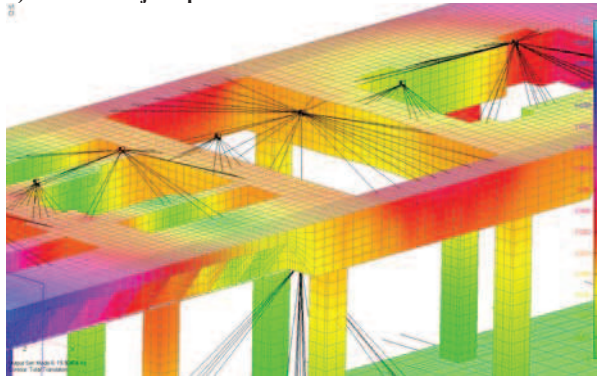
c) rekonstrukcja naprawcza 3:



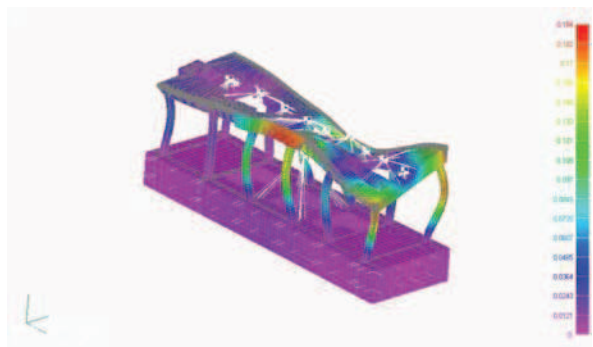
postać drgań Nr 25 (52.91 Hz):



d) rekonstrukcja naprawcza 4:

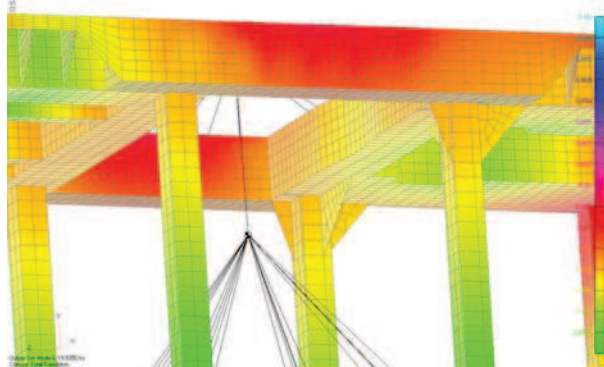


postać drgań Nr 25 (53.29 Hz):

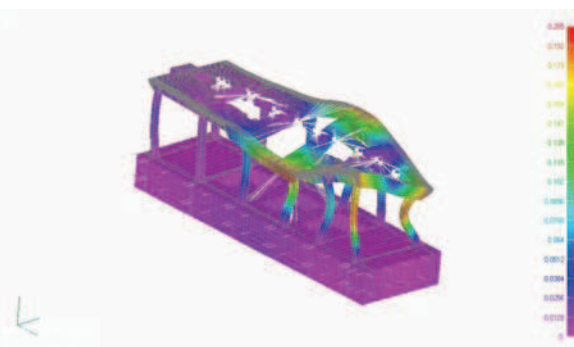


Rys. 4. Rekonstrukcje naprawcze 1÷4 - postacie drgań własnych turbozespołu AEG TG-A

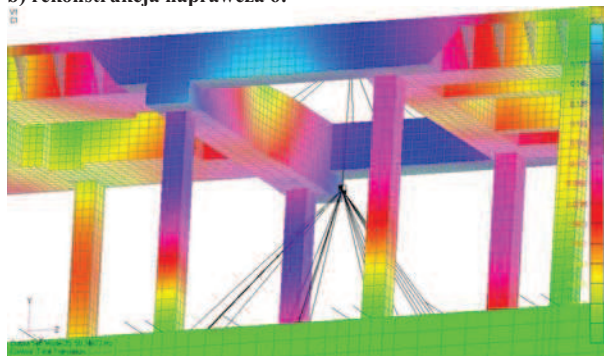
a) rekonstrukcja naprawcza 5:



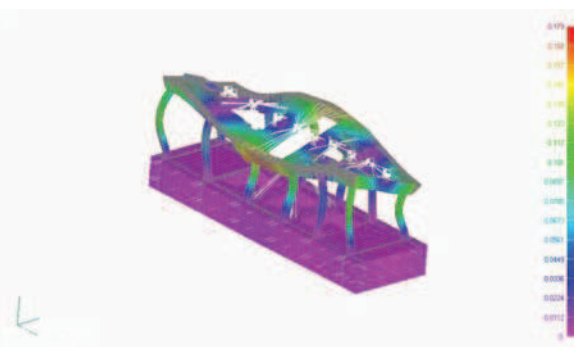
postać drgań Nr 25 (53.92 Hz)



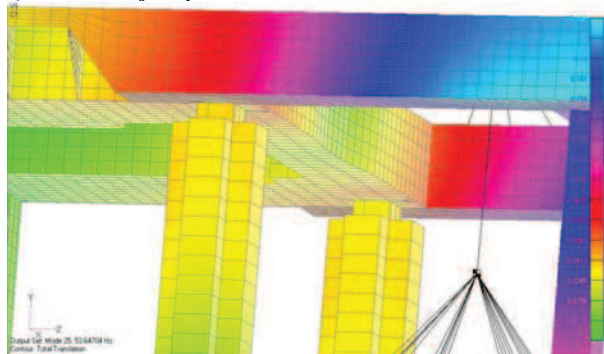
b) rekonstrukcja naprawcza 6:



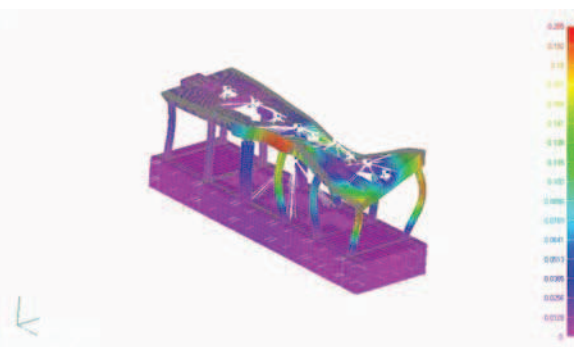
postać drgań Nr 25 (50.35 Hz)



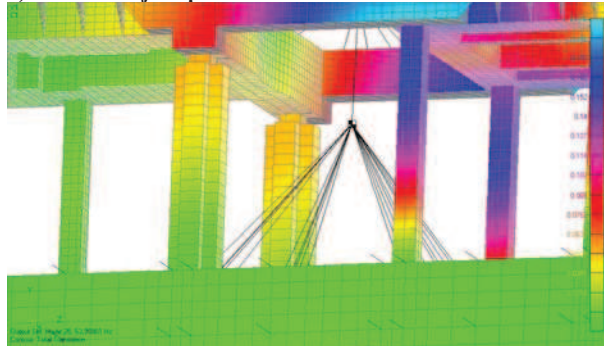
c) rekonstrukcja naprawcza 7:



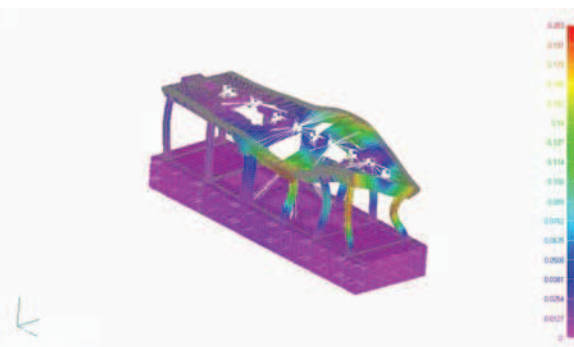
postać drgań Nr 25 (53.65 Hz)



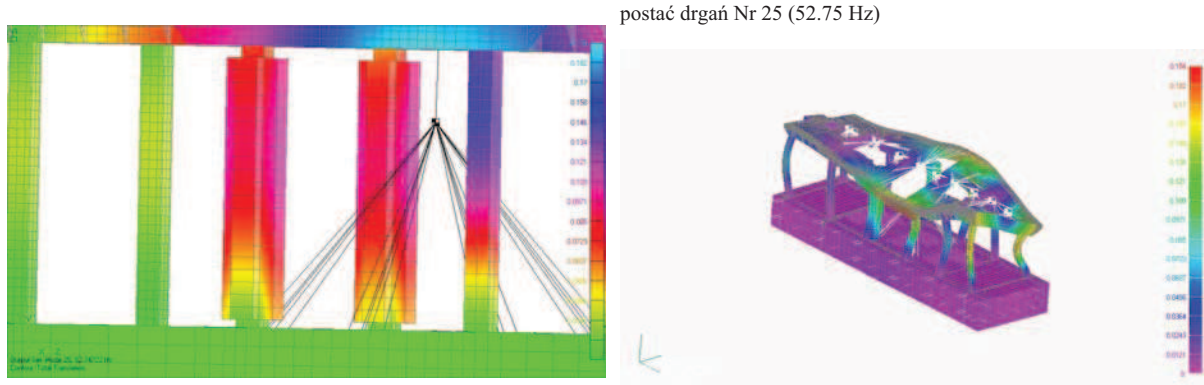
d) rekonstrukcja naprawcza 8:



postać drgań Nr 25 (53.96 Hz)



Rys. 5. Rekonstrukcje naprawcze 5÷8 - postacie drgań własnych turbozespołu AEG TG-A



Rys. 6. Rekonstrukcja naprawcza 9 - postać drgań własnych turbozespołu AEG TG-A

LITERATURA

- [1] ABAQUS 5.2, User manual, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., 1992.
- [2] ANSYS Workbook, Release 5.0, ANSYS, Inc. 1992.
- [3] Kruszewski J., Wittbrodt E., Walczyk Z.: Drgania układów mechanicznych w ujęciu komputerowym. Tom II: Zagadnienia wybrane. Seria: Wspomaganie komputerowe CAD CAM. Warszawa: WNT, 1996.
- [4] Olszewski H., Walczyk Z.: Dynamiczne liczby wpływowe fundamentów turbozespołów energetycznych. Kraków: 70-lecie urodzin i 45-lecie pracy naukowej Prof. dr hab. Inż. Józefa Giergiela oraz V Szkoła Analizy Modalnej, str. 312-323, 12-14.12.2000.
- [5] Olszewski H., Walczyk Z.: Wpływ fundamentowania na dynamiczne właściwości turbozespołu energetycznego o mocy 200 MW. Gdańsk: KONFERENCJA NAPĘDY I STEROWANIE '99, V Seminarium, str. 120-128, 1999.
- [6] Olszewski H.: Charakterystyki dynamiczne wpływu fundamentowania na drgania wirników turbozespołów energetycznych dużej mocy. Gdańsk: KONFERENCJA MECHANIKA 99, tom 2, str. 353-358, 1999.
- [7] Olszewski H.: Wpływ fundamentowania na dynamiczne właściwości turbozespołu energetycznego, Gdańsk: praca doktorska, Politechnika Gdańska, 2001.
- [8] Sprawozdanie z pomiarów wibrodiagnostycznych i badań konstrukcji wsporczej metodą analizy modalnej turbozespołu AEG TG-A w elektrowni Pomorzany, ALSTOM Power Sp. z o.o., Elbląg-Kraków, 2003.
- [9] Uhl T.: Komputerowo wspomaganą identyfikacją modeli konstrukcji mechanicznych. Warszawa: WNT, 1997.
- [10] Walczyk Z., Kiciński J.: Dynamika turbozespołów energetycznych. Wybrane zagadnienia drgań prostych i sprzężonych.

Gdańsk: Monografie Politechniki Gdańskiej, 2001.

- [11] Walczyk Z.: Dynamika wirnikowych maszyn energetycznych. Gdańsk: Zesz. Nauk. Politechniki Gdańskiej, 482, Mechanika LXIV, 1992.
- [12] Zienkiewicz O. C.: Metoda Elementów Skończonych, Warszawa: ARKADY, 1972.



prof. dr hab. inż. Zbigniew WALCZYK – specjalność: budowa i eksploatacja maszyn, tematyka badań naukowych: dynamika turbozespołów energetycznych, teoria drgań, mechanika teoretyczna, metody komputerowe w mechanice

dr inż. Maciej KAHSIN - specjalność: modelowanie matematyczne układów mechanicznych ze szczególnym uwzględnieniem metody elementów skończonych.

dr inż. Henryk OLSZEWSKI – specjalność: modelowanie matematyczne układów mechanicznych ze szczególnym uwzględnieniem metody elementów skończonych.

mgr inż. Mirosław MIŚCICKI – specjalność: diagnostyka układów mechanicznych