

## MODELOWANIE ODPOWIEDZI ODŁĄCZNIKA WYSOKIEGO NAPIĘCIA SGF 123 PODCZAS TRZĘSIENIA ZIEMI

PAWEŁ DEMBOWSKI<sup>1,2</sup>, ROBERT JANKOWSKI<sup>2</sup>, ZBIGNIEW ZEMBATY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centrum Techniki Okrętowej S.A., Gdańsk

<sup>2</sup>Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

<sup>3</sup>Wydział Budownictwa, Politechnika Opolska

e-mail: Pawel.Dembowski@cto.gda.pl, jankowr@pg.gda.pl, z.zembaty@po.opole.pl

**Streszczenie.** Sprawność elementów sieci energetycznej, w tym odłączników wysokiego napięcia, jest istotnym elementem zapewnienia bezpieczeństwa na terenie dotkniętym trzęsieniem ziemi. W niniejszym artykule analizie sejsmicznej poddano model odłącznika dwukolumnowego obrotowego SGF 123 produkowanego w Polsce. W pierwszym etapie wykonano analizę modalną celem weryfikacji modelu numerycznego. Następnie przeprowadzono szczegółową analizę dynamiczną dla rzeczywistego zapisu trzęsienia ziemi. Wyniki badań wskazały krytyczne miejsca konstrukcji i potwierdziły, iż niewielkie korekty w jej budowie mogą zapewnić bezpieczną pracę odłącznika nawet podczas największych wstrząsów sejsmicznych.

### 1. WSTĘP

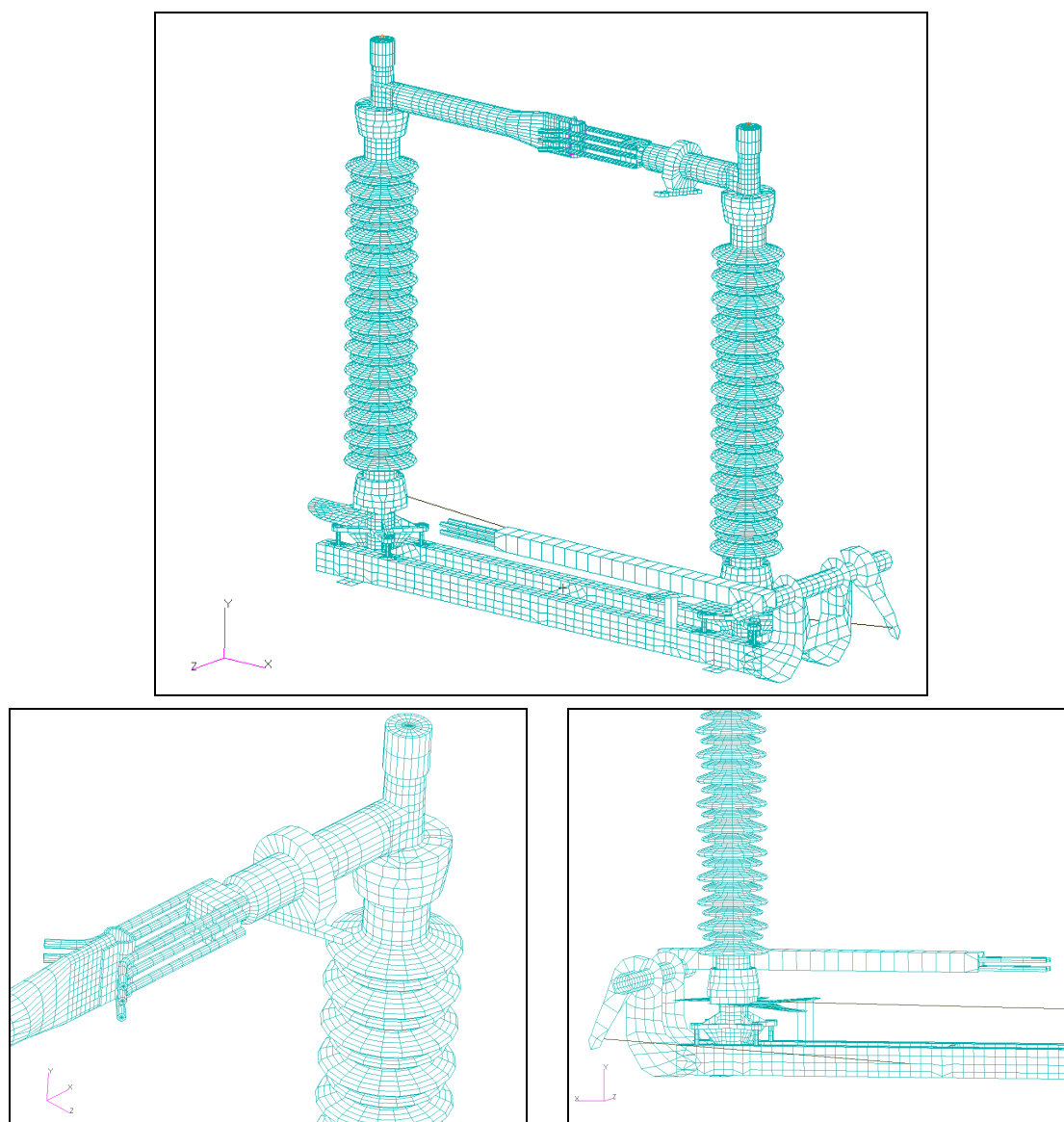
Sprawność elementów sieci energetycznej po wstrząsach sejsmicznych jest istotnym elementem zapewnienia bezpieczeństwa na terenie dotkniętym trzęsieniem ziemi. Brak elektryczności poważnie utrudnia prowadzenie akcji ratunkowej, potęguje chaos, wzmaga panikę. Tymczasem w przeszłości wielokrotnie obserwowano uszkodzenia elementów infrastruktury energetycznej na skutek wstrząsów sejsmicznych. Dla przykładu, po trzęsieniu ziemi Northridge (17.01.1994) 2,5 miliona mieszkańców Los Angeles i okolic pozbawionych była elektryczności [1]. Również w naszym kraju podczas stosunkowo słabego trzęsienia ziemi na Podhalu (30.11.2004) nastąpiło uszkodzenie linii energetycznej, co spowodowało przerwę w dostawie prądu do wielu miejscowości regionu [2]. Ważnymi elementami systemu energetycznego są tzw. odłączniki wysokiego napięcia służące do oddzielania obwodów w stanie otwarcia (np. podczas remontów) i tworzące bezpieczną przerwę izolacyjną. Ich specyficzna budowa powoduje szczególną podatność na wymuszenia dynamiczne. Dlatego też odłączniki muszą przechodzić rygorystyczne i kosztowne testy sejsmiczne [3-5] przeprowadzane m. in. na tzw. stołach sejsmicznych [6]. W Polsce produkuje się odłączniki, które eksportowane są do krajów stawiających wobec nich znaczne wymagania sejsmiczne (na podstawie odpowiednich stref sejsmicznych określonych w budowlanych normach sejsmicznych tych krajów).

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analizy numerycznej zachowania się dwukolumnowego odłącznika wysokiego napięcia w stanie zamkniętym i otwartym

poddanego obciążeniom sejsmicznym. Dokładnej analizie poddano model produkowanego przez firmę HAPAM Poland odłącznika SGF 123. W pierwszej części wykonano analizę modalną w celu weryfikacji dokładności stworzonego modelu numerycznego. Następnie przeprowadzono szczegółową analizę dynamiczną dla rzeczywistego zapisu trzęsienia ziemi.

## 2. MODEL NUMERYCZNY

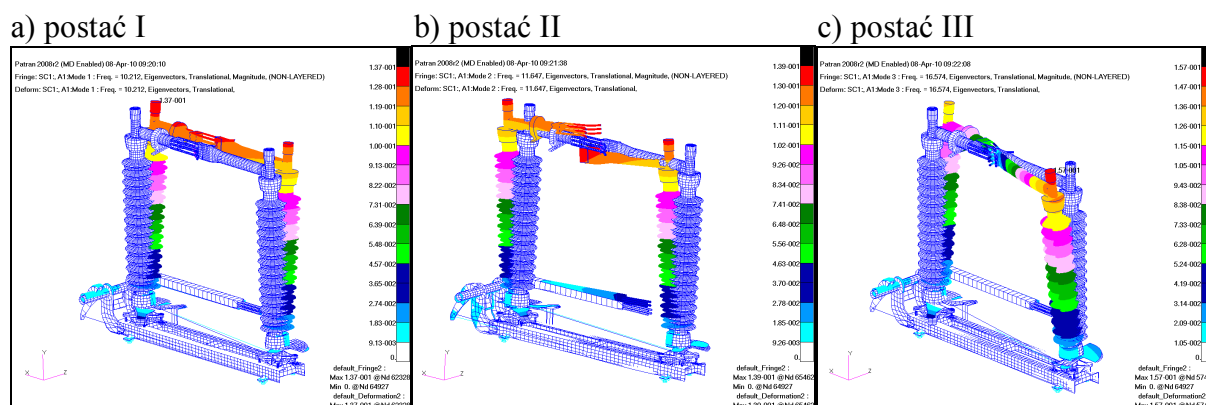
Model numeryczny odłącznika wysokiego napięcia SGF 123 zaimplementowano w programie MSC Patran, budując go z 44716 elementów bryłowych typu HEX i WEDGE oraz powierzchniowych typu QUAD i TRA. Własności materiałowe przyjęto zgodnie z danymi podanymi przez producenta. Model MES odłącznika w stanie zamkniętym przedstawiono na rys. 1. W modelu tym uwzględniono również możliwość wystąpienia poślizgu w miejscach styku ramion odłącznika poprzez zastosowanie elementów kontaktowych GAP.



Rys. 1. Model MES odłącznika SGF 123 w stanie zamkniętym

### 3. ANALIZA MODALNA

W pierwszym etapie badań wykonano analizę modalną w celu weryfikacji dokładności stworzonego modelu numerycznego. Wyniki tej analizy, pokazujące podstawowe postaci drgań własnych konstrukcji w stanie zamkniętym, przedstawiono na rys. 2, zaś wartości naturalnych częstotliwości dla tychże postaci zestawiono w tabeli 1. W tabeli tej przedstawiono też dla porównania wartości naturalnych częstotliwości otrzymane z badań eksperymentalnych [4]. Wartości naturalnych częstotliwości drgań własnych analizowanego odłącznika w stanie zamkniętym oraz otwartym okazały się być zbliżone z wynikami testów eksperymentalnych.



Rys. 2. Podstawowe postaci drgań własnych odłącznika w stanie zamkniętym I- poprzeczne jednokierunkowe, II- wzdłużne, III- poprzeczne o kierunkach przeciwsobnych

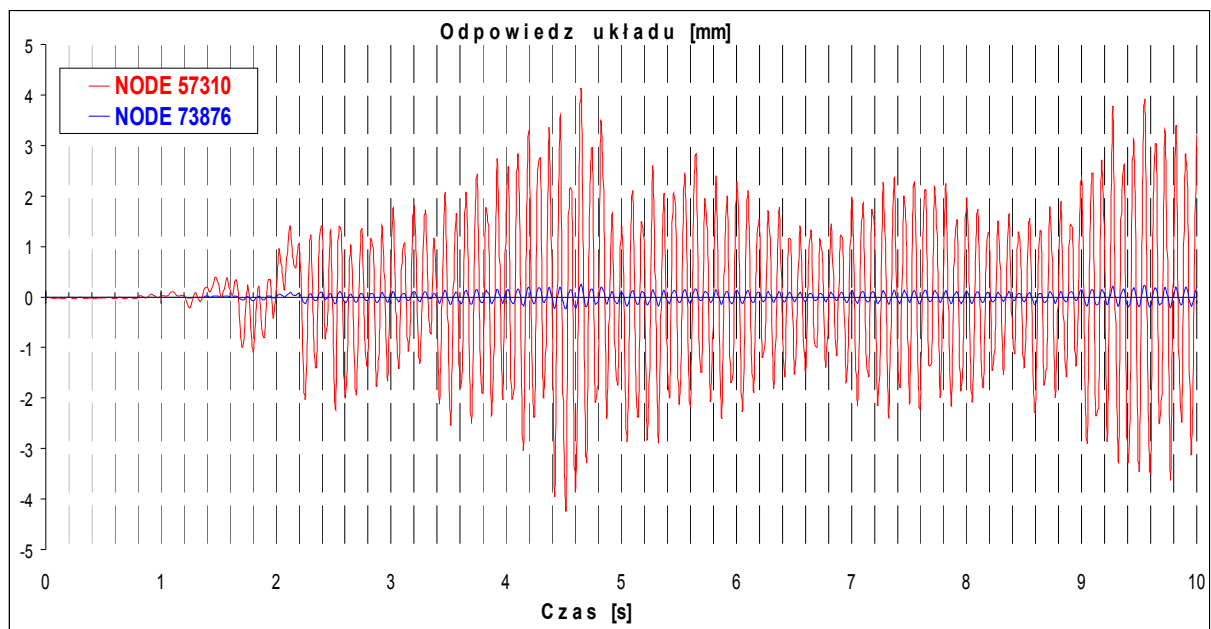
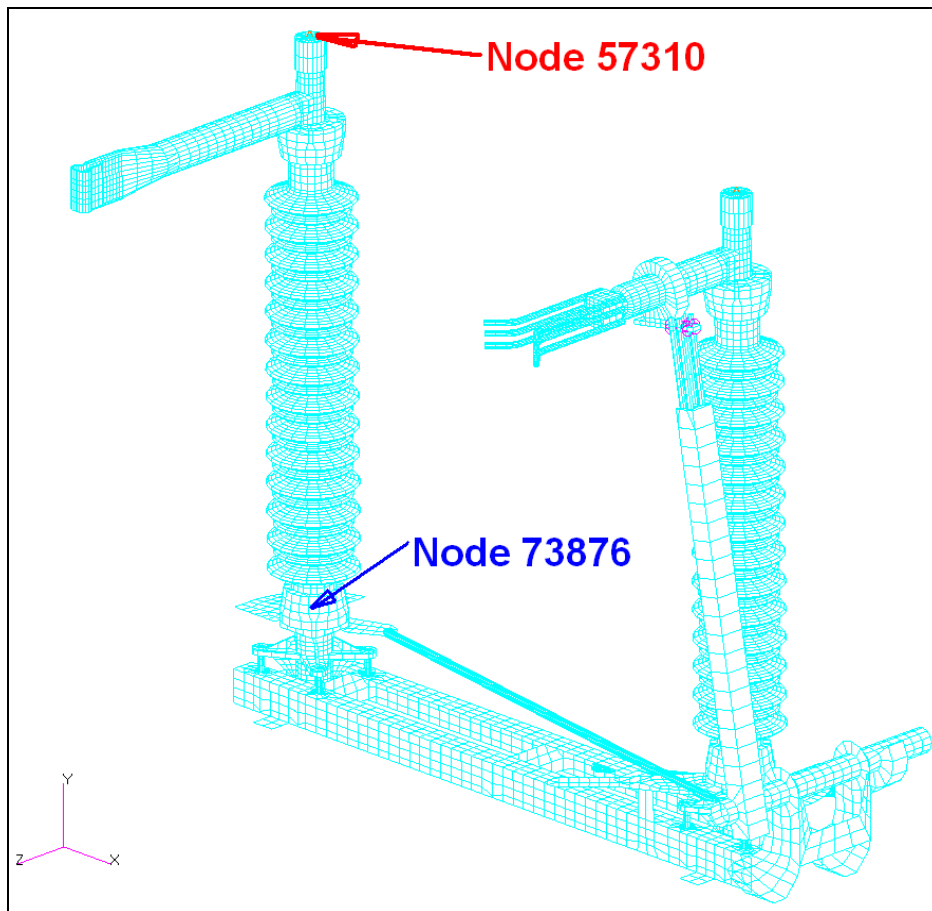
Tabela 1. Częstotliwości drgań własnych odłącznika w stanie zamkniętym

|             | Częstotliwości drgań własnych [Hz] |      |      |
|-------------|------------------------------------|------|------|
|             | I                                  | II   | III  |
| Model MES   | 9,83                               | 12,8 | 15,6 |
| Eksperyment | 10,3                               | 11,5 | 16,8 |

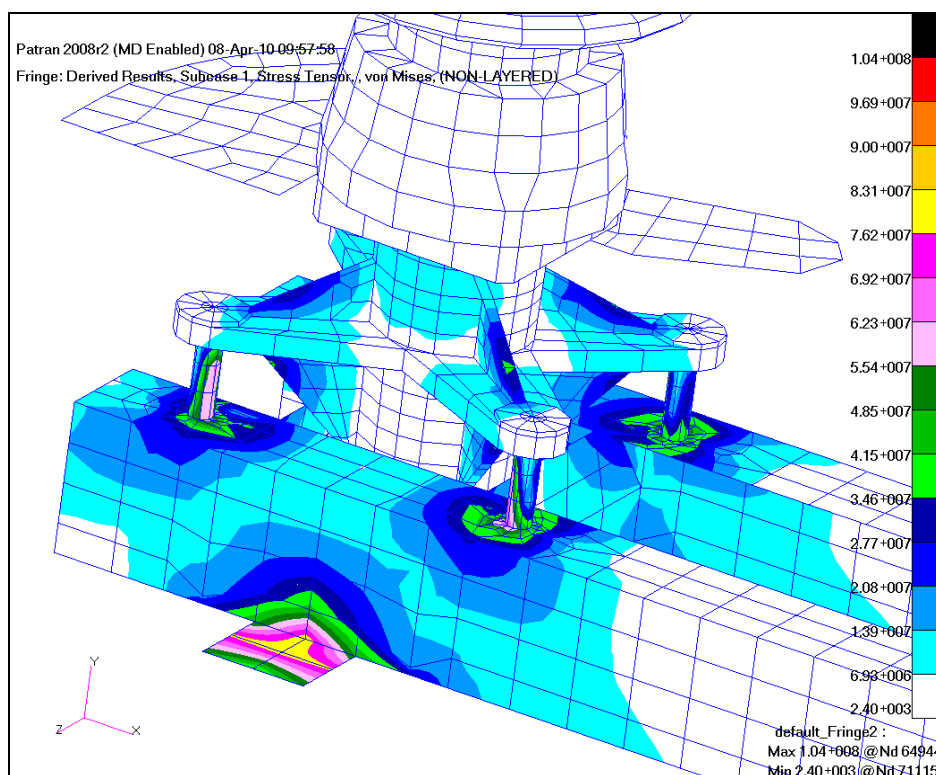
### 4. ANALIZA DYNAMICZNA

Po weryfikacji dokładności modelu numerycznego przeprowadzono szczegółową analizę dynamiczną zachowania się odłącznika (w stanie zamkniętym i otwartym) poddanego wymuszeniu sejsmicznemu. W analizie wykorzystano zapis przyspieszeń składowej NS trzęsienia ziemi El Centro (18.05.1940), którym obciążono odłącznik w kierunku poprzecznym. Przykładowe wyniki analizy (dla odłącznika w stanie otwartym) w postaci przebiegów czasowych przemieszczeń wybranych węzłów oraz map naprężeń przedstawiono odpowiednio na rys. 3 i rys. 4.





Rys. 3. Przebiegi czasowe przemieszczeń odłącznika w stanie otwartym podczas trzęsienia ziemi El Centro



Rys. 4. Mapa rozkładu maksymalnych naprężeń w dolnej części odłącznika w stanie otwartym dla trzęsienia ziemi El Centro

## 5. WNIOSKI

Uzyskane z analizy dynamicznej wyniki (zob. rys. 3) pokazują znaczne różnice pomiędzy przemieszczeniami szczytu a częścią dolną porcelanowej kolumny odłącznika (ekstremalna wartość relatywnych przemieszczeń wyniosła 4,5 mm). Wyniki analizy pokazują również, iż miejscami krytycznymi odłącznika dwukolumnowego SGF 123 są konstrukcja ramy podstawy oraz połączenia pomiędzy ramą a kolumnami. W częściach tych zaobserwowano największe wartości naprężeń (rys. 4), choć dla analizowanego zapisu trzęsienia ziemi El Centro w żadnym punkcie nie doszło do przekroczenia granicy plastyczności. Stwierdzono również, iż odpowiednio dobrana siła docisku ramion odłącznika w stanie zamkniętym uniemożliwia ich wzajemny przesuw w miejscu styku. Wyniki badań wskazują, że właściwe zaprojektowanie dwukolumnowego odłącznika wysokiego napięcia może spowodować, że uszkodzenia konstrukcji nie wystąpią, mimo działania nawet najbardziej destrukcyjnych wstrząsów sejsmicznych.

Analizy numeryczne zachowania się odłączników wysokiego napięcia podczas trzęsień ziemi pozwalają na ograniczenie pracochłonnych i kosztownych testów sejsmicznych, umożliwiając zastosowanie MES do modelowania (w zakresie liniowym i nieliniowym) złożonego zagadnienia fizycznego.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2010 jako projekt badawczy MNiSW nr N N513 361137.

## LITERATURA

1. Hall F.Z. (ed.): Northridge earthquake of 17 January 1994: reconnaissance report. *Earthquake Spectra*, 11, 1995, suppl. C.
2. Zembaty Z., Jankowski R., Cholewicki A., Szulc J.: Trzęsienie ziemi 30 listopada 2004 r. na Podhalu oraz jego wpływ na obiekty budowlane. „Inżynieria i budownictwo” 2005, LXI, s. 507-511.
3. Zembaty Z., Kowalski M., Hornung P.: Sejsmiczna kwalifikacja odłączników wysokiego napięcia.” *Przegląd Elektrotechniczny*” 2001, LXXVII, s. 113-118.
4. Michniewicz H., Dembowski P.: Badania impulsowe z analizą modalną konstrukcji odłącznika SGF 123p100+1E\_FS. Raport badania RK-2009/B-159. Gdańsk: Centrum Techniki Okrętowej, 2009.
5. De Silva C.W.: Seismic qualification of electrical equipment using a uniaxial test. „*Earthquake Engineering and Structural Dynamics*” 1980, 8, p. 337-348.
6. Jankowski R.: Experimental study on earthquake-induced pounding between structural elements made of different building materials. „*Earthquake Engineering and Structural Dynamics*” 2010, 39, p. 343-353.

## MODELLING OF THE RESPONSE OF HIGH VOLTAGE DISCONNECTOR SGF 123 DURING EARTHQUAKE

Summary. The efficiency of the energetic network is a very important safety issue in the region experienced by the earthquake. The lack of electricity makes difficulties in rescue operation, intensifies chaos and panic among the citizens. High voltage disconnectors are important elements of the energetic infrastructure used to separate electric circuits (i.e. during repairs), which should remain fully operational during and after the ground motion. The aim of the paper is to show the results of the numerical investigation concerning the response of the high voltage disconnector during earthquake. The analysis is focused on the two-column rotational disconnector SGF 123 which is produced in Poland and exported to seismic countries. The numerical model of the structure has been implemented in the MSC Patran software using 44716 HEX and WEDGE brick elements as well as QUAD and TRA shell element. The material properties have been introduced according to the data specified by the producer. The possibility of movement between the arms of the disconnector in the contact places has also been considered in the model using contact elements. First, the modal analysis has been conducted so as to verify the accuracy of the numerical model created. Then, the detailed nonlinear dynamic analysis has been carried out under the El Centro earthquake excitation. The results of the study show that the base frame as well as the connections between the columns and the base frame are the most critical locations of the disconnector analysed. In these locations, the highest levels of stress have been observed as the effect of earthquake excitation, although yield strength has not been exceeded in any place. It has also been observed that the appropriate value of the clamping force prevents from relative movements between arms of the structure. The results indicate, therefore, that the appropriate seismic-resistant design of the high voltage disconnector allows us to ensure its safe operation even during the strongest earthquakes.

