

Symulacje zjawisk sejsmicznych w przekładnikach WN

Streszczenie. Przedstawiona w artykule problematyka odnosi się do bezpieczeństwa systemów elektroenergetycznych w regionach narażonych na trzęsienia ziemi. W szczególności opisany jest tu przykład wytrzymałości sejsmicznej przekładnika wysokiego napięcia. W artykule przedstawione zostały obecne standardy i testy sejsmiczne. Praca omawia także różne metody analizy sejsmicznej polegające na oszacowaniu wpływu określonego obciążenia sejsmicznego lub parasejsmicznego na obiekt lub jego część. Głównie wyróżnia się tutaj analizę statyczną, quasi-dynamiczną oraz dynamiczną. W poniższej pracy pokazano zastosowanie metody dynamicznej z wykorzystaniem podejścia opartego o Metodę Elementów Skończonych (MES) dla przepustu transformatorowego typu RIP 230 kV wraz z weryfikacją eksperymentalną wyników symulacji. Jako drugi przykład przedstawiono analizę numeryczną dla kombinowanego przekładnika prądowo-napięciowego typu PVA 145 kV. W ostatnim rozdziale artykułu odniesiono się do zaawansowanych technik analiz numerycznych dla obiektów wypełnionych cieczą.

Abstract. The issue presented in the article relates to the safety of power systems in regions prone to earthquakes. Current standards, seismic tests as well as various methods of seismic analysis are described. Application of Finite Element Method (FEM) for dynamic analysis and its experimental verification was performed for transformer bushing RIP 230 kV. Next, numerical approach was used for analysis of seismic strength of a combined PVA 145 kV current/voltage transformer under different excitations. The last chapter of this article deals with advanced numerical analysis techniques for liquid filled objects. (Seismic analyses of combined transformers)

Słowa kluczowe: przekładnik WN, Metoda Elementów Skończonych (MES), analiza sejsmiczna, kwalifikacje sejsmiczne.

Keywords: combined transformer, Finite Element Method (FEM), Seismic analysis, seismic qualifications.

Wprowadzenie

Wymuszenia sejsmiczne, z jakimi spotykamy się głównie podczas trzęsienia ziemi są naturalnym zjawiskiem powstałym w skorupie Ziemi na skutek gwałtownego uwolnienia naprężeń będących wynikiem zablokowania ruchu warstw skalnych. Nośnikiem uwolnionej energii są fale sejsmiczne, generujące vibracje słabnące podczas propagacji. Aktywności sejsmiczne, pomimo częstego występowania, ciągle są trudne do przewidzenia w godny zaufania sposób. Jednym z powodów jest trudność monitorowania stanu naprężeń w skorupie ziemskiej.

Niezawodność i bezpieczeństwo systemów elektroenergetycznych w regionach narażonych na trzęsienia ziemi jest zależne od wytrzymałości sejsmicznej poszczególnych komponentów. Niszczące trzęsienia ziemi mają bezpośredni i pośredni wpływ na straty w przemyśle elektroenergetycznym. Dlatego, zasadne jest aby wszystkie urządzenia sieci elektroenergetycznych funkcjonujących na terenach aktywnych sejsmicznie były zaprojektowane i przetestowane pod kątem wytrzymałości dynamicznej.

Projektowanie i testy produktów odpornych na wymuszenia sejsmiczne nie są łatwym zadaniem. Jakkolwiek, wiele lat doświadczenia ABB w tym obszarze pozwoliło zrozumieć ich naturę i skutecznie analizować tego typu zagadnienia starając się jednocześnie rozwijać nowatorskie podejścia w zakresie tego zagadnienia.

Standardy sejsmiczne

Znane sposoby badania wytrzymałości sejsmicznej urządzeń elektroenergetycznych dużych mocy, np. transformatorów mocy czy przekładników wysokonapięciowych zawarte są w normach kwalifikacji sejsmicznych [1], [2], [3]. Najpopularniejsze dwie grupy norm powszechnie stosowane na świecie to: standard IEEE 693 dla kontynentów amerykańskich oraz IEC dla Europy.

IEEE Std 693-2005 "Recommended Practice for Seismic Design of Substations" [1] jest nowo opracowanym standardem kwalifikacji urządzeń elektroenergetycznych dla trzech różnych poziomów:

- niski (ang. Low) dla max. przyspieszenia ziemskiego oddziałującego na badany obiekt mniejszego od 0,1g;
- średni (ang. Moderate) dla max. przyspieszenia ziemskiego oddziałującego na badany obiekt większego od 0,1g ale mniejszego lub równego 0,5g;

- wysoki (ang. High) dla max. przyspieszenia ziemskiego oddziałującego na badany obiekt większego od 0,5g.

Odpowiednikiem tego standardu w Europie jest dokument IEC 62271-2 "High voltage switchgear and controlgear. Seismic qualification for rated voltages of 72.5 kV and above" [2] oraz IEC 62271-100 "High-voltage switch-gear and controlgear. Alternating current circuit-breakers" [3].

W zakresie badania charakterystyki dynamicznej urządzeń mocy standardy wskazują na przeprowadzanie testów sejsmicznych w certyfikowanych laboratoriach wyposażonych w stoły wibracyjne. Jednak ze względu na duże gabaryty oraz masę tych urządzeń przeprowadzenie takich testów jest praktycznie niewykonalne. Jako alternatywę proponuje się testy poszczególnych komponentów danego urządzenia lub analizę dynamiczną, a w ostateczności analizę statyczną.

Dla projektowania konstrukcji ważnym elementem jest odpowiednie określenie poziomu intensywności wstrząsów sejsmicznych, oczekiwanych w miejscu, gdzie ma znajdować się obiekt. W literaturze można spotkać różne miary intensywności oddziaływań sejsmicznych. Najczęściej jest to wartość maksymalna przyspieszenia ruchu gruntu czy wartość maksymalna prędkości. Często wykorzystuje się także opisową skalę np. skalę Mercallego czy skalę Richtera.

Metody analizy sejsmicznej

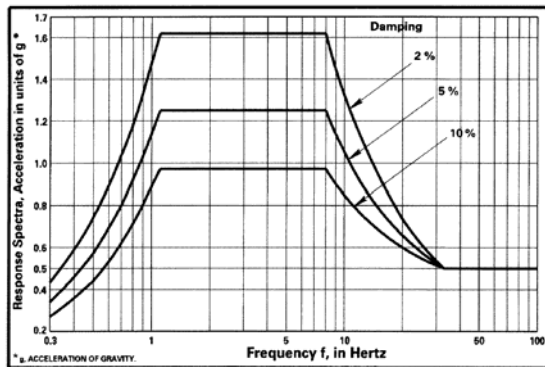
Analiza sejsmiczna różnego rodzaju obiektów elektroenergetycznych polega m.in. na oszacowaniu wpływu określonego obciążenia sejsmicznego lub parasejsmicznego na obiekt lub jego część. Metody analizy sejsmicznej można podzielić na następujące rodzaje:

- metody bazujące na podejściu statycznym,
- metody bazujące na podejściu quasi-dynamicznym,
- metody bazujące na podejściu dynamicznym.

Podejście statyczne oparte jest na zastosowaniu do wyznaczania wartości obciążeń odpowiednich współczynników oraz zdefiniowaniu układu sił oddziałujących na model obiektu celem odzwierciedlenia efektów trzęsienia ziemi. Jest to próba zastąpienia złożonego zagadnienia dynamicznego poprzez równoważny układ sił i wykorzystanie równań statyki. Z racji wielu uproszczeń wykorzystywanych w tej metodzie, które mają znaczny wpływ na końcowe

wyniki analizy, to podejście jest coraz mniej wykorzystywane w badaniach naukowych.

Do analiz quasi-dynamicznych możemy zaliczyć metodę bazującą na wykorzystaniu spektrum odpowiedzi (ang. Response Spectrum Analysis). W tej metodzie szacuje się maksymalne wartości sił bezwładności na podstawie wartości częstotliwości i postaci drgań własnych układu. Wpływ zjawisk dynamicznych na obciążenia w tym podejściu uwzględniany jest poprzez przyjęcie znormalizowanego spektrum odpowiedzi, które może uwzględniać tłumienie konstrukcji i rodzaj podłoża oraz intensywność sejsmiczną obszaru, na którym jest zlokalizowany obiekt.



Rys. 1. Wymagane spektrum odpowiedzi dla średniego poziomu wg normy IEEE 693

Do w pełni dynamicznego podejścia w analizie sejsmicznej można zaliczyć metodę, w której wykorzystywane jest wymuszenie sinusoidalne (ang. Sine Beat Test) oraz metodę analizy czasowej (ang. Time History Test). Obie metody umożliwiają opis zmian analizowanych wartości odpowiedzi dynamicznej w czasie. Oddziaływania sejsmiczne są zdefiniowane poprzez zadane wartości chwilowe przyspieszenia lub przemieszczenia podłoża albo fundamentu obiektu.

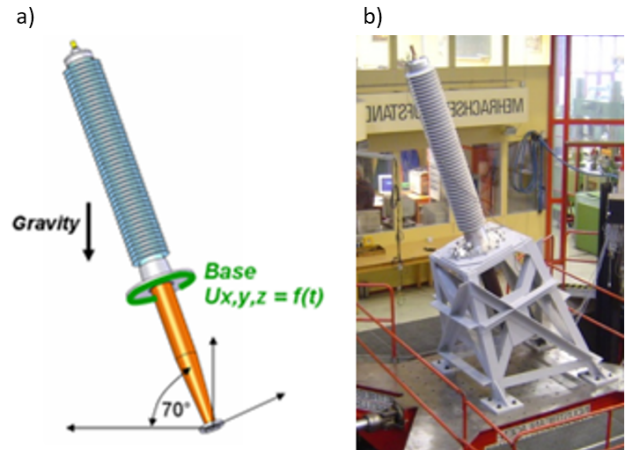
Przykład analizy dynamicznej i weryfikacja eksperymentalna wyników

Najczęściej używanymi metodami w analizie sejsmicznej są metody bazujące na podejściu quasi-dynamicznym (Response Spectrum Analysis) oraz na podejściu dynamicznym (Sine Beat Test lub Time History Test). W obu przypadkach najczęściej wykorzystuje się Metodę Elementów Skończonych MES (ang. Finite Element Method FEM). Przykład pokazujący użycie tej metody w analizie dynamicznej dla kombinowanego przekładnika prądowo-napięciowego PVA 145 kV pokazany jest poniżej. W tym rozdziale pokazana jest weryfikacja uzyskanych wyników dla przepustu transformatorowego RIP 230 kV przy użyciu tej metody. Model przepustu wraz z obciążeniami pokazany jest na rys. 2a. Stanowisko na którym przeprowadzone zostały testy kwalifikacji sejsmicznej przepustu przedstawia Rys. 2b.

W prezentowanym podejściu oszacowanie wytrzymałości badanego obiektu pod obciążeniem sejsmicznym jest oparte o analizę liniową w zdefiniowanym zakresie częstotliwości. Efekty nieliniowe takie jak kontakt tarcowy między komponentami czy nieliniowa charakterystyka materiału (krzywa naprężenia) nie są uwzględnione. Wyniki otrzymane na drodze numerycznej oraz z testów kwalifikacji sejsmicznej następnie porównano ze sobą. Częstotliwości własne zmierzone i wyliczone dla przepustu w zakresie do 33 Hz przedstawiono w Tabeli 1.

Porównanie jednoznacznie wskazuje, że stosując metodę opartą o MES można przewidzieć względne

częstotliwości drgań rezonansowych, przyspieszenia i przemieszczenia z dobrą dokładnością [4].



Rys. 2. Warunki brzegowe, a) oraz przepust podczas testu kwalifikacji sejsmicznej, b)

Tabela 1. Częstotliwości własne zmierzone i wyliczone dla przepustu w zakresie do 33 Hz

Częstotliwość, [Hz]			
Lp.	Symulacja	Pomiar	Różnica
1	12,93	12,4	4%
2	12,94	12,5	4%
3	19,82	19,5	2%
4	19,82	20,1	1%

Symulacja sejsmiczna przekładnika PVA 145 kV

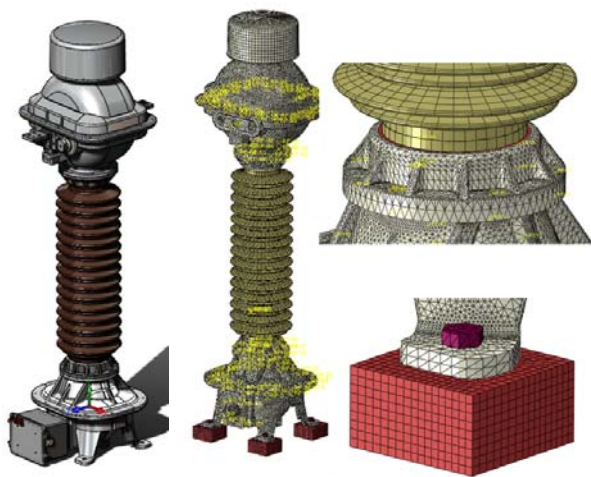
Głównym celem zaprezentowanej poniżej analizy sejsmicznej kombinowanego przekładnika prądowo-napięciowego PVA 145 kV było oszacowanie wytrzymałości konstrukcji pod wpływem różnych obciążeń sejsmicznych. Obliczenia sejsmiczne dotyczyły oceny rozkładu pola naprężeń i odkształceń. W niniejszym akapicie przedstawiono używaną technikę symulacji, analizy, działania obciążeń i warunków brzegowych oraz uzyskane wyniki [5]. Analiza nie obejmuje warunków atmosferycznych, starzenia się i procesu produkcyjnego który może mieć wpływ na wytrzymałość mechaniczną produktu

Model geometryczny przekładnika oraz siatka elementów skończonych

Ze względu na skrócenie czasu obliczeń oraz wymagania sprzętowe pewne obszary modelu zostały uproszczone:

- małe zaokrąglenia, sfazowana i małe otwory mające mały wpływ na wyniki symulacji zostały usunięte;
- drutowa izolacja została zastąpiona przez modele bryłowe z uśrednioną masą i sztywnością;
- śruby zostały zastąpione przez sztywne lub podatne elementy jednowymiarowe typu „beam”;
- małe objętościowo elementy zewnętrzne zostały zastąpione punktami masowymi.
- śruby mocujące zostały zamodelowane z większą szczegółowością z uwagi na spodziewaną tam koncentrację naprężeń.

Model geometryczny 3D przekładnika jest przedstawiony na Rys 3. Obiekt ten został podzielony na skończoną liczbę elementów oraz węzłów tworząc siatkę elementów skończonych przedstawioną na Rys. 3. Z uwagi na zwartość konstrukcji przekładnika, olej znajdujący się wewnątrz obiektu został zamodelowany jako równomiernie rozłożona masa (pomijalnie mały efekt przelewania się płynu).



Rys.3. Model 3D przekładnika PVA 145 kV i siatka elementów skończonych

Założenia analizy sejsmicznej – procedura symulacji

Przedstawiona analiza sejsmiczna przekładnika składa się z czterech głównych kroków. W pierwszym, zaburzone zostały wartości początkowe poprzez obciążenia statyczne np. takie jak grawitacja.

W drugim kroku została przeprowadzona analiza modalna. Analiza ta wykonywana jest w celu wyznaczenia częstotliwości rezonansowych badanego układu oraz postaci drgań dla tych częstotliwości. Analiza modalna dotyczy zagadnień liniowych a zagadnienie wartości własnych dla częstotliwości nietłumionego modelu można przedstawić wykorzystując zależność:

$$(1) \quad (-\omega^2 M + K) \phi = 0$$

gdzie: M - jest macierzą bezwładności, K - macierzą sztywności, ϕ - wektor własny, ω - częstość kołowa

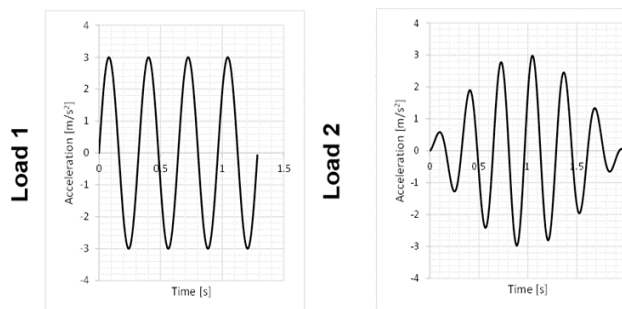
Krok trzeci to analiza dynamiczna zwykle wykonana dla pierwszych częstotliwości własnych wyliczonych wcześniej. Na tym etapie analizowany przekładnik poddany był różnym obciążeniom opisanym w następnych rozdziałach. Funkcje wymuszenia były zadane dla zdefiniowanego poziomu odniesienia zwykle w miejscu gdzie obiekt jest przytwierdzony do podłoża. Wymuszenie jest przykładane w trzech kierunkach równocześnie ale z różną wartością. W przypadku przekładnika wartość wymuszenia w kierunkach

poziomych równa była 0,3g natomiast w kierunku pionowym 0,24g. Częstotliwość kołowa jest wyliczana z poniższej zależności:

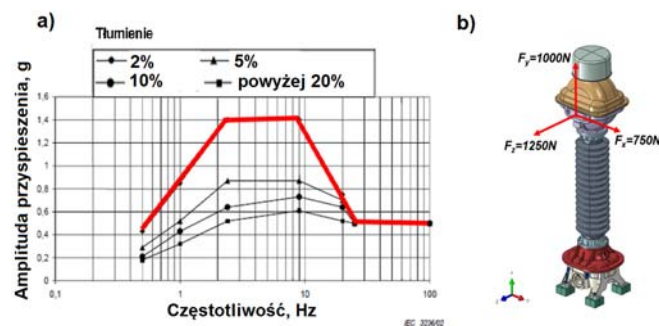
$$(2) \quad \omega = 2\pi f$$

gdzie: ω – prędkość kołowa (1/s); f – częstotliwość własna badanego układu (Hz).

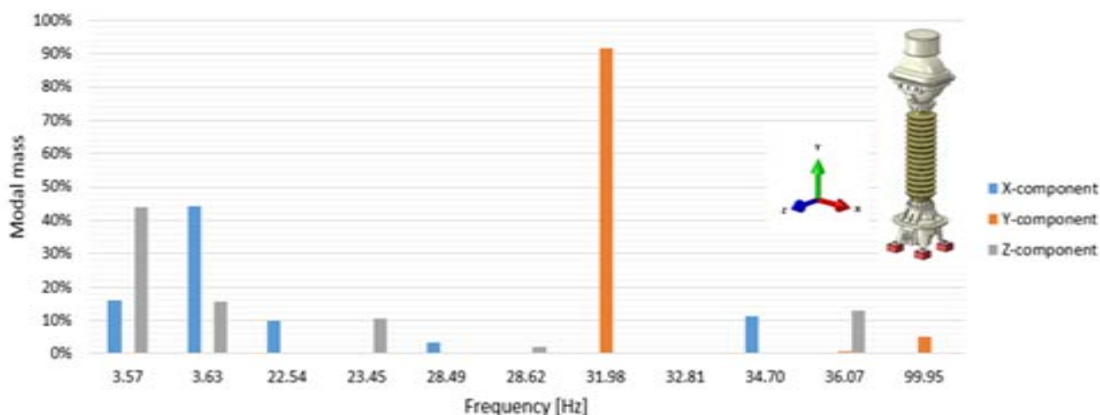
W ostatnim kroku badany obiekt nie był obciążony co skutkuje swobodnym tłumieniem układu. Rekomendowane przez standardy jest wyznaczenie współczynnika tłumienia w sposób eksperymentalny np. przy użyciu młotka modalnego oraz systemu do analizy odpowiedzi układu. W przypadku braku takiej możliwości rekomendowana wartość współczynnika tłumienia przez IEEE 693 to 2% i taka wartość była użyta w symulacjach przekładnika.



Rys.4. Wymuszenia sinusoidalne



Rys.5. Wymagane spektrum odpowiedzi, a) oraz obciążenie terminali, b)



Rys. 6. Procentowy udział mas modalnych

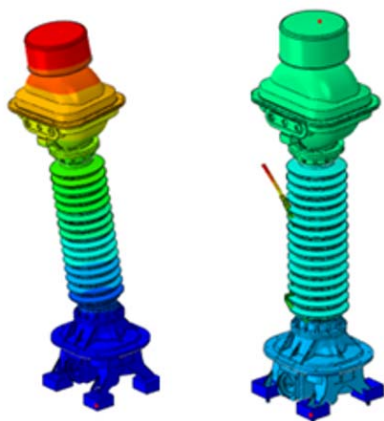
Definicje wymuszeń

Symulacje sejsmiczną przekładnika przeprowadzono dla różnych obciążeń:

- Wymuszenie sinusoidalne o stałej amplitudzie oznaczone jako Load 1 (Rys. 4);
- Wymuszenie sinusoidalne o narastającej amplitudzie oznaczone jako Load 2 (Rys. 4);
- Spektrum odpowiedzi wg Standardu IEC 62271-2 (Rys. 5a), który zawierał obciążenie terminali zdefiniowane poprzez standard IEC 62271-100 (Rys. 5b) oznaczone jako Load 3;
- Spektrum odpowiedzi wg. Standardu IEC 62271-2 (Rys. 5a), który zawierał zmodyfikowane obciążenie terminali – siła w każdym kierunku równa 1800N, oznaczone jako Load 4.

Analiza modalna

W wyniku przeprowadzonej analizy modalnej przekładnika wyznaczono m.in. podstawowe własności takie jak częstości drgań własnych oraz postaci drgań w celu zbadania własności dynamicznych opisanych wcześniej przypadków. Masę efektywną, czyli ilość masy aktywnej dla każdej postaci drgań i dla poszczególnych kierunków przedstawiono na Rys. 6. Postacie drgań przekładnika pokazano na Rys. 7.



Częstotliwości i postacie drgań własnych

$f=3.6 \text{ Hz}$

$f=31.98 \text{ Hz}$

Rys. 1. Postacie drgań przekładnika

Można zauważyć, że potencjalnie niebezpieczne postacie mają wartości około 3,6 Hz. Następną ma wartość to około 32 Hz.

Wymuszenie sinusoidalne oraz spektrum odpowiedzi

Ze względu na dużą liczbę różnych przypadków obciążenia, poniżej zaprezentowano tylko wyniki dla wybranych wymuszeń: sinusoidalnego (Load 1) oraz spektrum odpowiedzi (Load 4). Wyniki ograniczono do przedstawienia rozkładu naprężeń zredukowanych oraz głównych najbardziej krytycznych elementów przekładnika czyli zbiornika dolnego oraz elementu izolacyjnego [5].

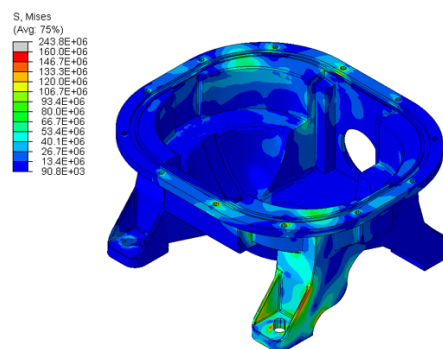
Wymuszenie sinusoidalne Load 1

Rozkład naprężeń zredukowanych dla zbiornika dolnego oraz dla pokrywki zbiornika przedstawiono na Rys. 8 oraz Rys. 9.

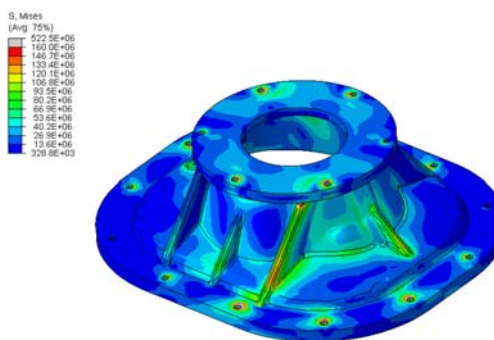
Rozkład naprężeń głównych (rozciągające i ściskające) dla elementu izolacyjnego przedstawiono na Rys. 10.

Można zaobserwować, że w niektórych obszarach zbiornika naprężenia zredukowane osiągnęły wartości powyżej dopuszczalnych, czyli powyżej 160 MPa. Biorąc pod uwagę fakt, że zbiornik wykonano z materiału, który po procesie wytwarzania może mieć pewne wady odlewnicze należy oznaczyć ten region jako potencjalnie

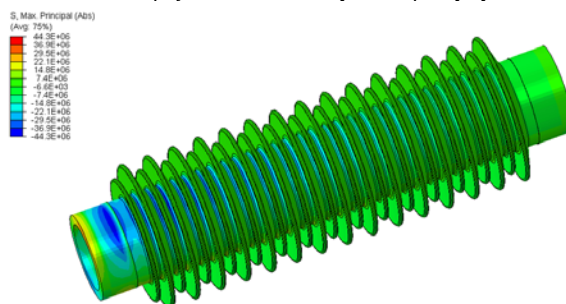
niebezpieczny. Należy jeszcze wspomnieć, że symulacje wykonano dla tłumienia modelu 2%. W przypadku wyższej wartości współczynnika tłumienia wartości naprężeń w tych obszarach będą mniejsze.



Rys. 2. Rozkład naprężeń zredukowanych dla zbiornika dolnego



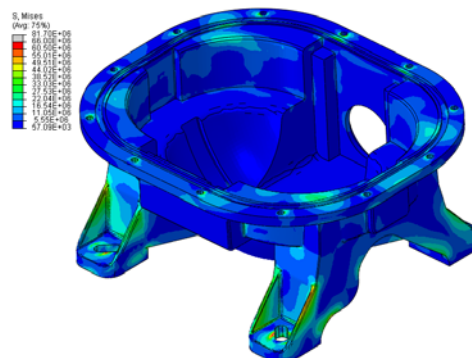
Rys. 9. Rozkład naprężeń zredukowanych dla pokrywki



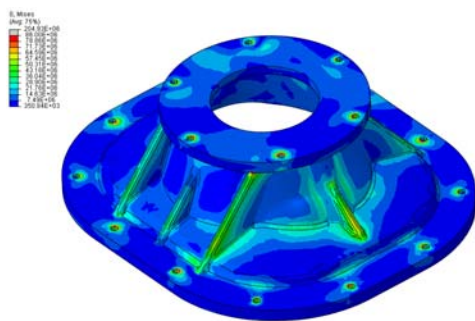
Rys. 10. Rozkład naprężeń głównych izolatora przekładnika

Spektrum odpowiedzi Load 4

Rozkład naprężeń zredukowanych dla zbiornika dolnego oraz dla pokrywki zbiornika przedstawiono na Rys. 11 i Rys. 12.



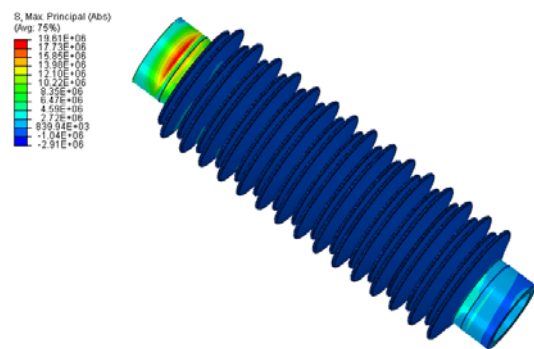
Rys. 11. Rozkład naprężeń zredukowanych dla zbiornika dolnego



Rys. 12. Rozkład naprężeń zredukowanych dla pokrywy

Rozkład naprężeń głównych (rozciągające i ściskające) dla elementu izolacyjnego przedstawiono na Rys. 13.

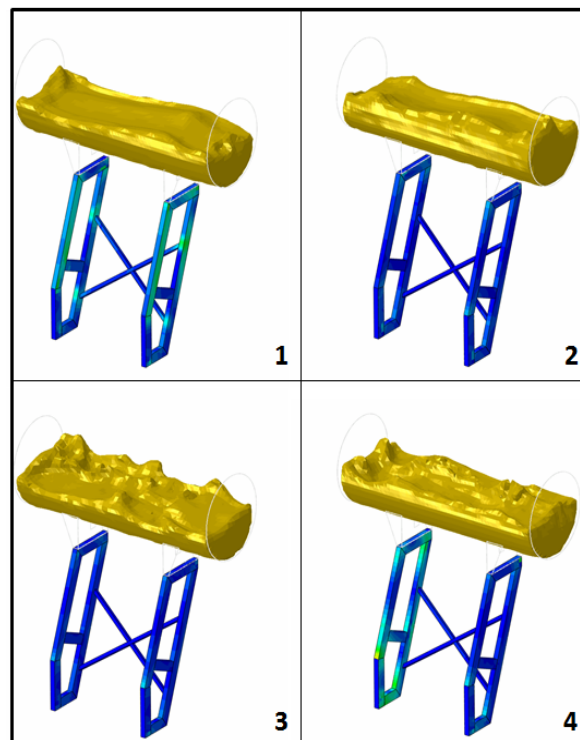
Wartości naprężeń są znacznie mniejsze w porównaniu do poprzedniego przypadku. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że dla danego obciążenia przekładnik nie powinien zostać uszkodzony. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż prezentowana metodologia obliczeń jest znacznie mniej restrykcyjna, niż obliczenia typu „sine-beat”. W pierwszym przypadku wprowadzamy strukturę w stan rezonansu, podczas gdy w przypadku analizy spektrum odpowiedzi analizujemy układ w pewnej obwiedni częstotliwości.



Rys. 13. Rozkład naprężeń głównych izolatora przekładnika

Zaawansowane analizy sejsmiczne

Wielu specjalistów twierdzi, że odpowiedź badanego układu dla takich elementów podstawy jak transformatory czy przekładniki zależy w dużej mierze od elementów łączących takich jak śruby, nity czy spoiny i aby poprawnie przeprowadzić analizę sejsmiczną należy je uwzględnić w symulacjach [6], [7]. Co więcej, urządzenia te zawierają olej, który może także, oprócz dodatkowej masy, wpłynąć na dynamiczną odpowiedź układu przy wymuszeniach sejsmicznych [8], [9]. Jednym ze sposobów zbadania wpływu oleju na charakterystykę dynamiczną badanego obiektu jest wykorzystanie nowych metod obliczeniowych. Jedną z nich jest metoda bazująca na wykorzystaniu obliczeń z zakresu dynamiki płynów (CFD) oraz obliczeń strukturalnych. Takie podejście znane jest pod nazwą Fluid Structure Interaction (FSI). Pozwala ono na analizę dynamicznego zachowania się oleju w zbiorniku (ang. sloshing) a otrzymane wyniki wykorzystuje się do wyliczenia sił działających na ścianki zbiornika i jego podstawę [10]. W rezultacie możemy otrzymać rozkład naprężeń, odkształcenia i deformacje badanej struktury z uwzględnieniem cieczy znajdującej się w niej. Przykład zachowania się oleju w zbiorniku wyrównawczym transformatora jak i rozkład naprężeń jego ramy wsporczej jest pokazany na Rys. 14.



Rys. 14. Ruch oleju podczas symulacji testu „Time history” zbiornika wyrównującego transformatora mocy

Podsumowanie

Bezpieczeństwo systemów elektroenergetycznych w regionach narażonych na trzęsienia ziemi jest zależne od wytrzymałości sejsmicznej poszczególnych urządzeń. Wszystkie istotne urządzenia sieci elektroenergetycznych funkcjonujących na terenach aktywnych sejsmicznie powinny być zaprojektowane i przetestowane pod kątem wytrzymałości sejsmicznej.

W artykule przedstawione zostały obecne standardy i testy sejsmiczne dla urządzeń elektroenergetycznych a w szczególności dla przekładników wysokiego napięcia. Przedstawiono także różne metody analizy sejsmicznej polegające na oszacowaniu wpływu określonego obciążenia sejsmicznego lub parasejsmicznego na obiekt lub jego część. Głównie wyróżnia się analizę statyczną, quasi-dynamiczną oraz dynamiczną. Przedstawiono zastosowanie metody dynamicznej z wykorzystaniem podejścia opartego o Metodę Elementów Skończonych (MES) dla przepustu transformatorowego RIP 230 kV i pokazano weryfikację eksperymentalną wyników.

Następnie przedstawiono symulacje przekładnika PVA 145 kV pokazując metodologię analizy sejsmicznej w oparciu o MES, główne kroki procedury symulacyjnej oraz przedstawiono wybrane wyniki analizy. Analiza przeprowadzona została dla różnych wymuszeń sejsmicznych. Ogólne wnioski analizy są następujące:

- Niskie częstotliwości rezonansowe badanego obiektu (około 3-4 Hz) z dużą masą efektywną;
- Największe wartości naprężenia uzyskano dla pierwszego przypadku dla zbiornika dolnego i jest on powyżej określonego limitu (160 MPa). To może prowadzić do pęknięć przy rzeczywistym teście sejsmicznym.
- W pozostałych przypadkach wartości naprężeń dla krytycznych elementów przekładnika są poniżej wymaganego limitu.

W ostatnim punkcie artykułu odniesiono się do zaawansowanych technik analiz numerycznych dla obiektów wypełnionych cieczą. W takich przypadkach można użyć technik pozwalających na bardziej

szczegółowe modelowanie cieczy i głębszą analizę jej wpływu na strukturę badanego obiektu. Niemniej jednak są to jeszcze techniki ciągle rozwijające się i wymagające weryfikacji eksperymentalnej co przy wielogabarytowych obiektach jest bardzo trudne. Należy podkreślić, że czas obliczeń w przypadku uwzględnienia płynu jest nieporównywalnie dłuższy niż w przypadku obliczeń bazujących na dynamice liniowej.

Autorzy: dr inż. Robert Płatek, ABB Sp. z o. o., Korporacyjne Centrum Badawcze, ul. Starowiślna 13 a, 31-038 Kraków, E-mail: robert.platek@pl.abb.com;

mgr inż. Grzegorz Juskiewicz, Woodward Poland Sp. z o.o., ul. Skarbowa 32, 32-005 Niepołomice, E-mail: grzegorz.juskiewicz@woodward.com;

mgr inż. Marcin Tarnowski, ABB Sp. z o. o. Fabryka Aparatury Wysokich i Średnich Napięć, ul. Leszno 59, 06-300 Przasnysz, E-mail: marcin.tarnowski@pl.abb.com;

LITERATURA

- [1] IEEE Std 693-2005, IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations, *IEEE Standard Department*, 2005.
- [2] IEC 62271-2, High voltage switchgear and controlgear. *Seismic qualification for rated voltages of 72.5 kV and above*, First edition 2003-02
- [3] IEC 62271-100, High-voltage switchgear and controlgear. *Alternating current circuit-breakers*, Edition 2.0 2008-04

- [4] J. Rocks. N. Koch. R. Płatek. T. Nowak; Seismic Response of RIP-transformer bushing, *Insulator News & Market Report (INMR) World Congress on insulators, arresters and bushings*. Brazil. 2007
- [5] G. Juskiewicz, Seismic calculations of PVA 145 current transformer, *Technical Note 9ADB008329*
- [6] A.S. Whittaker, G.L. Fenves, A.S.J. Giliani, Evaluation of seismic qualification procedures for high-voltage substation equipment, *Structures Congress 2001*, May 21-23, 2001, Washington, United States.
- [7] A. Filiatrault, H. Matt, Experimental Seismic Response of High-Voltage Transformer-Bushing Systems, *Earthquake Spectra*, vol. 21 n. 4, November 2005, pp. 1009-1025
- [8] M. Warmowska, Numerical simulation of liquid motion in a partly filled tank, *Opuscula Mathematica*, Vol. 26, No. 3, 2006, 529-540.
- [9] R. Płatek, Wpływ medium płynnego na dynamiczne zachowanie się wybranych urządzeń elektroenergetycznych dużych mocy przy wymuszeniach sejsmicznych, *rozprawa doktorska*, Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014
- [10] R. Płatek, R. Sekula, B. Lewandowski, Fluid influence on dynamic characteristics of transformer-bushing system using Fluid Structure Interaction (FSI) approach, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17 issue 2, April 2010, pp. 408-416



Lubelskie Targi Energetyczne ENERGETICS jubileuszowa edycja

Obszar bezpieczeństwa energetycznego, poprawa efektywności energetycznej oraz wykorzystanie nowoczesnych technologii w zakresie energetyki, mają obecnie kluczowe znaczenie dla zapewnienia odpowiedniego poziomu rozwoju gospodarki oraz wzrostu jakości życia. Tematy te zostaną poruszone podczas jubileuszowej, **X edycji Lubelskich Targów Energetycznych ENERGETICS (14-16 listopada 2017 r., Targi Lublin, ul. Dworcowa 11)**. Partnerem Głównym Targów jest **PGE Dystrybucja S.A.**

Targi Energetyczne ENERGETICS to jedno z najważniejszych w Polsce spotkań przedstawicieli sektora energetycznego. Ekspozycja targowa obejmie ofertę zarówno firm o charakterze **koncernów (krajowych i międzynarodowych)**, jak i **indywidualnych przedsiębiorców** m.in. z obszaru: wytwarzania, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej oraz ciepłej, elektrotechniki oraz elektroniki przemysłowej, automatyki elektroenergetycznej, a także budownictwa energetycznego, inteligentnych sieci energetycznych, energii odnawialnej, urządzeń (pojazdów) do transportu czy przemysłowych systemów IT.

Targi skupiają **zwiedzających pochodzący z Polski, Białorusi, Ukrainy, Rosji**, reprezentujących sektory: paliwowo-energetyczny, elektromaszynowy, wydobywczy, budowlany, metalurgiczny, motoryzacyjny. W tym gronie znajdują się pracownicy zakładów energetycznych, elektrowni, elektrociepłowni, działów energetycznych firm i zakładów przemysłowych, hurtowni elektrycznych, przedstawiciele biur projektowych branży elektrycznej i budowlanej, firm wykonawczych władz samorządowych, a także inżynierowie, elektrycy i instalatorzy.

Już w roku ubiegłym zakres tematyczny Targów został wzbogacony o **utrzymanie ruchu**. W ramach tej części ekspozycji wiodące firmy z branży zaprezentują rozwiązania z obszaru: automatyki, pneumatyki i hydrauliki, rozwiązania w obszarze bezpieczeństwa przemysłowego, elektryki i elektroniki.

Dopelnieniem ekspozycji będzie bogaty program wydarzeń towarzyszących przygotowany we współpracy z partnerami branżowymi.

Targom Energetycznym ENERGETICS będą towarzyszyć **Wschodnie Dni Kooperacji**. Swoją ofertę zaprezentują firmy zajmujące się obróbką metali i usługami na zlecenie zakładów produkcyjnych.

Wstęp na Targi dla przedstawicieli branży jest **bezpłatny po rejestracji** on-line lub podczas trwania wydarzenia. Formularz rejestracyjny dostępny jest na stronie internetowej: www.energetics.targi.lublin.pl.

Lubelskie Targi Energetyczne ENERGETICS

14 – 15 listopada 2017 godz. 9.00 – 17.00
16 listopada 2017 godz. 9.00 – 15.00
Targi Lublin S.A.
ul. Dworcowa 11, 20-406 Lublin,
Szczegóły: www.energetics.targi.lublin.pl