

Korzyści płynące z nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych podczas kompleksowej modernizacji transformatorów dla Elektrowni Bełchatów

Streszczenie. Na przykładzie wyprodukowanych i zmodernizowanych dla Elektrowni Bełchatów transformatorów blokowych 426MVA i 450MVA o napięciach 420/22kV, oraz transformatorów zaczepowych o mocy 50/25/25 MVA przedstawiono zastosowane rozwiązania konstrukcyjne oraz nowoczesną aparaturę kontrolno-pomiarową. Omówiono aspekty wpływające na zagwarantowanie bezawaryjnej pracy, ograniczenie strat jałowych i obciążeniowych oraz poziomu hałasu transformatorów. Przedstawiono również zastosowane rozwiązanie monitoringu zawartości gazów w oleju transformatorowym oraz monitoringu izolatorów przepustowych wysokiego napięcia.

Abstract. On the example of manufactured and modernized power transformers for Bełchatów Power Plant, 426MVA and 450MVA voltages 420/22 kV and step down transformers 50/25/25 MVA, the new design solutions, control and measurement equipment were presented. The aspects that affect failure-free operation, reducing idle losses, load losses and noise level of the transformers were discussed. The solution of dissolved gas content monitoring in transformer oil and monitoring of high-voltage bushing insulators was also presented. **Modernization of the transformers in power plant Bełchatow**

Słowa kluczowe: modernizacja, transformator blokowy, monitoring

Keywords: retrofitting, power transformer, monitoring

Wstęp

W latach 2008 do 2016 firma EthosEnergy Poland wyprodukowała lub modernizowała 16 transformatorów blokowych i odczepowych dla Elektrowni Bełchatów. Z sukcesem zaprojektowano i wyprodukowano transformatory TOBNRL 426 000/420 (1 szt.) i TOBNRL 450 000/420 (2 szt.), które są największymi transformatorami blokowymi wyprodukowanymi do tej pory przez EthosEnergy Poland S.A.

Przeprowadzono remonty i modernizacje pozostałych transformatorów blokowych o mocy 426MVA wyprodukowanych przez firmy Zaporozhtransformator i ELTA w Łodzi. Przeprowadzony zakres prac był uzależniony od stanu transformatorów i obejmował m.in. modernizację układu chłodzenia, przekładkę rdzenia, wykonanie nowych uzwojeń DN (15,75kV), wymianę izolatorów, zainstalowanie nowej aparatury kontrolno-pomiarowej.

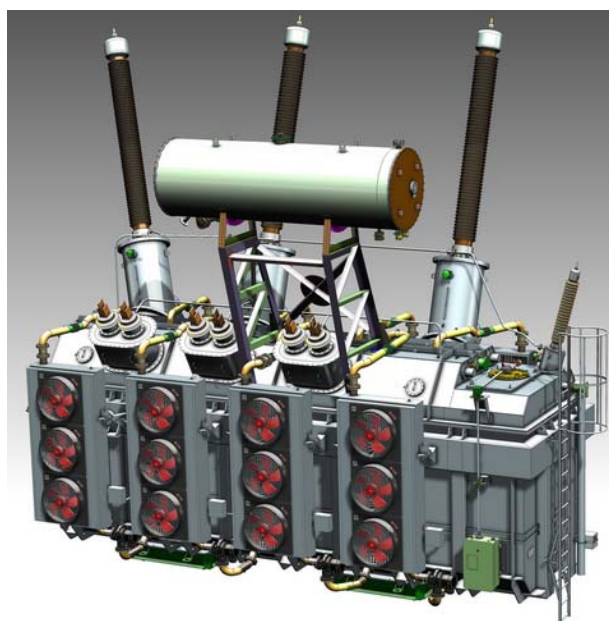
Wykonano modernizację pięciu transformatorów odczepowych TWAR3C 50000/20PN w ramach których dokonano m.in. wymiany uszczelnień i serwis podobciążeniowego przełącznika zaczepów.

Wymagania Klienta oraz duża moc transformatorów wymusiły zastosowanie najnowocześniejszych metod obliczeniowych i rozwiązań konstrukcyjnych. Zainstalowano nowoczesne rozwiązanie monitoringu zawartości gazów w oleju transformatorowym oraz izolatorów przepustowych wysokiego napięcia. Najciekawsze rozwiązania konstrukcyjne oraz elementy aparatury przedstawiono na przykładzie najbardziej zaawansowanej konstrukcji, transformatora TOBNRLb 450 000/420.

Konstrukcja transformatora blokowego 450 MVA

Transformatory blokowe zlokalizowane najbliżej urządzeń wytwarzających energię elektrycznej należą do najważniejszych elementów systemu elektroenergetycznego. Tradycyjnie zaliczane są do nich jednostki nie wyposażone w podobciążeniowy przełącznik zaczepów. Tendencja ta szczególnie widoczna jest w transformatorach blokowych najwyższych mocy. Obecne wymagania krajowego operatora systemu przesyłowego wymusiły konieczność zastosowania także w nich podobciążeniowej regulacji napięcia. W regulację taką wyposażono również opisywaną jednostkę.

Wymaganiem Klienta była również instalacja systemu monitoringu oleju oraz izolatorów przepustowych.



Rys. 1. Model 3D transformatora typu TOBNRLa 426 000/420

Rdzeń transformatora

Konieczność zastosowania podobciążeniowej regulacji napięcia oraz ograniczenie wysokości transportowej wymusiły zastosowanie rdzenia pięciokolumnowego. Został on wyprodukowany w technice step-lap. Kolumny rdzenia zostały sprasowane z użyciem bandaży szkloepoksydowych. Belki jarzmowe zoptymalizowano pod kątem wysokiej wytrzymałości na siły zwarciove i jak najlepszego sprasowania blach rdzenia. Rozwiązania te pozwoliły na znaczne obniżenie poziomu hałasu wytwarzanego przez rdzeń.

Uzwojenia

Projektując uzwojenia zwrócono uwagę na zapewnienie bardzo wysokiej wytrzymałości zwarciovej i obniżenie współczynnika strat dodatkowych przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej wytrzymałości przebieciowej.

Konstrukcja uzwojeń została zweryfikowana za pomocą specjalistycznego oprogramowania. Zastosowana metoda projektowa bazowała na wypracowanym doborze przepleceń napięciowych, proporcji wymiarowych i typów przewodów.

W uzwojeniach dolnego napięcia DN w celu minimalizacji strat obciążeniowych zastosowane zostały przewody z ciągłą transpozycją żył CTC (Continuously Transposed Conductors).



Rys.2. Przewody CTC

Zastosowanie podczas produkcji transformatora przewodów CTC z dodatkową warstwą kleju żywicznego utwardzającego się podczas procesu suszenia uzwojeń przyczyniło się do zwiększenia wytrzymałości na promieniowe i osiowe siły zwarciove.

Uzwojenia górnego napięcia GN wykonano jako uzwojenie wywrotkowe z przepleceniami wysokonapięciowymi. Rozwiązania te, typowe dla wykonawców uzwojeń wysokonapięciowych, charakteryzują się niskimi stratami, a przede wszystkim zapewniają dużą wytrzymałość dielektryczną transformatora w trakcie eksploatacji.



Rys.3. Układy izolacyjne transformatora

Uzwojenia regulacyjne skojarzone z uzwojeniami GN wykonane zostały przewodami CTC jako śrubowe. Połączone z podobciążeniowym przełącznikiem zaczeów umożliwiając regulację napięcia w zakresie $\pm 10\%$ w ± 8 stopniach regulacyjnych.

Pomiędzy rdzeniem i uzwojeniem dolnego napięcia DN zastosowano ekran elektrostatyczny, a na krańcach uzwojeń pierścienie ekwipotencjalne celem poprawy rozkładu pola elektrycznego.

W przestrzeniach izolacyjnych pomiędzy uzwojeniami zostały umieszczone twarde tuleje izolacyjne z transformerboardu. Izolację końcową, czyli kołnierze i pierścienie wykonano również z transformerboardu.

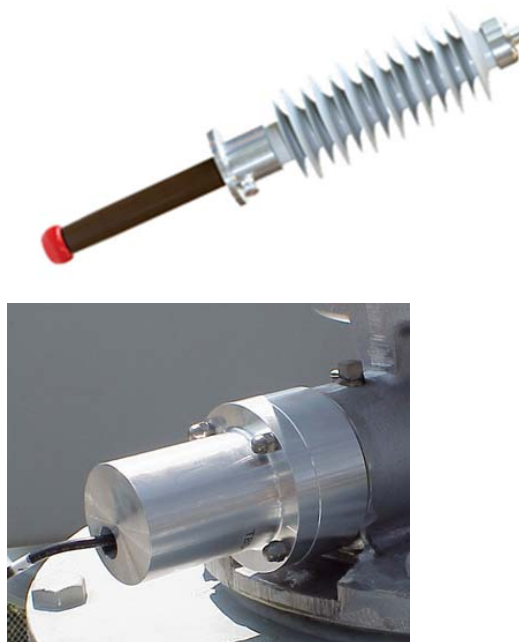
Wyprowadzenia wysokonapięciowe zostały wyprowadzone ze środka uzwojenia GN z zastosowaniem odpyłów modularnych. Przy ich projektowaniu wykorzystano metodę elementów skończonych 3D. Wykonano analizę pola elektrycznego odpływu wraz z kominkiem transformatora. Umożliwiło to zastosowanie zminimalizowanych odległości izolacyjnych przy zapewnieniu wysokiej niezawodności tego węzła transformatora.



Rys.4. Widok modularnego odpływu 420 kV

Izolatory przepustowe

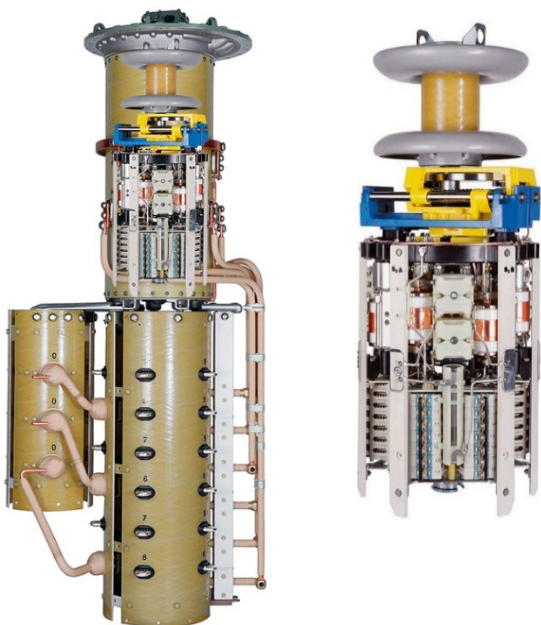
Zgodnie z wymogami Klienta które odzwierciedlają obecne tendencje w elektroenergetyce, transformator wyposażono w kompozytowe izolatory przepustowe pozbawione oleju elektroizolacyjnego o izolacji typu RIP (Resin Impregnated Paper – papier nasycony żywicą). Zapewniło to niski poziom wyładowań niezupełnych i wymaganą niezawodność. Izolatory wyposażone zostały w gniazda pomiarowe umożliwiające montaż monitoringu.



Rys.5. Izolator kompozytowy typu RIP i jego gniazdo pomiarowe

Przełącznik zacze­pów

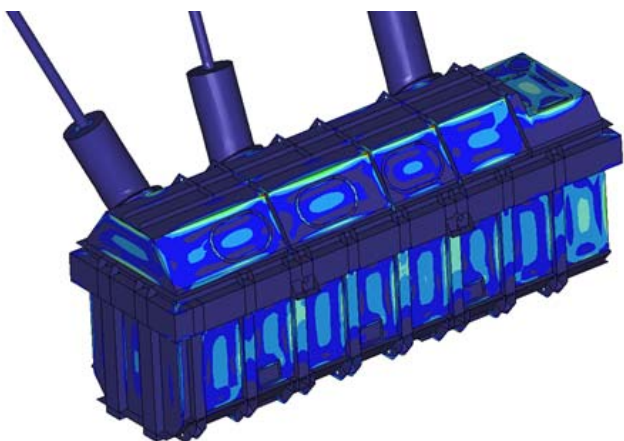
Transformator wyposażony został w podobciążeniowy przełącznik zacze­pów w punkcie neutralnym uzwojenia 420kV. Ilość stopni regulacji: 17, zakres regulacji: $\pm 10\%$. Pierwsza rewizja wewnętrzna przełącznika wymagana jest nie wcześniej niż po 300 000 operacji łączeniowych niezależnie od okresu eksploatacji. Zaleta ta wynika z zastosowania tzw. typu próżniowego, czyli z zastosowaniem próżniowych komór gaszeniowych w przełączniku mocy.



Rys.6. Próżniowy przełącznik zacze­pów Reinhausen typu VR

Kadź i konstrukcje metalowe

Kadź posiada uchwyty umożliwiające podnoszenie całego transformatora suwnicą oraz wsporniki do podnoszenia podnośnikami hydraulicznymi. Wykonane obliczenia wytrzymałościowe potwierdziły poprawność przyjętej konstrukcji kadzi pozwalając jednocześnie uniknąć nadmiernego wzrostu masy transformatora.



Rys.7. Rozkłady naprężenia kadzi - nadciśnienie

Na powierzchniach wewnętrznych kadzi i pokrywy umieszczone zostały ekrany magnetyczne, wykonane w postaci pakietów z blachy transformatorowej anizotropowej. Zastosowanie ekranowania magnetycznego obniżyło straty w konstrukcji kadzi.

Specjalistyczne oprogramowanie wykorzystujące metodę elementów skończonych umożliwiło wykonanie obliczeń w zakresie analizy pola od strumienia rozproszenia, rozkładu indukcji, gęstości prądów i strat w elementach konstrukcyjnych.

Monitoring zawartości gazów i wilgoci w oleju

Nowoczesna technologia umożliwia dokonywanie ciągłego pomiaru parametrów fizykochemicznych oleju w pracującym transformatorze. Dzięki temu możliwy jest nie tylko pojedynczy pomiar, ale także zaobserwowanie trendów. Na rynku dostępne są zarówno proste urządzenia sygnalizujące wzrost zawartości pojedynczych rodzajów gazu powyżej progu alarmowego jak i skomplikowane urządzenia z wyświetlaczem umożliwiające kontrolę zawartości do dziewięciu gazów. Umożliwia to dostosowanie do potrzeb konkretnego użytkownika w zależności od roli jego transformatora.

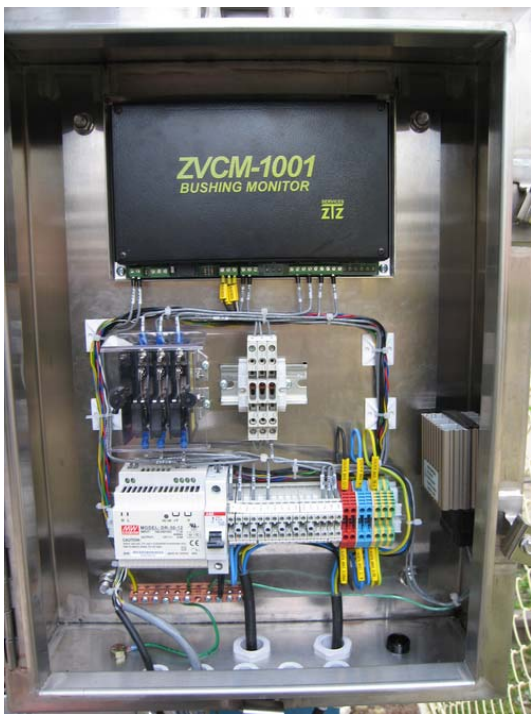
W naszej jednostce zainstalowany zostało urządzenie HYDROCAL 1005 (produkcji MTE Meter Test Equipment, Szwajcaria) pozwalające na ciągły pomiar zawartości wodoru, acetylenu, etylenu, tlenku węgla i wody rozpuszczonych w oleju transformatora. Układ pomiarowy składa się urządzenia do separacji gazów, czujników gazu, czujnika pojemnościowego zawartości wody oraz mikroprocesorowego układu sterującego. Cyrkulacja oleju w komorze pomiarowej wymuszana jest przez wewnętrzną pompę, która pobiera próbkę oleju do analizy, a następnie, po odgazowaniu, wciąga olej z powrotem do transformatora.



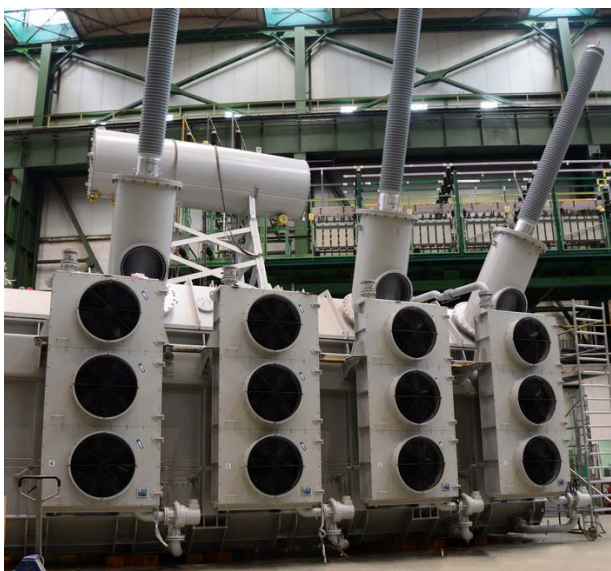
Rys.8. Analizator zawartości gazów w oleju Hydrocal 1005

Monitoring stanu izolacji przepustów transformatora

Transformatory blokowe pracują przez większość czasu z obciążeniem zbliżonym do ich mocy znamionowej. W związku z tym ich przepusty narażone są na większe narażenia termiczne niż w innych aplikacjach. W celu zapobieżenia ewentualnym awariom należy dokonywać regularnych kontroli przepustów. Dotychczas możliwe były one tylko przy transformatorze wyłączonym spod napięcia. Dostępne na rynku urządzenia umożliwiają ciągłą kontrolę względnych zmian pojemności oraz współczynnika strat tg δ izolacji na pracującym transformatorze. Warunkiem jest wyposażenie izolatorów w odpowiednie gniazda pomiarowe. Są one instalowane tylko na izolatorach wyposażonych w izolację typu kondensatorowego zarówno w izolacjach olejowych jak i suchych. Przykładem takiego urządzenia jest ZVCM-1001 zainstalowane na naszym transformatorze. Monitoruje ono stan techniczny izolatorów przepustowych na podstawie pomiaru prądu pojemnościowego. Współpracuje z czujnikami VBS montowanymi na zaciskach pomiarowych izolatorów.



Rys.9. Urządzenie ZVCM-1001 monitorujące izolatory przepustowe



Rys.10. Transformator TOBNRLb podczas prób fabrycznych

Monitoring pracy układu chłodzenia

Zastosowanie sterowników mikroprocesorowych umożliwia zwiększenie efektywności pracy układu chłodzenia w stosunku do rozwiązań klasycznych. Możliwe jest rejestrowanie czasu pracy poszczególnych chłodziw, pomp oraz informowanie o stanie ich zabrudzenia i wizualizacja mierzonych temperatur. Umożliwia również zaimplementowanie funkcji ułatwiających eksploatację np. rotacyjną pracę chłodziw i pomp, zabezpieczenie przed zastaniem oraz informowanie o przeglądach.

Podsumowanie

Wieloletnie doświadczenia firmy w modernizacjach i produkcji transformatorów blokowych oraz wykorzystanie najnowszych zdobyczy techniki transformatorowej pozwoliło na skuteczną realizację całego zakresu przeprowadzonych modernizacji transformatorów i wyprodukowanie nowoczesnej i energooszczędnej jednostki blokowej o mocy 450MVA. Zastosowana aparatura oraz elementy monitoringu to sprawdzone eksploatacyjnie elementy o wysokiej funkcjonalności, które zostały dobrane również pod kątem zapewnienia wieloletniej niezawodności pracy transformatorów zainstalowanych w największej polskiej elektrowni.

Autorzy: mgr inż. Adam Kozakiewicz, E-mail:

adam.kozakiewicz@ethosenergygroup.pl; mgr inż. Arkadiusz Kulik, E-mail: arkadiusz.kulik@ethosenergygroup.pl, dr inż. Maciej Wilk, maciej.wilk@ethosenergygroup.pl

LITERATURA

- [1] R. Malewski, M. Mnich, J. Popardowski „Transformator blokowy 305 MVA, 400/15,75 KV z nowoczesnym układem izolacyjnym” XV Konferencja Energetyki – Zamek Ryn – 5-7.09.2007
- [2] Heinrich B., Krause C., Wick K., Malewski R., Mnich M., Popardowski J. „Modularny układ izolacyjny odpływu uzwojenia 400 kV transformatora blokowego”, VI Konferencja Naukowo-Techniczna, Transformatory Energetyczne i Specjalne, Kazimierz Dolny, 11-13 października 2006
- [3] M.Każmierski, W.Olech „Diagnostyka techniczna i monitoring transformatorów”, Energopomiar-Elektryka Gliwice
- [4] M.Wilk, A.Kozakiewicz „TOBNRLb 450 000/420 – największy transformator blokowy wyprodukowany przez EthosEnergy Poland S.A.” XIX Konferencja Energetyki – Arłamów 9-11.09.2015