

Waldemar Skomudek<sup>1)</sup>  
Marek Szrot<sup>2)</sup>

## Gospodarka transformatorami mocy prowadzona przy pomocy systemu *TrafoGrade*

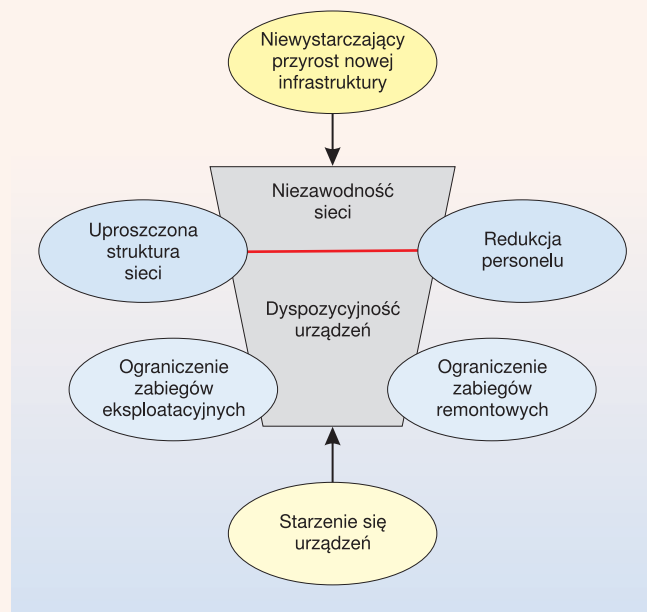
### Power transformer management realized with the help of *TrafoGrade* system

Utrzymanie właściwego stanu technicznego środków trwałych w elektroenergetyce ma ogromne znaczenie w spełnieniu wymagań niezawodności systemu przesyłowego i dystrybucyjnego [4, 5]. Rynkowe przemiany w podsektorze elektroenergetycznym z jednej strony wymuszają redukcję kosztów operacyjnych w działalności operatorskiej (co najczęściej znajduje odbicie w ograniczeniu działalności eksploatacyjno-remontowej) i ograniczają realizację nowych inwestycji, a z drugiej strony stwarzają warunki do upowszechnienia tendencji zwiększających obciążenie oraz dopuszczających wydłużenie okresu pracy urządzeń ponad czas określony przez producenta (rys. 1) [2]. Aby zapoczątkowany w końcu lat 90. i nadal kontynuowany proces przemian w elektroenergetyce nie wywołał negatywnych efektów w zakresie jakości zaopatrzenia odbiorców w energię elektryczną należy rozwijać działalność techniczną, ukierunkowaną na nowoczesne prowadzenie eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych. Głównym celem takiego działania jest bieżące utrzymanie sprawności eksploatowanych urządzeń z tendencją ukierunkowaną na wydłużenie ich żywotności.

Eksploatacja infrastruktury sieciowej to działalność podstawowa, która powinna prowadzić do wzrostu dyspozycyjności urządzeń, obniżenia strat energii oraz poprzez optymalizację kosztów do wzrostu ich rentowności. Jedną z najważniejszych grup urządzeń w sieciach elektroenergetycznych, których niezawodność ma duży wpływ na dochowanie wcześniej określonych standardów są transformatory [7]. Transformatory stanowią również najliczniejszy zbiór urządzeń. Statystyki prowadzone dla potrzeb analizy awaryjności sieci elektroenergetycznych potwierdzają wysoką ich niezawodności. Jednakże awarie transformatorów – jeśli wystąpią – niosą za sobą bardzo poważne konsekwencje, zarówno w wymiarze technicznym jak i ekonomicznym.

Problematyka niezawodności pracy tych urządzeń jest analizowana już od chwili rozpoczęcia prac koncepcyjno-projektowych, bez względu na to czy są one podyktowane koniecznością wy-

konania modernizacji (np. w wyniku wzrostu zapotrzebowania na moc przyłączeniową w ramach istniejącej infrastruktury sieciowej), remontu bieżącego, czy też rozwoju wynikającego z konieczności wsparcia sieci istniejącej nowymi, głównymi punktami zasilania (GPZ-ami).



Rys. 1. Oddziaływanie wybranych czynników na niezawodność pracy systemu elektroenergetycznego

Każdy z wymienionych wariantów dokapitalizowania tej grupy urządzeń wymaga procesowego i kompleksowego podejścia do problematyki szeroko pojętej gospodarki transformatorami. Dzięki temu istnieją przesłanki do optymalizacji kosztów transformacji, co jest wymogiem w zliberalizowanej elektroenergetyce [3, 6]. Obecnie koszty eksploatacji transformatorów są stosunkowo niskie w grupie urządzeń, których wiek nie przekracza 20 lat. Jednak w kraju ponad 43% łącznej liczby transformatorów zainstalowanych w sieci przesyłowej i dystrybucyjnej już przekroczyło wiek 30 lat. Z tego też powodu w ocenie problemów eksploatacyjnych tych

<sup>1)</sup> dr hab. inż. Waldemar Skomudek, prof. PO, Politechnika Opolska, Katedra Zarządzania Projektami; w.skomudek@po.opole.pl

<sup>2)</sup> dr inż. Marek Szrot, *Energo-Complex Sp. z o.o.*; marek.szrot@energo-complex.pl

urządzeń coraz częściej znajdują zastosowanie specjalistyczne, zaawansowane metody diagnostyczne, nierzadko z możliwością prowadzenia diagnostyki bez konieczności wyłączenia badanego transformatora [8, 9].

## Gospodarka transformatorami

Prawidłowo prowadzona w podmiotach elektroenergetycznych gospodarka transformatorami to podstawa niezawodności funkcjonowania stacji transformatorowych, stanowiących jeden z najważniejszych elementów sieci elektroenergetycznych. Zakres tej działalności jest bardzo szeroki i obejmuje czynności od zakupu i przyjęcia transformatora w zasoby środków trwałych poprzez szeroko rozumianą eksploatację, konserwację, remonty, modernizację, a na likwidacji kończąc. Z punktu widzenia nowoczesnych koncepcji zarządzania działalność określona jako *gospodarka transformatorami* stanowi w swej istocie proces organizacji funkcji i celów [6]. Ilustracją takiej organizacji jest ogólny schemat zamieszczony na rysunku 2. W procesie – gospodarka transformatorami – można wyróżnić trzy podstawowe segmenty:

- I Źródło potrzeby zakupu urządzenia,
- II Standaryzacja warunków zamówienia,
- III Dokumentacja prawno-majątkowa i eksploatacyjna.

Wskazany na rysunku 2 obszar działania nowoczesnych narzędzi informatycznych pozwala na realizację standardowych funkcji statystycznych i diagnostycznych. Jednak, niewątpliwą zaletą wysokospecjalizowanych systemów informatycznych są funkcje umożliwiające np. prognozowanie obciążenia transformatorów, wizualizację zmian i ich tendencji w diagnozie stanu urządzenia czy też przewidywanie okresu dalszej eksploatacji.

Do grona zintegrowanych i wielofunkcyjnych systemów diagnostycznych należy system *TrafoGrade*. Jego nieskomplikowana ogólna struktura organizacyjna pozwala na prowadzenie analiz

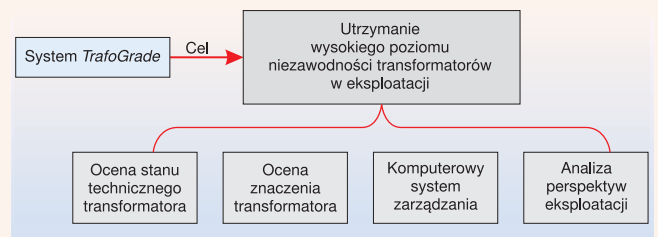
zaawansowanych zjawisk będących przyczyną usterek i uszkodzeń transformatorów.

## Zastosowanie systemu *TrafoGrade* w eksploatacji transformatorów

System zarządzania transformatorami *TrafoGrade* jest dla tej grupy urządzeń kompleksowym systemem monitorowania stanu technicznego. Posiada budowę modułową, w której wyróżnia się:

- moduł oceny stanu technicznego,
- moduł oceny ważności monitorowanego urządzenia z punktu widzenia systemu elektroenergetycznego,
- moduł odpowiedzialny za systemowe zarządzanie gromadzonymi danymi,
- moduł prognozujący perspektywę eksploatacyjną urządzenia.

Strukturę organizacji systemu *TrafoGrade* przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Struktura funkcjonalnej systemu *TrafoGrade*

Podstawowym modułem systemu *TrafoGrade* jest jednostka operacyjna gromadząca za pomocą nowoczesnych metod diagnostycznych niezbędne informacje, służące bieżącej ocenie stanu technicznego transformatorów. W grupie wskaźników diagnostycznych znajdują się między innymi wyniki:



Rys. 2. Struktura organizacyjna procesu – *gospodarka transformatorami* z wyróżnionym obszarem działania systemu *TrafoGrade* (obszar otoczony kolorem niebieskim)

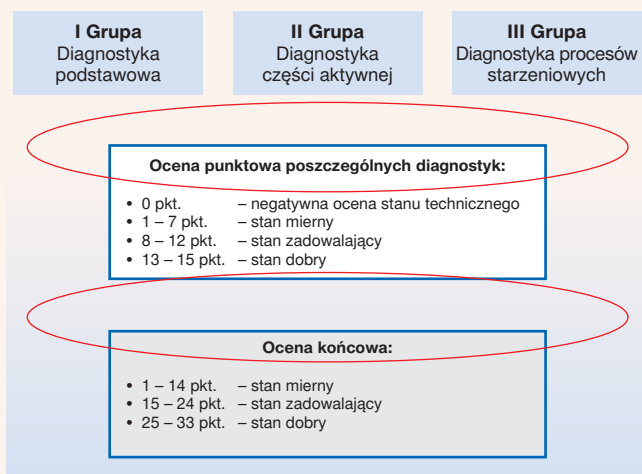
- analiz gazów rozpuszczonych w oleju (DGA) i odkształceń uzwojeń,
- oceny podobciążeniowego przełącznika zaczepek i osprzętu transformatora, układu chłodzenia, zesterzenia oleju, stopnia degradacji celulozy i zawilgocenia izolacji stałej,
- pomiaru rezystancji izolacji i uzwojeń oraz napięcia przebicia oleju.

Ponadto baza danych każdego transformatora zawiera informacje opisowe, określające historię pracy, wiek jednostki i wyniki bieżących oględzin zewnętrznych transformatora. Wszystkie parametry diagnostyczne gromadzone i archiwizowane w strukturze systemu można przyporządkować do trzech grup (rys. 2).

- I Grupa – obejmuje podstawową diagnostykę transformatorów; pogorszenie stanu technicznego jednostki nie stanowi zagrożenia dla funkcji ruchowych systemu elektroenergetycznego.
- II Grupa – odpowiada za stan części aktywnej transformatora; obejmuje elementy, które spełniają istotną rolę w funkcjonowaniu transformatora; zły stan techniczny większości z nich eliminuje transformator z eksploatacji, a przywrócenie jednostki do ruchu wymaga na ogół znacznych nakładów finansowych i organizacyjnych.
- III Grupa – określa stopień zaawansowanie procesów starzeniowych transformatora; jego wartość przesądza o potrzebie przeprowadzenia remontu lub modernizacji.

Wykorzystując informacje (dane z badań i pomiarów) gromadzone w bazie danych systemu *TrafoGrade* możliwe jest – przy wykorzystaniu trójstopniowej oceny – zaklasyfikowanie transformatorów do jednej z grup o stanie dobrym, zadowalającym lub miernym. Punktowe wartościowanie odbywa się w ramach dwóch funkcji: oceny stanu technicznego i oceny ważności transformatora z punktu widzenia systemu elektroenergetycznego.

Zbiór transformatorów wykazujących stan dobry i zadowalający na ogół nie wymaga wykonywania dodatkowych pomiarów i czasowego wyłączenia transformatorów z ruchu. W grupie tej



Rys. 4. Schemat procedury oceny stanu technicznego transformatorów według reguł systemu *TrafoGrade* (wg [8])

znajdują się najczęściej transformatory nowe lub o średnim okresie eksploatacji. Szczególnej uwagi wymagają transformatory, których parametry wykazują stan mierny lub go przekraczają. Wówczas działanie służb eksploatacyjnych powinno być objęte trybem nadzwyczajnym dopuszczającym m.in. wyłączenie transformatora z ruchu i przeprowadzenie pełnego procesu diagnostycznego, łącznie z możliwością dokonania rewizji wewnętrznej lub przekazania transformatora do remontu.

W procesie zarządzania majątkiem sieciowym, w tym również transformatorami, obejmującym działalność inwestycyjno–remontową, istotnym elementem analiz są rezultaty oceny ważności transformatora z punktu widzenia potrzeb systemu elektroenergetycznego. W tym aspekcie szczególne znaczenie odgrywa ciągłość i niezawodność zasilania odbiorców, co stanowi podstawę zachowania lokalnego bezpieczeństwa energetycznego. W systemie *TrafoGrade* parametryzacja tego zagadnienia odbywa się na podstawie wyników analiz:

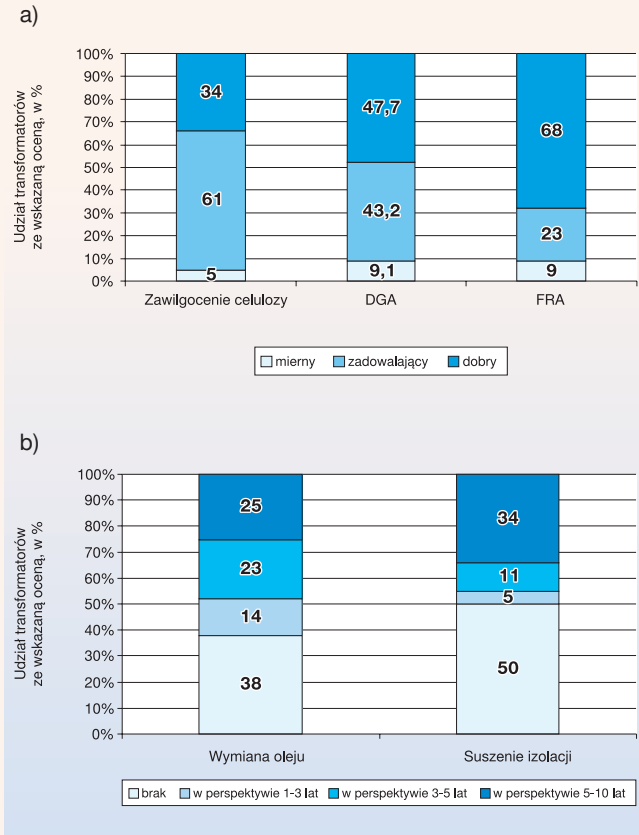
- konfiguracji ruchowej sieci elektroenergetycznej,
- wrażliwości zasilanych odbiorów na dochowanie standardów jakościowych dostarczanej energii elektrycznej,
- elastyczności ruchowej punktów transformacji w systemie elektroenergetycznym (m.in. możliwość rezerwowania transformatorów).

Efektom kompleksowej oceny technicznej wartości transformatora, wykonanej za pomocą zaawansowanej diagnostyki systemu *TrafoGrade*, jest deterministycznie określona diagnoza funkcjonalna urządzenia. Najistotniejszym walorem tej diagnozy jest wiarygodne określenie poziomu niezawodności pracy transformatora, a w przypadku stwierdzenia przekroczenia dopuszczalnych wartości analizowanych wskaźników zaproponowanie sposobu dalszego postępowania z badaną jednostką. Uzyskanie danych wynikowych pochodzących z badań, zaawansowanej diagnostyki i prowadzonych analiz również umożliwia sporządzenie rzetelnego planu bieżących i przyszłościowych działań modernizacyjno–remontowych.

W publikacjach [1, 9] zaprezentowano wybrane wyniki analizy prognozującej perspektywę eksploatacyjną badanych transformatorów. Analiza ta określa m.in. poziom ryzyka dla systemu elektroenergetycznego wynikający z dalszej eksploatacji transformatora lub wskazuje na występujące ograniczenia w jego eksploatacji.

## Zastosowanie systemu *TrafoGrade* w elektroenergetyce

System *TrafoGrade* został wdrożony w jednej z krajowych spółek dystrybucyjnych [1]. Zaawansowanej diagnostyce poddano grupę ponad 40 transformatorów o mocy pojedynczej jednostki nieprzekraczającej 630 kVA. W grupie transformatorów objętych systemem *TrafoGrade* znajdowało się 41% jednostek, których okres eksploatacji był powyżej 30 lat. Analiza porównawcza danych statystycznych odnoszących się do wieku transformatorów eksploatowanych w krajowych spółkach dystrybucyjnych – w szczególności dotyczy to najstarszych eksploatowanych jednostek – wykazała zadowalającą ich reprezentatywność w porównaniu z danymi uzyskanymi w spółce wdrażającej system. Wybrane przykłady uzyskanych rezultatów analizy danych przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Prezentacja wybranych wyników oceny stanu technicznego zbioru transformatorów wykonanej za pomocą różnych metod diagnostycznych (a) wraz ze wskazaniem niezbędnych do wykonania czynności w różnych perspektywach czasu (b)

Wykorzystując informacje z diagnostyki można stwierdzić, że w grupie badanych transformatorów znajdują się pojedyncze jednostki (ok. 9% badanej populacji urządzeń) wymagające pilnej i kapitałochłonnej interwencji. Zdecydowana większość badanych transformatorów charakteryzuje się zadowalającym stanem technicznym (75% badanej populacji urządzeń). Przeprowadzona na podstawie wskaźników oceny stanu technicznego i ważności monitorowanego urządzenia z punktu widzenia systemu elektroenergetycznego analiza uzyskanych danych, poza wiedzą techniczną, stanowi materiał źródłowy do przeprowadzenia pogłębionej analizy ekonomicznej opłacalności rozważanych wariantów procesu naprawczego badanego transformatora.

Jedną z wielu zalet systemu *TrafoGrade* jest jego otwarta konstrukcja, która umożliwi dalszą rozbudowę samego systemu, jak i jego integrację z innymi aplikacjami wykorzystywanymi w procesie eksploatacji majątku sieciowego. Z przeprowadzonych testów wdrożeniowych wynika, że rozbudowa aplikacji softwarowej systemu powinna zmierzać w kierunku opracowania i wdrożenia funkcji wsparcia decyzyjnego dla procesu gospodarki transformatorami oraz uelastycznienia funkcji wnioskowania i badawczo-decyzyjnych, ze wskazaniem na ściślejsze dopasowanie swoich możliwości do indywidualnych wymagań użytkowników i specyfiki danego przedsiębiorstwa energetycznego.

Zaprezentowana w artykule nowoczesna metoda prowadzenia eksploatacji transformatorów stanowi ciekawą alternatywę dla tradycyjnych metod utrzymania majątku sieciowego. Jest propozycją dla elektroenergetyki zarządzanej według reguł rynkowych. Opiera się na wiedzy pozyskiwanej z analiz eksperckich, wykorzystujących wiedzę analityczną funkcjonowania systemu elektroenergetycznego i wspieranych dedykowanymi narzędziami informatycznymi. Zastosowanie systemu *TrafoGrade* do procesu zarządzania transformatorami stwarza nowe możliwości dla szeroko rozumianej gospodarki eksploatacyjno-remontowej transformatorów. Rezultaty pierwszych wdrożeń tego systemu w elektroenergetyce potwierdziły zasadność stosowania tej metody zarówno w zakresie jednostek średnich, jak i dużych mocy. Ponadto wykazały potrzebę stosowania diagnostyki z aktywnymi modułami wnioskującymi, co otwiera ścieżkę rozwoju tego systemu w kierunku funkcji eksperckich.

Podsumowując można stwierdzić, że w obliczu dokonujących się w elektroenergetyce przemian systemowych, ujawnianych potrzeb inwestycyjnych podsektora elektroenergetycznego, pozytywnego trendu rozwoju gospodarki krajowej i coraz mocniej akcentowanej dekapitalizacji istniejącego majątku sieciowego wszelkie inicjatywy skierowane na usprawnienie i rozwój zaawansowanych technik eksploatacyjnych powinny być objęte wdrożeniowym priorytetem.

LITERATURA

- [1] Drabczyk A., Molenda P., Kopiel P.: Testowanie systemu *TrafoGrade*. *PAK* 2011, nr 4, s. 421-424
- [2] Kłós M., Marchel P., Michalski Ł., Paska J.: Analiza i ocena niezawodności systemu elektroenergetycznego. *Elektroenergetyka – współczesność i rozwój* 2010, nr 4, s. 22-35
- [3] Malewski R., Subocz J., Szrot M., Płowuch J., Zaleski J.: Podstawy oceny opłacalności modernizacji transformatorów. *Energetyka* 2006, nr 12, s.884-891
- [4] Skomudek W.: Gospodarka rynkowa i jej wpływ na jakość dostarczanej energii elektrycznej. *Wiadomości Elektrotechniczne* 2003, nr 4
- [5] Skomudek W.: Inwestycje w sieci przesyłowej. Europejskie Forum Gospodarcze, Katowice 2010
- [6] Skomudek W.: Strategia zarządzania podmiotem skonsolidowanym działającym w warunkach rynkowych. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem* 2011, nr 1, s. 44-49
- [7] Skomudek W.: Wpływ rozwoju sieci najwyższych napięć na poziom zdolności przesyłu i transformacji energii elektrycznej. *PAK* 2011, nr 4, s. 417-420
- [8] Skomudek W., Szrot M.: Nowoczesne zarządzanie transformatorami mocy z wykorzystaniem systemu *TrafoGrade*. *Przegląd Elektrotechniczny* (artykuł w druku)
- [9] Szrot M., Płowucha J., Borucki S., Cichoń A., Subocz J., Rzekowski A.: Eksploatacja transformatorów elektroenergetycznych z wykorzystaniem systemu *TrafoGrade*. *Rynek Energii* 2009, s. 245-251