

dr hab. inż. Jacek Hulimka, prof. Pol. Śl\*  
mgr inż. Marcin Skwarek\*\*  
dr inż. Marta Kałuża\*

# Wybrane przypadki błędów wykonawczych i eksploatacyjnych w konstrukcji stanowisk transformatorów

*Selected cases of construction and operational failures of support structures for transformers*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wybrane przypadki wad konstrukcji stanowisk transformatorów w stacjach elektroenergetycznych, po kilkadziesiąt lat eksploatacji. Szczególną uwagę zwrócono na rażące przypadki błędów wykonawczych i eksploatacyjnych, prowadzących do niespełnienia wymaganych cech użytkowych konstrukcji. W opracowaniu bazowano na własnych ekspertyzach ok. 20 stanowisk transformatorów zlokalizowanych na południu Polski.

**Słowa kluczowe:** transformator, fundament, misa olejowa, błędy wykonawcze.

**Abstract.** The paper presents selected cases of defects of support structures for transformers in power stations after decades of operation. Particular attentions has been paid to serious cases of construction and operational failures leading to non-compliance of the required functional features of the structures. The study is based on own expertises of about 20 support structures for transformers located in southern Poland.

**Keywords:** transformer, foundation, oil sump, construction failures.

Pomimo rosnącej tendencji do wykorzystywania rozproszonych źródeł energii odnawialnej współczesna energetyka wciąż bazuje na systemie dużych elektrowni. Ich usytuowanie zwykle zależy od warunków zasilania (elektrownie wodne, elektrownie węglowe) lub zachowania strefy ochronnej (elektrownie atomowe). Konieczne jest więc przesyłanie ogromnych ilości energii na dystansach liczonych w setkach kilometrów. Sprostac temu mogą wyłącznie linie przesyłowe o wysokim napięciu. Opisany sposób przesyłu wymaga stosowania transformatorów „na wejściu”, bezpośrednio za źródłem oraz „na wyjściu”, gdzie konieczne jest obniżenie napięcia do wartości właściwej dla lokalnych sieci przesyłowej, a dalej dla bezpośrednich odbiorców. W Polsce eksploatowanych jest ponad 230 tys. transformatorów, w tym ponad 3 tys. urządzeń o górnym napięciu 110 ÷ 400 kV [1]. Znaczna część stacji transformatorowych ma za sobą kilkadziesiąt lat eksploatacji, co powoduje zużycie konstrukcji wsporczych. Jest to szczególnie ważne w przypadku obiektów od samego początku obciążonych wadami wykonawczymi, potęgwanymi przez niewłaściwą eksploatację i brak remontów.

## Konstrukcja wsporcza i misa olejowa

Na typową konstrukcję wsporczą transformatora składają się: fundament, ława dojazdowa i misa olejowa. Dwa pierwsze elementy pełnią funkcję nośną, przy czym fundament jest stałą docelową podporą transformatora wraz z oprzyrządowaniem, natomiast ława służy do transportu transformatora z zewnętrznego torowiska na fundament. Typowy fundament jest żelbetowym blokiem prostopadłościennym, często z drążeniami redukującymi masę i zwiększającymi objętość misy olejowej. Ławy dojazdowe zwykle wykonane są w postaci dwóch żelbetowych ścian opartych na wspólnej płycie fundamentowej. Na fundamentach i ławach osadzone są szyny kolejowe służące do transportu i postoju transformatora.

Misa olejowa ma postać żelbetowego zbiornika monolitycznego, którego dno doprowadzone jest do pionowych krawędzi bloku fundamentowego, a ciągłość jednej ze ścian przerywa ława dojazdowa. Od góry misę olejową zamyka ażurowy strop stalowy pokryty warstwą kamienia gaśniczego. W codziennej eksploatacji misa olejowa ma zabezpieczać podłoże gruntowe przed olejem kapiącym z instalacji transformatora, natomiast w razie awarii (pożaru) musi być zdolna do zgromadzenia całego oleju transformatorowego (60 – 80 t) oraz środka gaśniczego, którego objętość przyjmuje się jako 20% objętości oleju.

Wytyczne do projektowania stanowisk transformatorów zawarte są m.in. w [2 i 3]. Co ciekawe, dopuszczają one wykonanie misy olejowej w gruntach nieprzepuszczalnych jako nieobetonowanego zagłębienia wypełnionego porowatym kamieniem lub żużlem, z ewentualnym odprowadzeniem nadmiaru oleju do rowu opaskowego.

## Opis błędów wykonawczych i eksploatacyjnych

Błędy w konstrukcjach budowlanych w najogólniejszy sposób podzielić można na dwie grupy. Do pierwszej zaliczyć należy przypadki zagrażające wyczerpaniem nośności, utratą stateczności konstrukcji lub jej części, a w efekcie mogące skutkować awarią albo katastrofą budowlaną. W opisywanych konstrukcjach przypadek taki musiałby dotyczyć bloku fundamentowego lub ławy dojazdowej. Co prawda w znanych nam konstrukcjach często stwierdzano wady betonowania bloków lub ław, lecz nigdy nie skutkowały one groźnym obniżeniem nośności. Konstrukcje wsporcze projektowano zwykle z tak znacznym zapasem, że powierzchniowe ubytki korozyjne betonu lub lokalna korozja wkładek zbrojeniowych wskutek obniżonej szczelności otuliny, także nie stanowiły zagrożenia.

Druga grupa błędów obejmuje przypadki mogące pogorszyć parametry użytkowe konstrukcji. W szczególności dotyczy to mis olejowych i ich podstawowych wymaga-

\* Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa  
\*\* Pracownia Projektowa M. Skwarek, J. Hulimka Sp.J.

nych parametrów, jakimi są szczelność i właściwa objętość. Warunek szczelności misy olejowej, wynikający z konieczności zabezpieczenia podłoża gruntowego przed wyciekami oleju, jest szczególnie istotny wobec znacznej toksyczności zużytego oleju transformatorowego. Problem ten szczegółowo opisano w [4].

Brak odpowiedniej szczelności misy, największa wada budowlana stanowisk transformatorów, w większości przypadków wynika z błędów wykonawczych i spotęgowana jest niewłaściwą eksploatacją oraz brakiem remontów. Przyczynami nieszczelności są wady konstrukcji dna lub ścian oraz niewłaściwa konstrukcja styku dna misy z fundamentem i przejścia ławy dojazdowej przez ściany. W przypadku dna często występuje nieciągłość betonu spowodowana rysami skurczowymi, powiększonymi wskutek wieloletniej korozji w agresywnym środowisku. Napotkaliśmy kuriozalny przypadek wykonania dna z płytek chodnikowych, co nie zapewniało jakiegokolwiek szczelności. Nawet gdy konstrukcja i stan płyty dennej są prawidłowe, to często jest ona pozbawiona izolacji powierzchniowej lub warstwa izolacji jest uszkodzona. Ściany misy najczęściej wykazują dwa typy nieciągłości, a mianowicie niewłaściwe ułożenie i zagęszczenie betonu oraz rysy (fotografia). Pierwsza z tych wad ma charakter wykonawczy, druga natomiast wynika z warunków eksploatacji, ale pierwotną przyczyną są często błędy projektowe i wykonawcze dotyczące zbrojenia. Podobnie jak w przypadku dna, również ściany często pozbawione są powłoki izolacyjnej lub jest ona w złym stanie.

Połączenie dna i ścian misy jest węzłem monolitycznym i zwykle nie wykazuje istot-



Przykład zarysowania ściany misy

nych wad. Inaczej jest w linii styku płyty dennej z niezależnie wykonanym blokiem fundamentowym, gdzie często nie ma jakiegokolwiek uszczelnienia. Jeszcze gorzej przedstawia się przejście ławy dojazdowej przez ścianę misy – pionowe styki tych elementów z reguły nie są wypełnione, a szerokość szczelin w skrajnych przypadkach dochodzi do kilku centymetrów.

Wymienione przypadki z jednej strony zaburzą, a czasami wręcz eliminują szczelność misy, z drugiej natomiast przyspieszają destrukcję materiałów konstrukcyjnych, powodując lawinowy przyrost uszkodzeń.

Warunek dotyczący objętości misy olejowej wynika z konieczności awaryjnego pomieszczenia całego oleju znajdującego się w transformatorze oraz środka gaśniczego (ok. 20% objętości oleju). W większości badanych przez nas przypadków prawidłowa była teoretyczna objętość misy, natomiast rzeczywistość okazywała się zaniżona. W praktyce stan taki powodowały dwa błędy eksploatacyjne. Jednym z nich było zabetonowanie wewnętrznych pustek w bloku fundamentowym, istniejących w stanie pierwotnym i połączonych kanałami z misą olejową. Zabieg taki, w przypadku typowych wymiarów fundamentu, skutkuje redukcją objętości rzędu 5 m<sup>3</sup>, a zatem o ok. 6% objętości nominalnej (przy założeniu 60 t oleju, wymagających zapewnienia objętości ok. 70 m<sup>3</sup> oleju i dodatkowo 14 m<sup>3</sup> środka gaśniczego). Drugi przypadek, znacznie powszechniejszy, dotyczy nadziemnej części ścian misy olejowej. Teoretycznie ściana ta powinna być ciągła na obwodzie, co pozwala na wliczenie ograniczonej nią przestrzeni do objętości misy. W praktyce górna część ściany bardzo często wykonana jest niewłaściwie (słaby beton, zaniżone zbrojenie), co skutkuje jej licznymi uszkodzeniami i nieszczelnościami, a czasami wręcz zniszczeniem. Problem jest jeszcze poważniejszy na odcinku ściany w obrębie ławy dojazdowej, gdzie przy wprowadzaniu transformatora na fundament fragment ściany jeszcze nie istniał, a później zapomniano ją uzupełnić, bądź wykonano z materiałów niezapewniających uzyskania odpowiedniej trwałości i szczelności.

Odrębna grupa uszkodzeń dotyczy stalowych rusztów pod warstwą kamienia gaśniczego. Większość z nich jest bardzo silnie skorodowana z powodu braku pierwotnych zabezpieczeń antykorozyjnych oraz bieżącej konserwacji.

Wszystkie opisane wady i uszkodzenia mają trzy wspólne grupy przyczyn, które najkrócej można scharakteryzować jako:

wadliwe lub niestaranne wykonawstwo, niewłaściwa eksploatacja bez odpowiednich prac remontowych i konserwacyjnych oraz wieloletnie narażenie na wpływ niekorzystnych warunków atmosferycznych. Pomimo niejednokrotnie znacznego nagromadzenia wad i uszkodzeń, większość analizowanych konstrukcji pozwalała na wykonanie prac remontowych umożliwiających ich dalsze użytkowanie. Typowymi naprawami były: iniekcje rys i wad strukturalnych w betonie, reprofiliacja ubytków przy użyciu materiałów naprawczych typu PCC (betony polimerowo-cementowe), trwale plastyczne zmostkowanie szczelin dylatacyjnych oraz nałożenie szczelnych powłok ochronnych odpornych na olej i warunki atmosferyczne. Sporym utrudnieniem w stosowaniu typowych systemów naprawczych okazało się powierzchniowe przesylenie betonu olejem, dlatego w kilku przypadkach zalecono miejscowe skucie lub sfrezowanie otuliny. W sytuacji wyraźnie zaniżonej objętości misy olejowej konieczne było jej wyburzenie i wykonanie nowej konstrukcji o odpowiednich parametrach.

## Podsumowanie

Fundamenty i misy olejowe transformatorów są konstrukcjami wsporczyimi, pośrednio odpowiedzialnymi za możliwość i bezpieczeństwo użytkowania sieci przesyłowych. Tymczasem znaczna liczba tych konstrukcji jest eksploatowana przez kilkadziesiąt lat w bardzo niekorzystnych warunkach. W efekcie, wszędzie tam, gdzie konstrukcje obciążone były błędami wykonawczymi i pozbawione odpowiedniej konserwacji (a czasem też narażone na błędy użytkowania), ulegały one postępującej destrukcji, efektem której najczęściej jest niedostateczna szczelność i zaniżona objętość misy olejowej. W większości przypadków możliwe i uzasadnione jest jednak wykonanie prac remontowych przywracających pełne walory użytkowe konstrukcji.

## Literatura

- [1] Partyga S.: Produkcja i eksploatacja transformatorów. Historia, dzień dzisiejszy i przyszłość. Energetyka, nr 4 (562), kwiecień 2001, s. 167 – 170.
- [2] Kisiel I. z zespołem: Budownictwo betonowe. Tom XII. Budowle przemysłowe, Cz. 2, Arkady, Warszawa, 1971.
- [3] Praca zbiorowa. Poradnik projektowania urządzeń elektrycznych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1964.
- [4] Hulimka J., Dawczyński S.: Defects and damage to support structures of big power transformers as a reason of soil contamination. Architecture, Civil Engineering, Environment, Vol. 2, No. 3, 2009, p. 101 – 108.