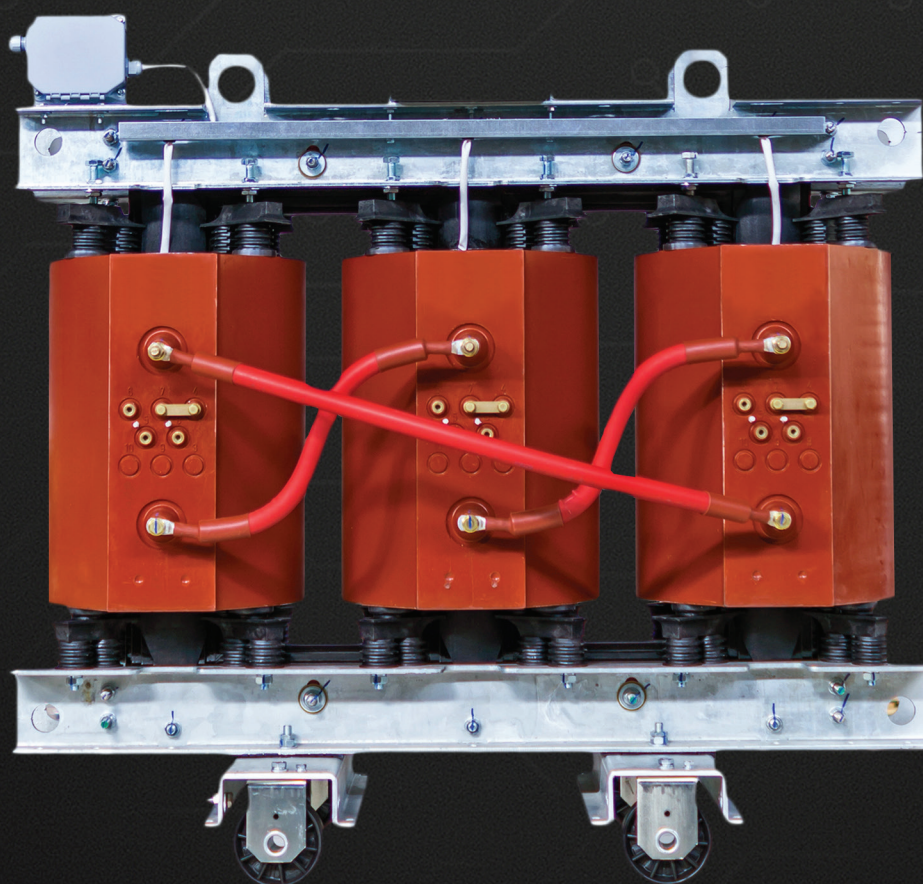




ENERGEKS

**INSTRUKCJA OBSŁUGI,
INSTALACJI I KONSERWACJI
TRANSFORMATORÓW SUCHYCH**



CE

© ENERGEKS
Transformatory Sp. z o.o.
ul. Święty Marcin 29/8, 61-806 Poznań, Polska
info@energeks.com
www.energeks.pl
NIP 783 186 78 05

Spis treści

1. Informacje ogólne.....	5
2. Transport, rozładunek i składowanie.....	6
2.1 Odbiór dostawy i rozładunek.....	6
2.2 Przemieszczanie.....	7
2.3 Podnoszenie.....	7
2.4 Magazynowanie.....	8
2.5 Wysokość instalacji.....	8
2.6 Temperatura otoczenia.....	8
3. Instalacja.....	8
3.1 Instalacja transformatora wewnątrz stacji.....	9
3.2 Zasady instalacji układu monitorowania temperatury i czujników.....	11
4. Zabezpieczenia transformatora.....	12
4.1 Zabezpieczenie przed przepięciami.....	12
4.2 Zabezpieczenie przed przeciążeniami.....	12
4.3 Połączenia elektryczne i zaciski / momenty dokręcania.....	12
5. Chłodzenie transformatora.....	13
6. Uruchomienie.....	16
6.1 Uziemienie transformatora.....	16
6.2 Podłączenie.....	16
6.3 Czyszczenie.....	17
6.4 Regulacja napięcia wejściowego.....	17
6.5 Załączenie.....	17
6.6 Praca równoległa.....	17
7. Konserwacja.....	19
8. Harmonogram konserwacji.....	20
9. Awarie i wstępne prace naprawcze.....	22
10. Lista kontrolna instalacji transformatora.....	24

Normy odniesienia

Transformator został zaprojektowany, wyprodukowany i przetestowany zgodnie z wymaganiami norm międzynarodowych i europejskich:

IEC EN 60076-1 – Transformatory mocy –

Część 1: Postanowienia ogólne.

Norma definiuje ogólne wymagania dla wszystkich typów transformatorów mocy, obejmując m.in. wartości znamionowe, dopuszczalne odchylenia, oznaczenia zacisków, zasady chłodzenia, poziomy izolacji, warunki klimatyczne oraz procedury badań.

IEC EN 60076-11 – Transformatory mocy –

Część 11: Transformatory suche.

Norma ta określa wymagania dotyczące projektowania, badań typu, badań rutynowych, parametrów znamionowych oraz dopuszczalnych warunków pracy transformatorów suchych, w tym odporności na wilgoć, wytrzymałości elektrycznej izolacji, ograniczeń nagrzewania oraz zachowania w warunkach zwarciovych.

Przestrzeganie powyższych norm zapewnia zgodność transformatora z wymaganiami bezpieczeństwa elektrycznego, efektywności energetycznej, trwałości eksploatacyjnej oraz kompatybilności z istniejącą infrastrukturą elektroenergetyczną.

1. Informacje ogólne

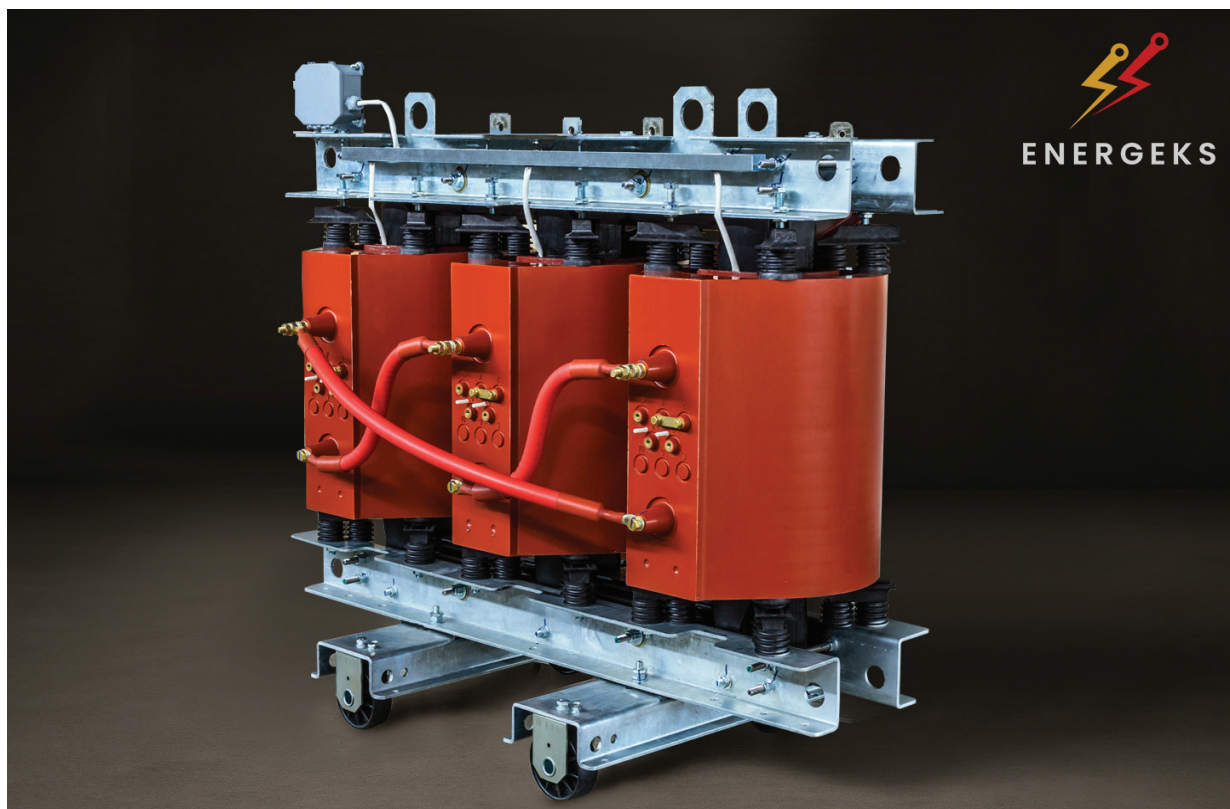
Na wstępie pragniemy podziękować Państwu za okazane zaufanie oraz wybór transformatora żywicznego **Energeks TeoEco2**. Niniejsza instrukcja zawiera zalecenia dotyczące bezpiecznego montażu, uruchamiania i eksploatacji, opracowane zgodnie z normami międzynarodowymi.

TeoEco2 to nowoczesne transformatory suche z izolacją żywiczną, które eliminują potrzebę stosowania oleju, ograniczają ryzyko pożaru i ułatwiają recykling.

Dzięki zgodności z normami IEC 60076-11, EN 50588, ISO 9001 i ISO 14001, zapewniają wysoką wydajność i niskie koszty utrzymania.

Najważniejsze zalety TeoEco2:

- **samogaśnięcie i wysoka odporność ogniowa,**
- **niskie koszty i krótki czas konserwacji,**
- **kompaktowa konstrukcja,**
- **odporność na siły zwarciovowe.**



2. Transport, rozładunek i składowanie

2.1 Odbiór dostawy i rozładunek

Transformator dostarczany jest w pełni zmontowany, gotowy do podłączenia zarówno po stronie średniego napięcia (SN), jak i niskiego napięcia (nN).

Przy odbiorze należy:

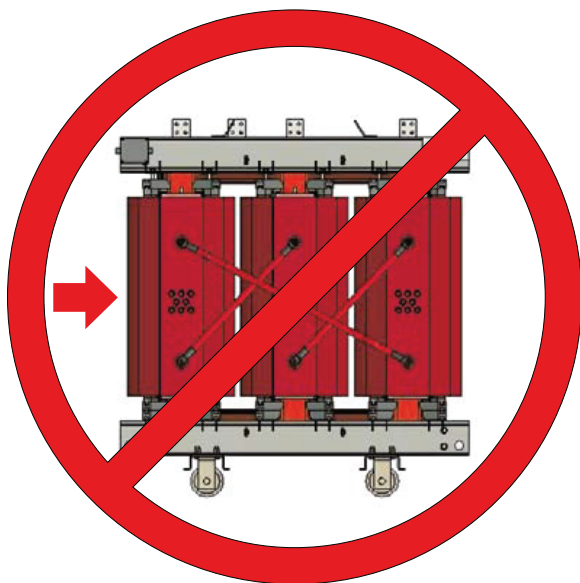
1. Dokonać szczegółowej kontroli wizualnej w celu wykrycia ewentualnych uszkodzeń transportowych; wszelkie uszkodzenia należy niezwłocznie odnotować w dokumentach przewozowych i zgłosić producentowi oraz przewoźnikowi,
2. Porównać dane z tabliczki znamionowej z raportem odbioru technicznego i zamówieniem,
3. Upewnić się, że transformator jest wyposażony we wszystkie zamówione akcesoria (np. kółka transportowe, czujniki temperatury PT100 lub PTC, układ kontroli temperatury, dokumentację techniczną).

Uwaga eksploatacyjna: w przypadku stwierdzenia jakichkolwiek uszkodzeń mechanicznych, wgnieceń rdzenia, pęknięć obudowy żywicznej albo deformacji zacisków, transformator nie powinien być uruchamiany do czasu przeprowadzenia ekspertyzy przez producenta.

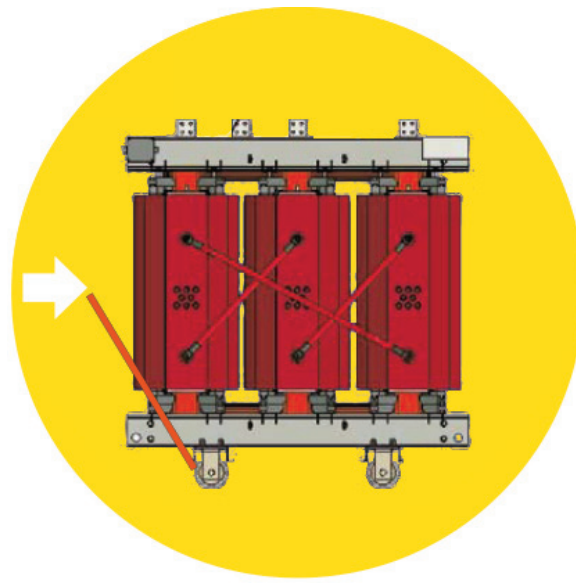
2.2 Przemieszczanie

Podczas przemieszczania transformatora nie wolno opierać narzędzi ani elementów transportowych bezpośrednio o uzwojenia SN/nN lub zaciski (rys. 1).

W razie konieczności ręcznego ustawienia kółek transportowych dopuszcza się użycie podnośnika, przy czym należy zastosować podkładkę drewnianą pomiędzy podnośnik a metalowe wsporniki konstrukcji (rys. 2).



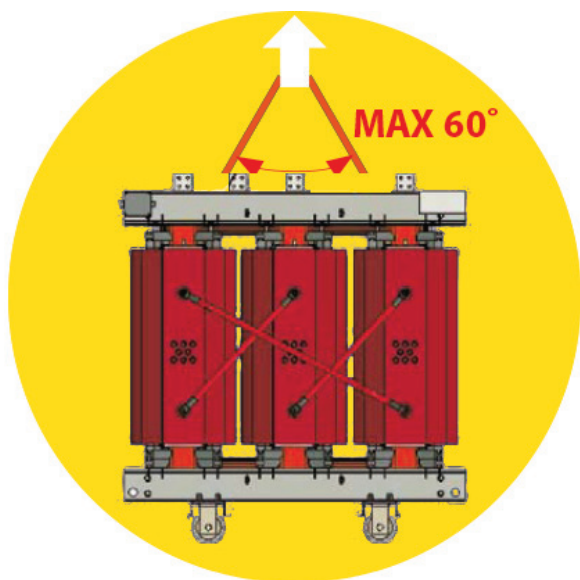
rys. 1



rys. 2

UWAGA!

Kategorycznie zabrania się podnoszenia transformatora za uzwojenia lub rdzeń magnetyczny!



rys. 3

2.3 Podnoszenie

Do podnoszenia transformatora używa się wyłącznie uch transportowych umieszczonych w górnej części konstrukcji nośnej.

Liny lub pasy powinny być na tyle długie, aby kąt między nimi a pionem nie przekraczał 60° (rys.3).

Dzięki temu ciężar jest równomiernie rozłożony, a ryzyko uszkodzeń mechanicznych minimalne. Wskazane jest stosowanie pasów lub lin z miękkim oplotem, które nie porysują powierzchni konstrukcji.

2.4 Magazynowanie

Transformator suchy przeznaczony jest do instalacji wewnętrznych, dlatego nie może być przechowywany na otwartej przestrzeni. Jeżeli urządzenie nie jest montowane bezpośrednio po dostawie, zaleca się pozostawienie go w oryginalnym opakowaniu. Chroni to transformator przed gromadzeniem się kurzu i zanieczyszczeń.

2.5 Wysokość instalacji

O ile w zamówieniu nie określono inaczej, maksymalna wysokość posadowienia transformatora odpowiada wymaganiom odpowiednich norm i wynosi 1000 m n.p.m.

2.6 Temperatura otoczenia

Temperatura środowiska pracy powinna spełniać wymagania określone w normie ECI, w szczególności:

- ♦ maksymalna temp. powietrza chłodzącego transformator: 40°C,
- ♦ maksymalna średnia dobową: 30°C,
- ♦ maksymalna średnia roczna: 20°C,
- ♦ temperatura transportu i składowania: do -25°C.

3. Instalacja

Transformatory suche przeznaczone są do instalacji wewnętrznych. Jeżeli stopień ochrony obudowy wynosi IP00, urządzenie należy umieścić w suchym, wydzielonym pomieszczeniu, w którym nie występuje ryzyko wycieku wody.

Przy montażu transformatora należy zawsze stosować się do poniższych zaleceń:

- ♦ Uziemić wszystkie nieprzewodzące części metalowe za pomocą dedykowanego punktu uziemienia, zawsze oznaczonego przez producenta.

- ♦ Uziemić punkt neutralny, jeśli jest dostępny, zgodnie z wymogami systemu ochrony przed zwarcieziemnym.
- ♦ Sprawdzić prawidłowe podłączenie i podparcie przewodów, a także zachować wymagane odległości od powierzchni uzwojeń zgodnie z Tabelą A.
- ♦ Zapewnić solidne mocowanie transformatora do podłoża oraz unikać obecności luźnych elementów metalowych w pobliżu, aby nie dochodziło do drgań podczas pracy urządzenia.
- ♦ W przypadku transformatorów z podwójnym napięciem pierwotnym lub wtórnym, upewnić się, że ustawiono właściwą wartość odpowiadającą napięciu zasilania lub wymaganemu napięciu wyjściowemu.
- ♦ Sprawdzić, czy zaczepty regulacyjne ustawiono na wartości odpowiadającej napięciu sieci. W razie konieczności zmiany należy postępować zgodnie z tabliczką znamionową transformatora oraz wskazówkami zawartymi w rozdziale: „Uruchomienie – Regulacja napięcia wejściowego” (str. 17).
- ♦ Podłączyć system monitorowania temperatury zgodnie z dołączonym schematem.
- ♦ Upewnić się, że w pobliżu transformatora nie znajdują się żadne ciała obce (np. śruby, podkładki, elementy metalowe).
- ♦ Sprawdzić, czy uzwojenia SN i nN są prawidłowo współosiowe oraz czy gumowe bloki dystansowe są właściwie osadzone i dokręcone.

3.1 Instalacja transformatora wewnątrz stacji

Każdy element transformatora suchego należy traktować jako część znajdującą się pod napięciem – **absolutnie zabroniony jest kontakt z urządzeniem podczas jego pracy.**

Z tego powodu transformator powinien znajdować się w wydzielonym pomieszczeniu (-> Tabela B).

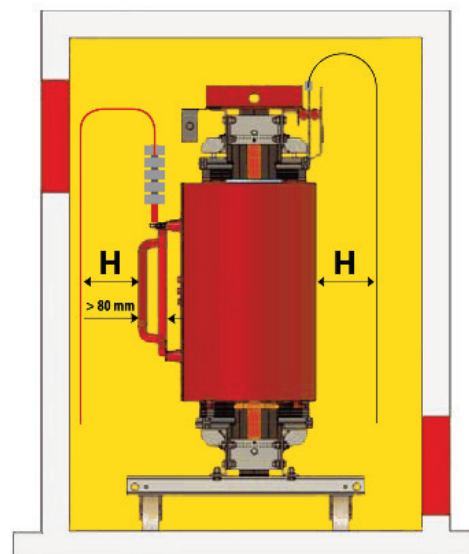
Dostęp do tego pomieszczenia powinien być możliwy wyłącznie przez drzwi blokowane mechanicznie z wyłącznikiem SN, tak aby otwarcie drzwi automatycznie odłączało napięcie.

Podczas ustawiania transformatora należy zachować minimalne odległości bezpieczeństwa wskazane w Tabelach A i B – zarówno pomiędzy uzwojeniami a ścianami, jak i pomiędzy przewodami SN/nN a uziemionymi elementami.

Wszystkie elementy metalowe, takie jak kanały kablowe czy wsporniki, muszą być umieszczone w odległości wymaganej przez klasę izolacji, w odniesieniu do napięcia znamionowego izolacji (U_m) transformatora oraz typu ścian stacji.

Powierzchnie uzwojeń należy traktować jako „części czynne”:

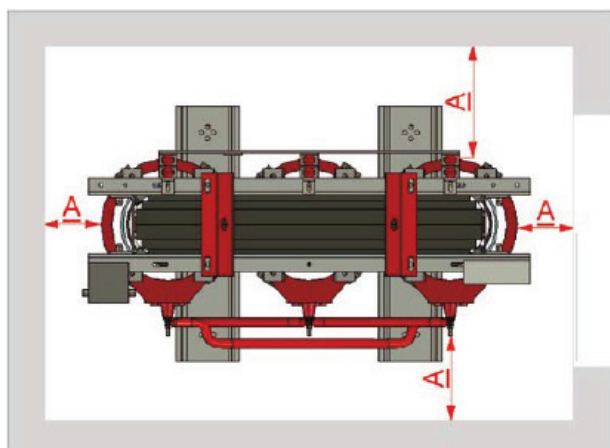
ZACHOWAJ ODSTĘPY BEZPIECZEŃSTWA!



rys. 4

Tab. A – Minimalne odległości izolacyjne

U_m (kV)	12	17,5	24	36
Odległość (mm)	120	220	220	320



rys.5

Tab. B – Minimalne odległości w pomieszczeniu stacyjnym

U_m (kV)	12	17,5	24	36
A (mm) – pełna część	120	220	220	300
A (mm) – część ograniczona	300	300	300	320

3.2 Zasady instalacji układu monitorowania temperatury i czujników

Aby zapewnić prawidłową i niezawodną pracę systemu kontrolującego temperaturę transformatora suchego, należy stosować się do poniższych wytycznych dotyczących montażu jednostki monitorującej oraz czujników.

Zasilanie

Jednostka monitorująca temperaturę powinna być zasilana odpowiednim napięciem, zgodnym z danymi podanymi w instrukcji. W przypadku, gdy zasilanie odbywa się bezpośrednio z uzwojenia wtórnego transformatora, urządzenie może zostać uszkodzone przez przepięcia o dużej intensywności. W takiej sytuacji zaleca się zastosowanie ogranicznika przepięć lub transformatora separacyjnego.

Podłączenie czujników PT100

Dla prawidłowego podłączenia czujników należy przestrzegać następujących zasad:

- ♦ Każdy czujnik PTC/PT100 powinien być podłączony przewodem trzyżyłowym o przekroju minimalnym $0,35 \text{ mm}^2$ i maksymalnym 1 mm^2 .
- ♦ Przewody przedłużające muszą być ekranowane opłotem miedzianym cynowanym, pokrywającym minimum 80%.
- ♦ Żyły przewodu powinny być skręcone.
- ♦ Ekran kabla należy uziemić tylko z jednej strony, najlepiej po stronie jednostki monitorującej.
- ♦ Przewody sygnałowe czujników PTC/PT100 nie powinny być prowadzone w pobliżu kabli energetycznych, zarówno niskiego, jak i średniego napięcia.
- ♦ Przewody sygnałowe czujników PTC/PT100 należy prowadzić linowo, bez splątań i zakłóceń.
- ♦ Zaciski muszą być dobrze dokręcone, aby uniknąć przerw w kontakcie mogących powodować błędne odczyty temperatury.
- ♦ Końcówki przewodów powinny być prawidłowo zaprasowane, aby zapobiec luzom i fałszywym połączeniom.

♦ Jednostki monitorujące nie należy instalować w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń DC/AC lub AC/DC.

Dodatkowe informacje i szczegółowe schematy instalacyjne znajdują się w dedykowanej instrukcji montażu jednostek kontrolnych i czujników.

4. Zabezpieczenia transformatora

4.1 Zabezpieczenie przed przepięciami

W przypadku wystąpienia przepięć w sieci zasilającej transformator suchy zaleca się zastosowanie ograniczników przepięć. Urządzenia te odprowadzają do ziemi wszelkie impulsy napięciowe pojawiające się w systemie.

Dobór typu ogranicznika powinien być uzależniony od parametrów sieci oraz wymaganych charakterystyk ochrony.

4.2 Zabezpieczenie przed przeciążeniami

Transformator wymaga zastosowania zabezpieczeń chroniących go przed skutkami cieplnymi i dynamicznymi prądów zwarciovych.

W przypadku zwarcia transformator powinien być zabezpieczony wyłącznikiem automatycznym wyposażonym w człon nadprądowy, który zadziała w wymaganym czasie. Należy jednak uwzględnić także możliwość występowania przeciążeń chwilowych.

4.3 Połączenia elektryczne i zaciski / momenty dokręcania

Połączenia elektryczne oraz elementy mocujące należy dokręcać zgodnie z wartościami momentów podanych w następujących tabelach
→

(*1 Nm $\approx$ 0,1 kgm)

Połączenia elektryczne	
Typ śruby	Moment dokręcania [Nm]*
M6	5
M8	11
M10	25
M12	40
M14	60
M16	85

Połączenia mechaniczne	
Typ śruby	Wartość momentu [Nm]*
M12	85
M14	135
M16	210
M18	290
M20	410
M22	560
M24	710
Współczynnik tarcia: 0,14	

5. Chłodzenie transformatora

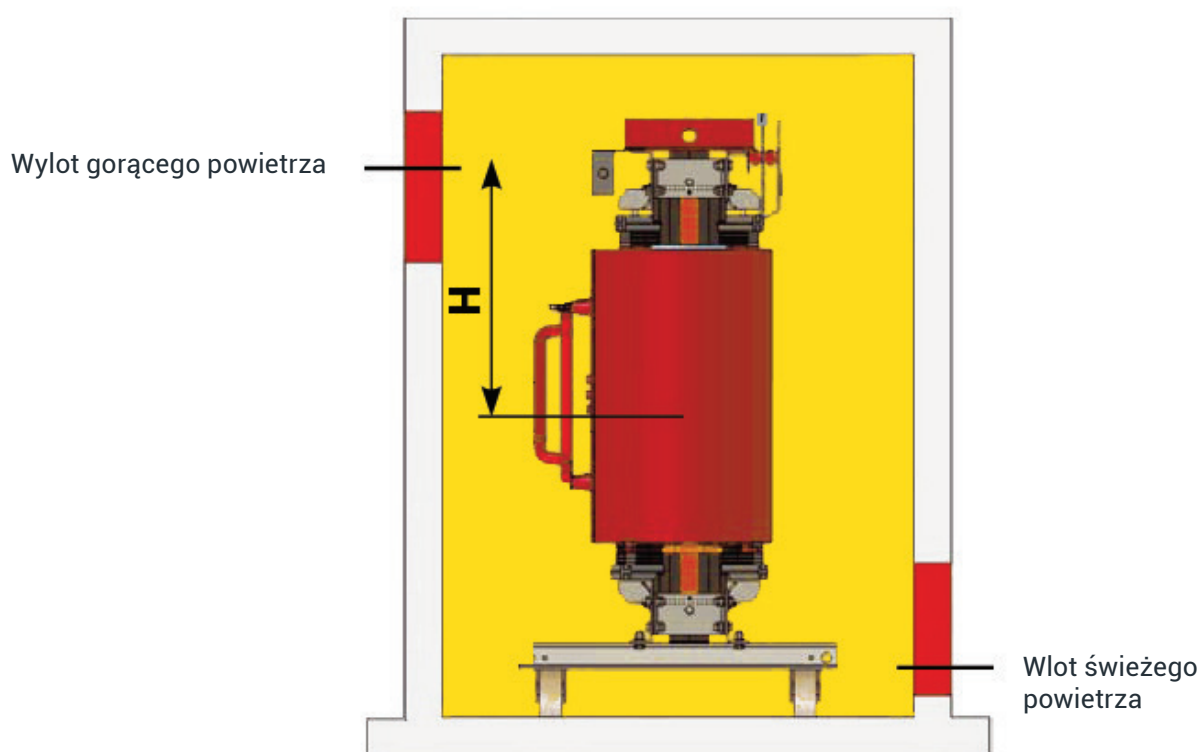
Aby zapobiec niewłaściwemu chłodzeniu, które mogłoby doprowadzić do nieodwracalnych uszkodzeń transformatora suchego, ciepło generowane zarówno przez straty jałowe w rdzeniu magnetycznym, jak i przez straty obciążeniowe w uzwojeniach podczas pracy, musi być w pełni odprowadzone.

Przegrzewanie może wystąpić, jeśli transformator zostanie zainstalowany w małym pomieszczeniu i/lub przy niewystarczającym dopływie

powietrza w stosunku do rzeczywistych wymagań, albo gdy zostanie ustawiony w sposób nieprawidłowy. W takich przypadkach wymianę powietrza można poprawić przez zastosowanie wymuszonej wentylacji – np. za pomocą wentylatorów lub wyciągów w górnej części stacji oraz kanału wlotowego w dolnej.

Przy naturalnej cyrkulacji wlot powietrza zawsze powinien znajdować się w dolnej części pomieszczenia, na wysokości nie większej niż dolna krawędź uzwojenia SN. Dzięki temu powstaje efekt kominowy, który umożliwia przepływ powietrza w kanale między uzwojeniami SN i nN. Jeżeli usunięto kółka transportowe, transformator należy unieść nad poziom podłogi tak, aby uzyskać odpowiednią wysokość i zapewnić prawidłowy przepływ powietrza.

Jeśli chodzi o otwory wentylacyjne, dolny powinien znajdować się przy podłodze, natomiast górny powinien mieć pole przekroju większe o 10–15% w stosunku do dolnego, co pozwala na odprowadzenie większej objętości nagrzanego powietrza i zapobiega jego gromadzeniu się.



rys. 6

Obliczenia wymaganej wentylacji:

Oznaczenia:

P_t – całkowite straty do odprowadzenia [kW]

ΔO – gradient temperatury powietrza [°C] między wlotem i wylotem

Q – strumień powietrza [m³/s]

H – odległość [m] między osią transformatora a osią otworu wentylacyjnego

S – powierzchnia czynna otworu dolnego [m²] (bez kratki)

Strumień powietrza wymagany do poprawnego chłodzenia oblicza się według wzoru:

$$Q = P_t / (1,15 \times \Delta O) \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Powierzchnia czynna otworu dolnego obliczana jest następująco:

$$S = 10,752 \times (P_t / \sqrt{(H \times \Delta O^3)}) \text{ [m}^2\text{]}$$

Należy unikać sytuacji:

- ♦ temperatura powietrza chłodzącego wyższa niż wartości określone w normach lub projekcie,
- ♦ instalacja transformatora w małych pomieszczeniach, których ściany są nasłonecznione,
- ♦ instalacja w środowiskach, gdzie znajdują się urządzenia emitujące dodatkowe ciepło,
- ♦ instalacja w pomieszczeniach o słabej wentylacji, gdzie wymiana powietrza jest niewystarczająca (czasem można to skompensować montażem systemów wymuszonej wentylacji),
- ♦ ustawienie transformatora poza naturalnym przepływem powietrza – powietrze chłodzące powinno zawsze przepływać od dołu ku górze, przyjmując oś transformatora jako punkt odniesienia.

6. Uruchomienie

6.1 Uziemienie transformatora

Należy sprawdzić, czy transformator suchy jest uziemiony za pomocą płyt i odpowiednich taśm uziemiających, zgodnie z obowiązującymi normami.

6.2 Podłączenie

Przed uruchomieniem sprawdzić uzwojenia pod kątem ewentualnych uszkodzeń lub przesunięć powstałych w wyniku transportu i manipulacji. Należy również sprawdzić, czy bloki dystansowe są poprawnie osadzone i dokręcone.

Skontrolować połączenia elektryczne oraz momenty dokręcenia śrub zarówno po stronie SN, jak i nN. W przypadku przewodów nN należy upewnić się, że są one odpowiednio podparte przez płyty wsporcze.

Żaden przewód uziemiający ani połączenie nie powinny przebiegać zbyt blisko części czynnych czy powierzchni uzwojeń (dla minimalnych odległości należy odnieść się do **tabeli A na str. 10**). Trzeba również zapewnić ciągłość elektryczną pomiędzy wszystkimi elementami wymagającymi uziemienia.

Jeśli transformator jest wyposażony w układy kontroli temperatury (termometry, elektroniczne jednostki kontrolne), należy sprawdzić prawidłowość ustawień progów alarmowych i wyłączających oraz zweryfikować poprawność działania.

Dodatkowo trzeba upewnić się, że kanały chłodzące nie są zablokowane.

Klasa izolacji i zakres pracy:

Klasa **F**: od -25°C do 120°C (alarm 130°C , wyłączenie 140°C)

Klasa **B**: od -25°C do 140°C (alarm 110°C , wyłączenie 120°C)

6.3 Czyszczenie

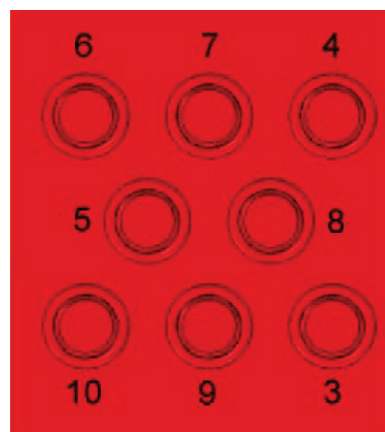
Jeśli transformator był składowany w zapyłonym środowisku przez dłuższy czas, należy go dokładnie oczyścić. Kurz z uzwojeń usuwa się sprężonym powietrzem o niskim ciśnieniu oraz suchymi, niestrzępiącymi się tkaninami.

6.4 Regulacja napięcia wejściowego

Operację tę należy wykonywać przy transformatorze odłączonym od obciążenia.

Zmiany napięcia zasilającego (w zakresie $\pm 5\%$ gwarantowanym przez dostawcę energii) można skorygować za pomocą zaczepów, aby uzyskać właściwy stosunek napięć. Standardowo dostępnych jest pięć odczepów ($\pm 2 \times 2,5\%$).

Jeżeli napięcie średniego napięcia na wejściu różni się od wartości znamionowej, należy postępować zgodnie z instrukcjami umieszczonymi na tabliczce znamionowej transformatora, aby uzyskać wartość jak najbliższą dostarczanej przez zakład energetyczny. Wszystkie zaczepty powinny być ustawione równomiernie.



rys. 7

6.5 Załączenie

Po wykonaniu wszystkich kontroli i upewnieniu się, że do wnętrza transformatora nie dostały się ciała obce (między uzwojeniami SN i nN, między uzwojeniem nN a rdzeniem, czy w rejon połączeń SN/nN), należy załączyć wyłącznik po stronie SN przy transformatorze bez obciążenia.

Następnie obciążenie włącza się od strony nN za pomocą odpowiedniego wyłącznika.

6.6 Praca równoległa

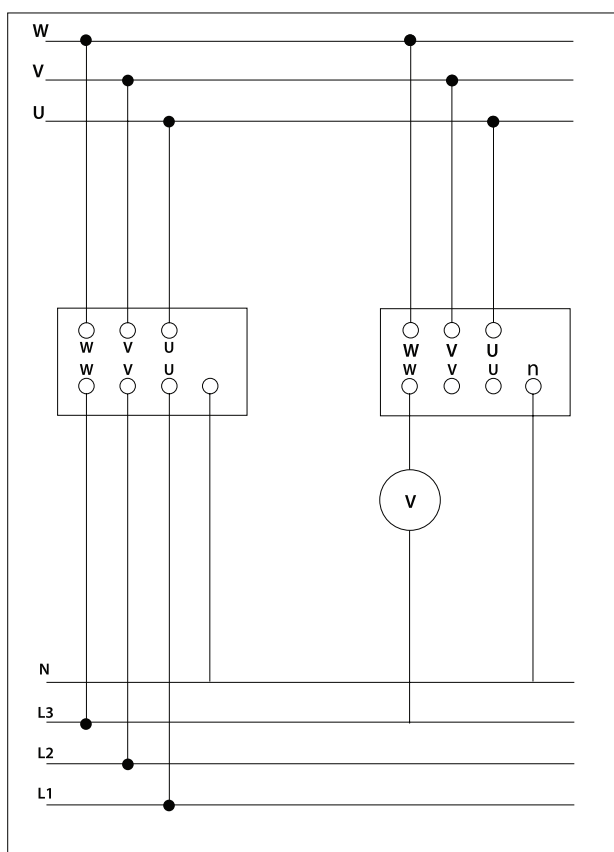
Dla poprawnej pracy równoległej transformatorów muszą być spełnione następujące warunki:

1. Identyczny stosunek przekładni przy wszystkich położeniach zaczepów;

2. Zgodność grupy wektorowej;

3. Zgodność napięcia zwarcia i mieści się ono w tolerancjach dopuszczonych przez normy IEC.

Normy zalecają łączenie równoległe transformatorów, których stosunek mocy nie przekracza 1:2 – należy to uwzględnić przy doborze jednostek.



rys. 8

Przed zamknięciem połączenia równoległego należy sprawdzić, czy przewody SN i nN są poprawnie fazowane, a wszystkie mostki przełączające na skrzynkach przyłączeniowych ustawione w tych samych pozycjach. Dzięki temu każda faza i każdy transformator będą zasilane jednakowym napięciem i na wyjściu uzyskany zostanie prawidłowy stosunek napięć.

Aby to potwierdzić, stosuje się metalowy mostek łączący uzwojenia wtórne transformatorów, umożliwiający porównanie napięć fazowych.

Zaleca się, by mostek ten wykonywać w obecności przewodu neutralnego. Do weryfikacji należy użyć woltomierza – jeśli pomiary napięcia pomiędzy fazami (uL1, vL2, wL3) wskazują zero, oznacza to spełnienie warunków pracy równoległej i można zamknąć wyłączniki nN.

7. Konserwacja

Transformator suchy z uzwojeniami zalewanymi żywicą epoksydową wymaga minimalnych czynności konserwacyjnych. Niemniej jednak należy wykonywać określone kontrole, których częstotliwość zależy od warunków środowiskowych i eksploatacyjnych.

W czystych i suchych pomieszczeniach oraz przy standardowych warunkach pracy inspekcje mogą być przeprowadzane w dłuższych odstępach czasu. Zaleca się jednak co najmniej **jedną kontrolę rocznie**.

W przypadku instalacji zlokalizowanych w środowisku szczególnie zapyłonym, zabrudzonym lub narażonych na zmienne obciążenia i częste skoki mocy, okresy pomiędzy kontrolami powinny być skrócone.

Podczas prac konserwacyjnych:

- ♦ do usuwania kurzu z uzwojeń należy stosować suche tkaniny oraz sprężone powietrze,
- ♦ należy sprawdzić, czy kanały chłodzące pomiędzy uzwojeniami SN i nN oraz pomiędzy uzwojeniem nN a rdzeniem nie są zatkane,
- ♦ należy zweryfikować, czy przewody są właściwie zamocowane w zaciskach z momentem dokręcenia zgodnym z wymaganiami,
- ♦ należy skontrolować, czy połączenia na odczepach napięciowych zostały dokręcone do właściwego momentu,
- ♦ należy upewnić się, że bloki dystansowe uzwojeń są osadzone poprawnie i dokręcone.

Wszystkie wymienione elementy mogą poluzować się wskutek chwilowych przeciążeń lub drgań magnetycznych rdzenia występujących podczas pracy transformatora.

Zdarza się również, że transformator absorbuje wilgoć z różnych przyczyn. W takiej sytuacji wymagane jest przeprowadzenie procesu osuszania oraz sprawdzenie rezystancji izolacji przed ponownym załączeniem urządzenia.

Średnią wartość rezystancji izolacji należy zmierzyć przy użyciu megaomierza. Pomiarów dokonuje się:

- ♦ pomiędzy każdą fazą nN a ziemią,
- ♦ pomiędzy uzwojeniami SN i nN,
- ♦ pomiędzy uzwojeniami SN a ziemią.

8. Harmonogram konserwacji

W środowiskach o podwyższonej wilgotności zaleca się stosowanie czujników monitorujących wilgotność względną powietrza w pomieszczeniu stacyjnym. Nadmierna wilgoć może prowadzić do stopniowego obniżenia wytrzymałości dielektrycznej materiałów izolacyjnych, co w skrajnych przypadkach wymaga przeprowadzenia procesu suszenia transformatora.

W praktyce eksploatacyjnej suchych transformatorów coraz częściej stosuje się okresowe **pomiary rezystancji izolacji metodą DAR** (*Dielectric Absorption Ratio*) i **PI** (*Polarization Index*). Pozwala to ocenić nie tylko stan izolacji w danym momencie, lecz także jej zdolność do regeneracji po przyłożeniu napięcia stałego.

Warto również uwzględnić badania termowizyjne, wykonywane podczas pracy pod obciążeniem. Analiza rozkładu temperatur na powierzchni uzwojeń i połączeń SN/nM umożliwia wczesne wykrycie punktów o podwyższonej rezystancji kontaktowej lub nieprawidłowej wentylacji.

Dodatkową, dobrą praktyką serwisową jest kontrola luzów mechanicznych w elementach wsporczych uzwojeń. Nawet niewielkie odkształcenia mogą, przy długotrwałych drganiach magnetycznych, prowadzić do powstania mikropęknięć w żywicy i obniżenia parametrów izolacyjnych.

Na kolejnej stronie przedstawiono zalecane czynności kontrolne oraz okresy ich wykonywania.

Częstotliwość inspekcji może być dostosowana do warunków pracy i środowiska instalacji.

Tabela – harmonogram konserwacji

Czynność	Częstotliwość	Wynik / metoda
Kontrola termorezystorów	raz w roku oraz po każdej interwencji serwisowej	pomiar ciągłości elektrycznej testerem
Sprawdzenie skuteczności urządzeń zabezpieczających przy przeciążeniu	zgodnie z planem przeglądów	zgodnie z instrukcją producenta
Usuwanie zabrudzeń i ciał obcych z uzwojeń	co 6 miesięcy oraz po każdym postoju	czyszczenie sprężonym powietrzem i suchą szmatką
Kontrola śrub zaciskowych SN/nN oraz połączeń gwiazda/trójkąt	raz w roku oraz po każdej interwencji serwisowej	dokręcanie zgodnie z tabelą momentów (rozdz. 4.3) przy użyciu klucza dynamometrycznego
Kontrola śrub i nakrętek mocujących transformator do podłoża	raz w roku oraz po każdej interwencji serwisowej	pomiar ciągłości elektrycznej testerem
Kontrola izolacji pomiędzy uzwojeniami oraz pomiędzy uzwojeniami a ziemią (w przypadku dłuższego postoju)	po długotrwałym okresie nieużywania	SN–ziemia $\geq 250 \text{ M}\Omega$, nN–ziemia $\geq 50 \text{ M}\Omega$, SN/nN $\geq 250 \text{ M}\Omega$ (pomiar megaomierzem o napięciu $\geq 1000 \text{ V}$)
Kontrola momentu dokręcania bloków dystansowych uzwojeń	raz w roku oraz po każdej interwencji serwisowej	moment dokręcania 10–15 Nm (klucz dynamometryczny)

9. Awarie i wstępne prace naprawcze

W przypadku wystąpienia nieprawidłowości w pracy transformatora suchego należy przeprowadzić podstawowe czynności diagnostyczne i naprawcze. Kluczowe jest rozpoczęcie od obserwacji objawów – zarówno elektrycznych, jak i mechanicznych – ponieważ wiele usterek daje wcześnie sygnały w postaci nietypowych dźwięków, lokalnych wzrostów temperatury czy zapachu przegrzanej izolacji.

Do działań pierwszej kolejności należy zaliczyć:

- ♦ kontrolę rezystancji izolacji pomiędzy uzwojeniami SN/nn i ziemią,
- ♦ oględziny wizualne w poszukiwaniu przebarwień, spękań żywicy lub poluzowanych elementów konstrukcyjnych,
- ♦ sprawdzenie poprawności pracy urządzeń zabezpieczających i monitorujących temperaturę.

W praktyce serwisowej warto także wykonać badania uzupełniające, takie jak **pomiar współczynnika strat dielektrycznych $\tan\delta$** czy inspekcję termowizyjną, które pozwalają na wykrycie defektów jeszcze przed ich eskalacją.

Na kolejnej stronie zestawiono typowe usterki, ich możliwe przyczyny oraz zalecane działania korygujące. W przypadku wystąpienia nieprawidłowości w pracy transformatora suchego należy przeprowadzić podstawowe czynności diagnostyczne i naprawcze.

Tabela – typowe uszkodzenia i działania korygujące

Usterka	Prawdopodobna przyczyna	Zalecane działanie
Niska rezystancja izolacji	obecność zanieczyszczeń, wilgoć w izolacji	oczyścić sprężonym, suchym powietrzem; osuszyć przez wentylację
	uszkodzenie dielektryczne wskutek starzenia lub zanieczyszczeń	kontakt z producentem
Wyzwolenie automatycznego wyłącznika	problem z izolacją uzwojenia SN	kontakt z producentem
	zmiana napięcia; napięcie w uzwojeniu pierwotnym różni się od wartości na skrzynce zaciskowej	sprawdzić pozycję zaczepów napięciowych i ustawić zgodnie z linią zasilającą
	nastawa czasu i prądu przełącznika nieodpowiednia	zweryfikować nastawy i dostosować wartości progowe
Nieprawidłowa wartość napięcia wtórnego	napięcie w obwodzie pierwotnym nie jest równe wartości nominalnej. Brak napięcia w obwodzie pierwotnym	skontaktować się z operatorem sieci dystrybucyjnej
	błędnie ustawione zaczepty napięciowe	ustawić zaczepty w prawidłowej pozycji

10. Lista kontrolna instalacji transformatora

Numer seryjny:

Data:

Kontrola / czynność	Wynik		Uwagi
Sprawdzenie braku ciał obcych (śrub, podkładek, opiłków metalu itp.)			
Weryfikacja prawidłowych odległości izolacyjnych między częściami czynnymi transformatora a przewodami zasilającymi / elementami metalowymi obcymi (uzwojenia suche traktować jako części czynne)			
Sprawdzenie podparcia i zamocowania przewodów zasilających oraz szynoprzewodów – brak nadmiernych naprężeń na izolatorach i przewodnikach transformatora			
Kontrola prawidłowej instalacji i działania wszystkich obwodów pomocniczych, systemów zabezpieczeń oraz urządzeń wentylacyjnych			
Sprawdzenie prawidłowego uziemienia transformatora (oraz obudowy, jeśli jest dostarczona)			
Kontrola prawidłowości zastosowanych środków wentylacyjnych i ich działania			
Weryfikacja ustawienia odczepów napięcia jałowego na pozycjach zgodnych z projektem			
W przypadku pracy równoległej – sprawdzenie zgodności faz, napięć, grup wektorowych oraz wartości napięcia zwarcia			

NOTATKI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ENERGEKS

Transformatory Sp. z o.o.

ul. Święty Marcin 29/8,

61-806 Poznań, Polska

info@energeks.com

www.energeks.pl

NIP 783 186 78 05