



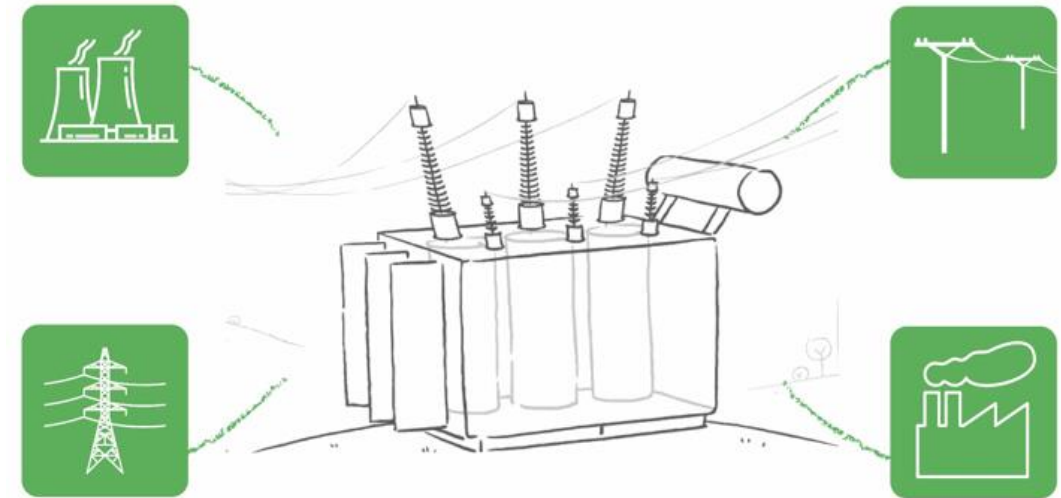
# Bezpieczne i efektywne suszenie izolacji transformatorów energetycznych

System ciągłego odwadniania transformatorów olejowych  
TRANSEC



# Transformator energetyczny - główny element systemu zaopatrzenia w energię

1. Najdroższy (!) sprzęt w kompleksie sieciowym
2. Zapewnia **niezawodność** i wydajność systemu zaopatrzenia w energię.



3. Niezawodność transformatora zależy od stanu elementów charakteryzujących jego zasoby i jest bezpośrednio związana z jego żywotnością.



# Przedłużenie zasobów sprzętu transformatora – zadanie aktualne

Rozwiązania:

1. Modernizacja i rekonstrukcja zużytych elementów.
2. Przywrócenie właściwości operacyjnych elementów charakteryzujących zasoby.

Zasób transformatora olejowego zależy od stanu systemu izolacji (olej i izolacja papierowa).



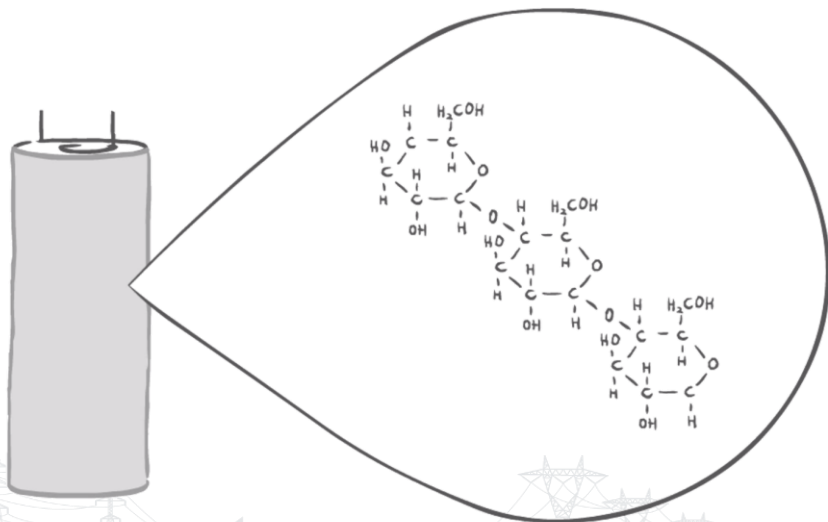
Izolacja celulozowa – “słabe ogniwo” transformatora:

- podlega starzeniu;
- wytrzymałości mechanicznej nie można przywrócić;
- koszt izolacji  $\approx 20\div 25\%$  kosztu transformatora



# Element charakteryzujący zasoby transformatora

- Jakość izolacji papierowej zależy od **STOPNIA POLIMERYZACJI** (SP), która jest średnią długością łańcucha celulozowego.
- SP izolacji nowego transformatora = od 1200 do 1300
- Eksploatacja kończy się, gdy SP = 250
- Szybkość degradacji papieru może być wysoka lub niska w zależności od warunków eksploatacji (jak również w ludzkim życiu)
- Czynniki przyspieszające degradację papieru: WILGOĆ, temperatura i tlen.



NOWA



STARA



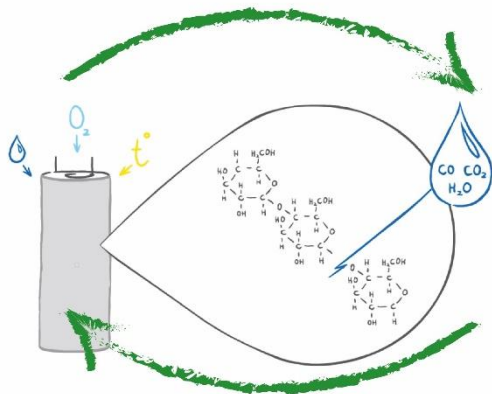


# Wilgoć w transformatorze: skąd pochodzi?

Nieszczelne uszczelki

Od 30 do 40%

Z powodu degradacji izolacji papierowej



Wpływ powietrza  
(Naprawa)

Od 70 do 60%

Przez zbiornik  
konserwatora

Im bardziej zmienia się obciążenie, tym więcej powietrza dostaje się do konserwatora. Ryzyko wilgoci wzrasta.

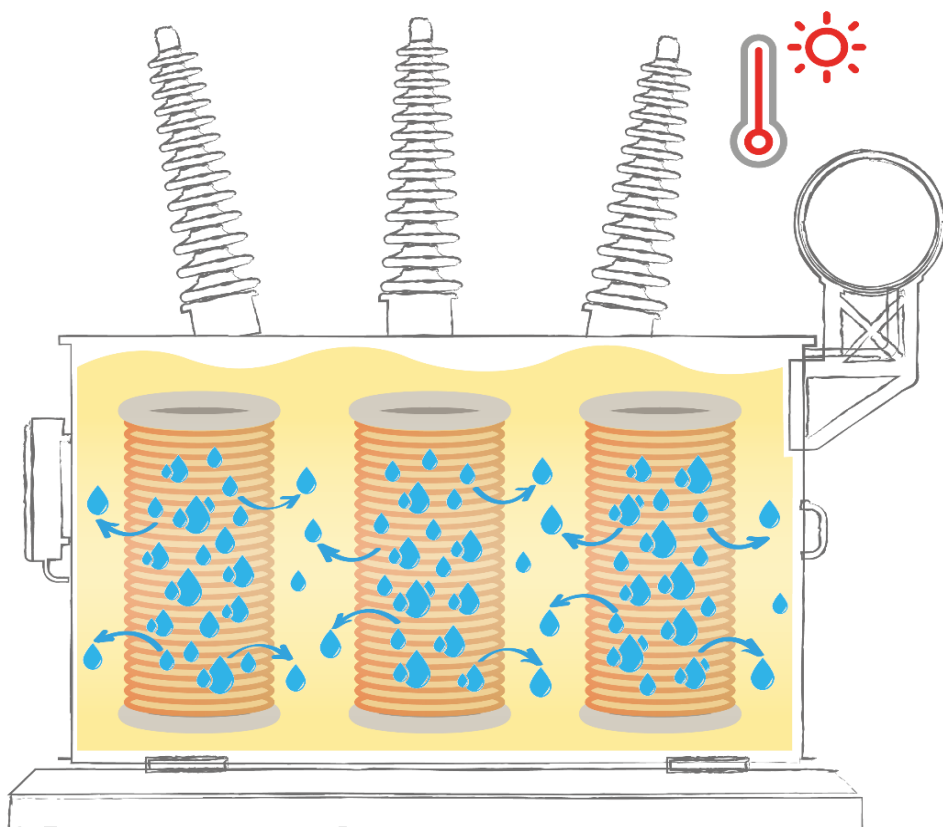
Jeśli powietrze zewnętrzne jest bardzo wilgotne (>80%), bardzo trudno jest go wysuszyć do 0%.

Silikażel nie pochłania 100% wilgoci. Pochłanianie wilgoci zależy od temperatury. W wysokich temperaturach poziom pochłaniania spada.

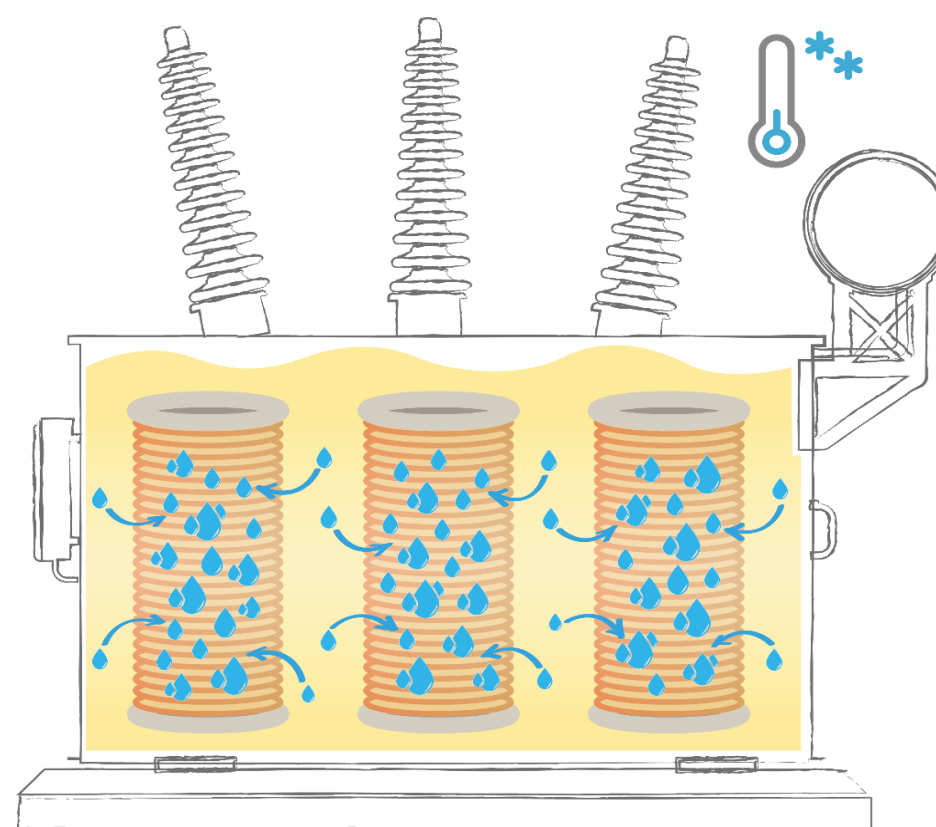


# Wilgoć w transformatorze: gdzie się znajduje?

## WZROST OBCIĄŻENIA



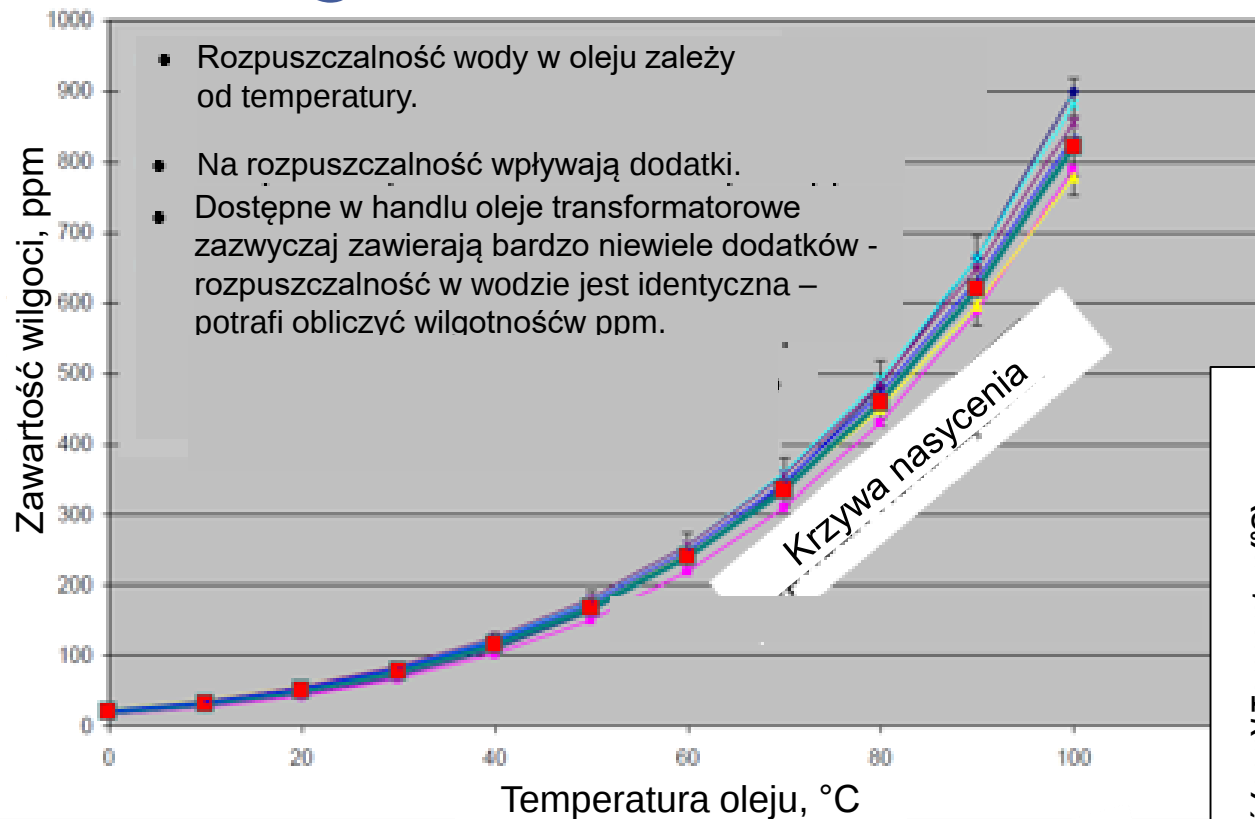
## REDUKCJA OBCIĄŻENIA



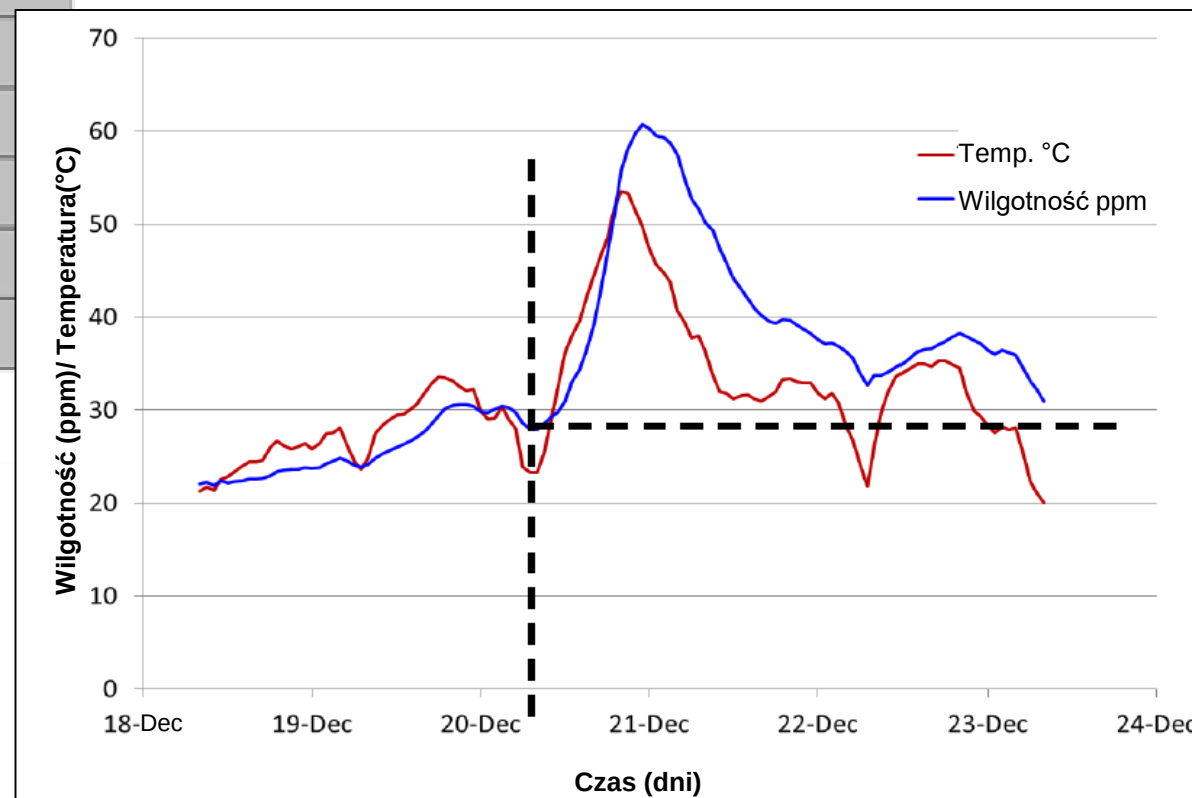
Migracja wody w systemie “olej-papier”



# Wilgoć w transformatorze: gdzie się znajduje?



**IM WYŻSZA JEST TEMPERATURA OLEJU, TYM WIĘCEJ WODY ROZPUSZCZONO W NIM**



**KRZYWA TEMPERATURY I KRZYWA WILGOTNOŚCI W TRANSFORMATORZE IDĄ JEDNA PO DRUGIEJ**



# Wilgoć w transformatorze: jak obliczyć ilość?

**1 PPM<sub>(V)</sub>** = 1 część na milion<sub>(według objętości)</sub> = 1 litr wody / 1,000,000 litrów oleju

Konieczne jest powiązanie zawartości wilgoci z temperaturą oleju (patrz poprzedni slajd).

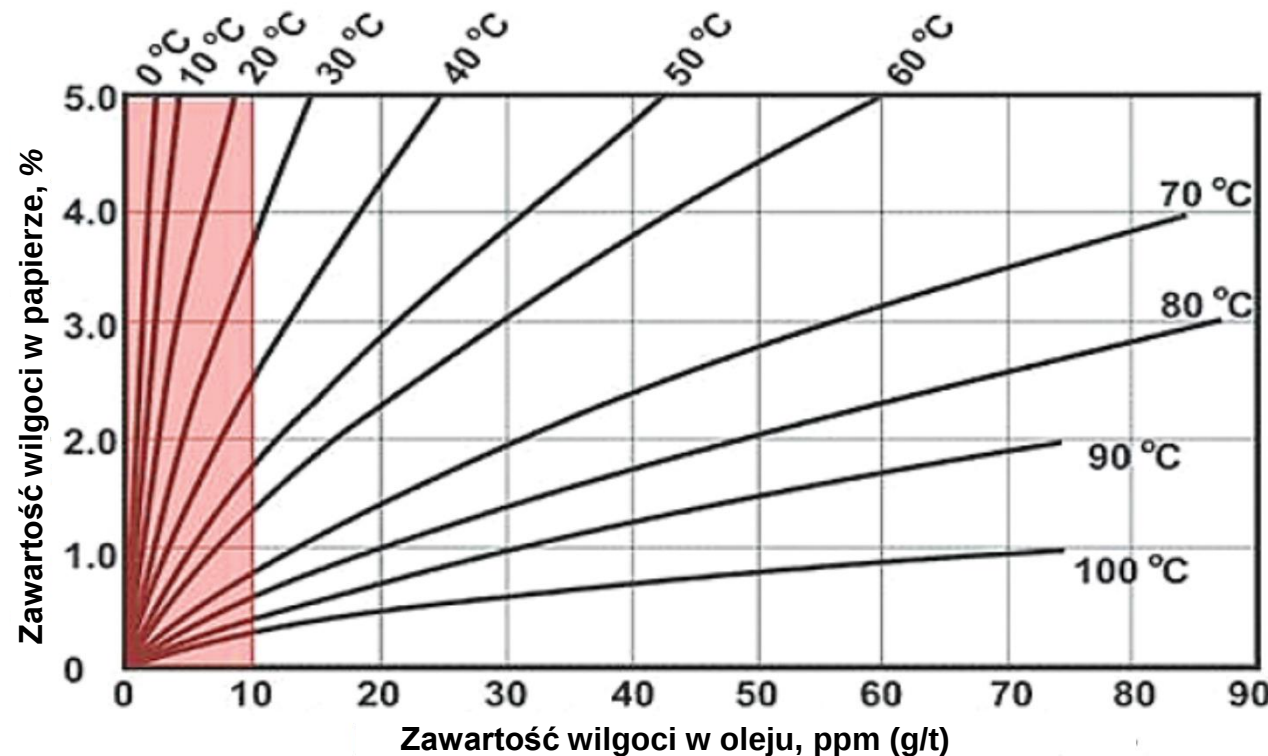
Dzięki tym informacjom można użyć krzywych równowagi do określenia wilgoci W PAPIERZE

Co jest gorsze?

25PPM w 70°C

lub

12PPM w 40°C?



# Wilgoć w transformatorze: jak określić jej ilość?

## PRZYKŁAD

Transformator 36 MVA

- 15 000 litrów oleju (13,2 tony)
- 1 500 kg izolacji papierowej
- Zawartość wilgoci w oleju - 12 PPM, 40°C - średnia temperatura oleju

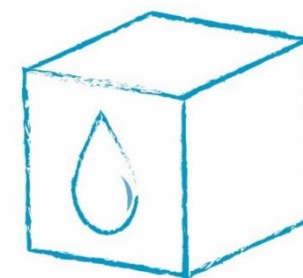
**12 PPM** wilgoci w oleju =  $0,000012 \times 13200$   
kg = 0,16 kg = 0,16 litrów wody

**2,7%\*** wilgotność papieru =  $2,7\% \times 1\,500$  kg  
= 40,5 kg = 40,5 litrów wody

**40.5 l**

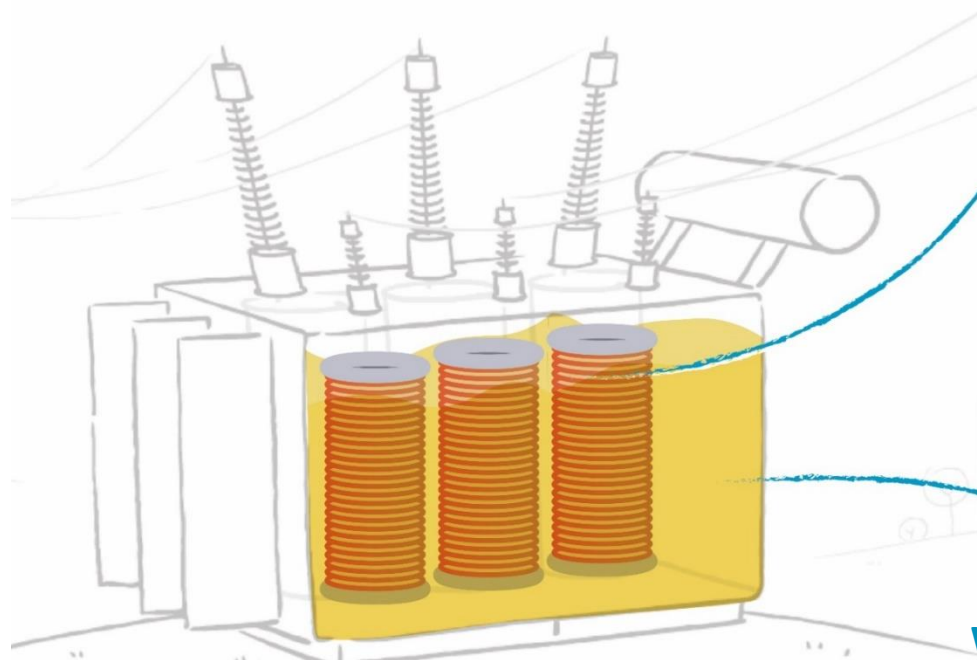
**W PAPIERZE**

(>98% całkowitej ilości wilgoci  
w transformatorze)



**0.16 l**  
**W OLEJU**  
**(<2%)**

*\* Zawartość wilgoci w papierze jest określona na podstawie krzywych równowagi*



# Wilgoć zmniejsza niezawodność

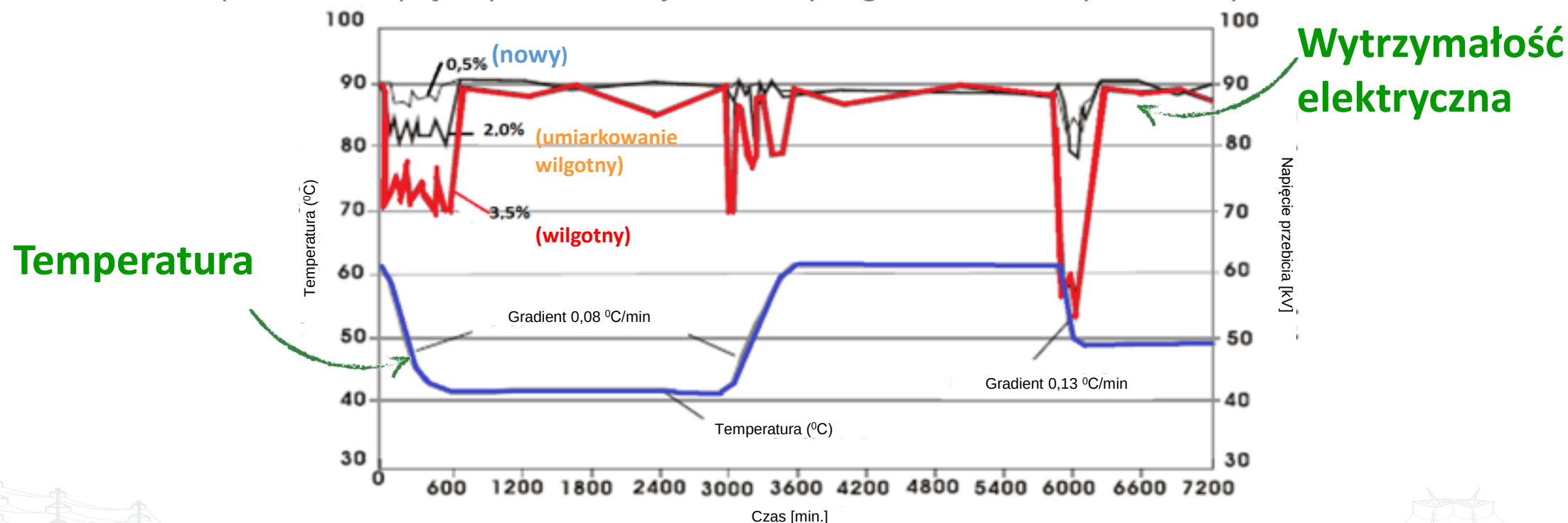
Wilgoć wpływa na **Wytrzymałość elektryczną** (napięcie przebicia)

Niska wytrzymałość elektryczna = **ryzyko uszkodzenia, wadliwego działania**, itd.

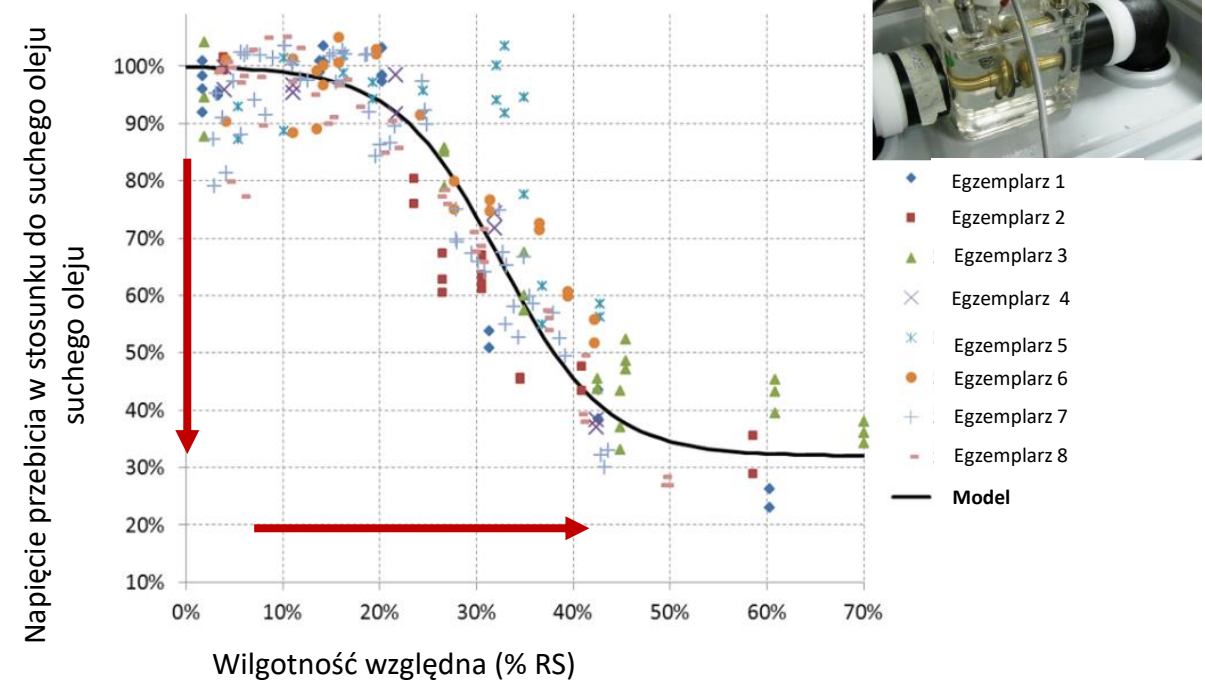
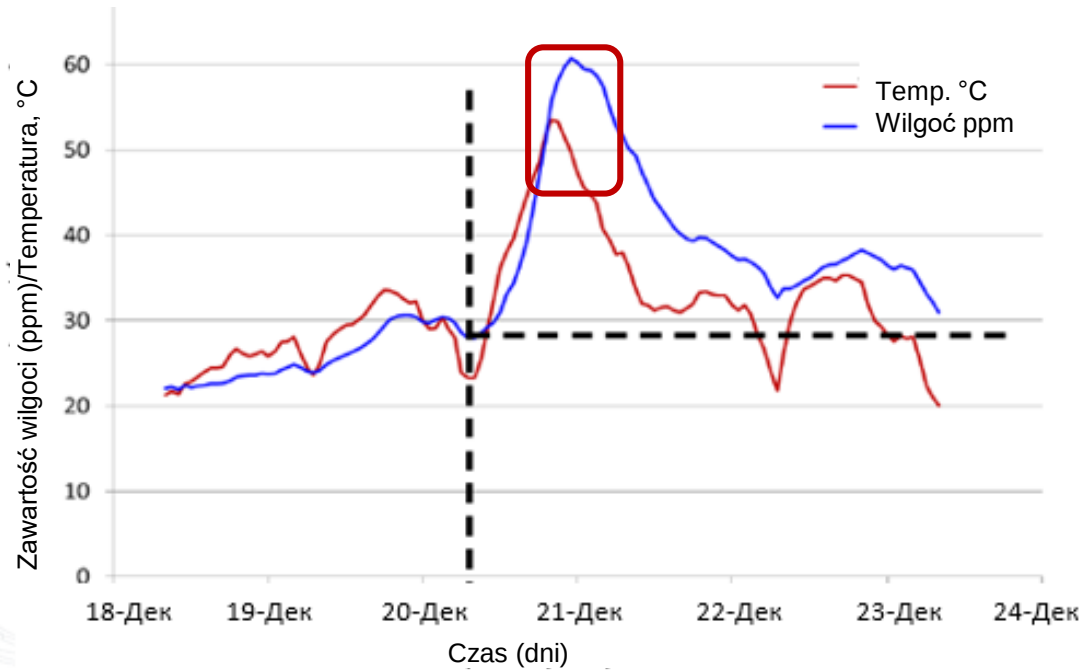
Zmiana temperatury = wilgoć migruje między papierem i olejem = **zmniejszenie wytrzymałości elektrycznej**

Im więcej wilgoci w transformatorze = tym większy jej wpływ na wytrzymałość elektryczną

Temperatura i napięcie przebicia oleju dla różnych gradientów temperaturowych



# Wilgoć zmniejsza niezawodność



- Kiedy  $T^\circ$  wzrasta, PPM wzrasta jednocześnie (woda migruje z papieru do oleju)
  - Kiedy  $T^\circ$  spada, PPM spada z pewnym opóźnieniem (woda migruje z oleju do papieru)
- Kiedy  $T^\circ$  spada, Wilgotność względna (%RS) wzrasta = Spada wytrzymałość elektryczna = Ryzyko wyładowania**

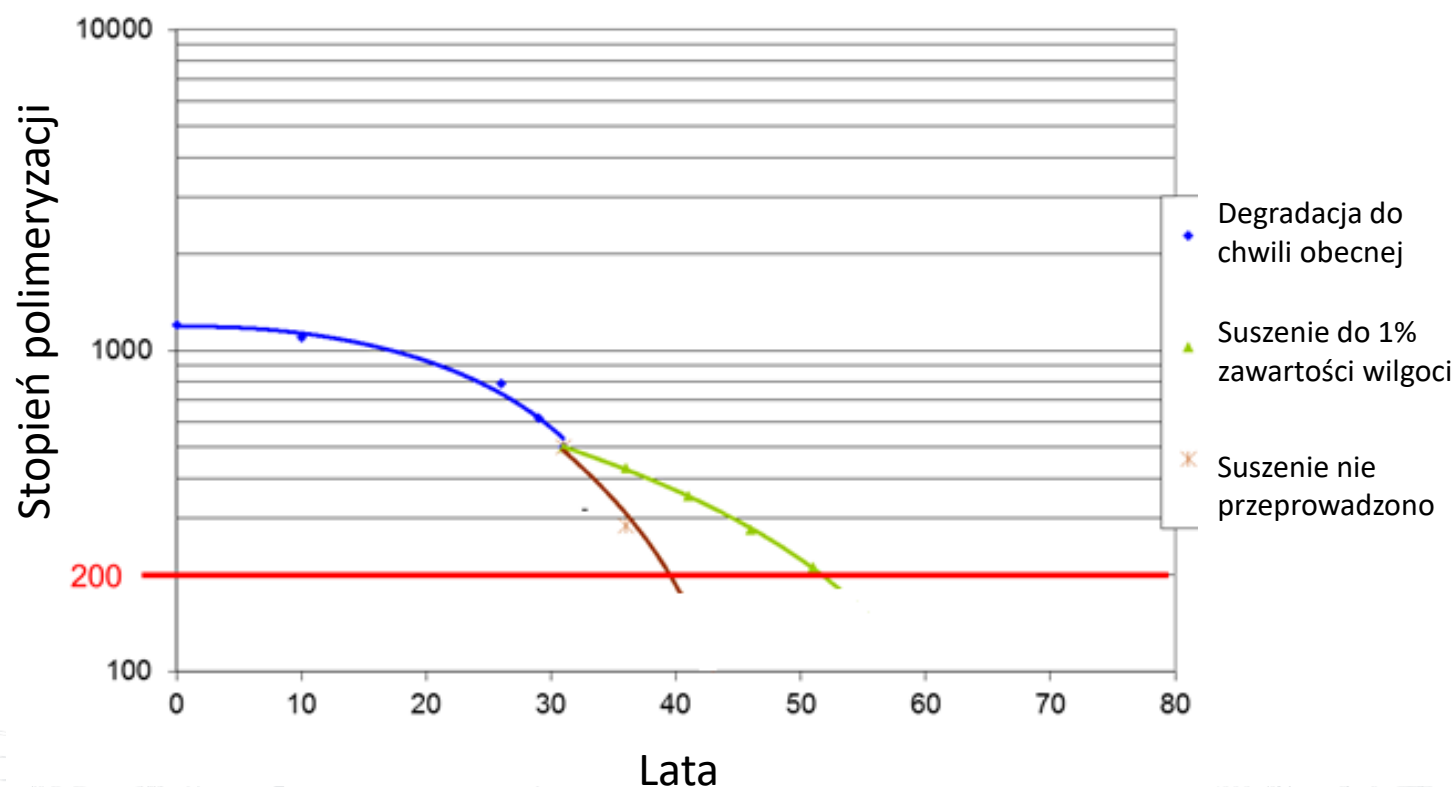




# Wilgoć skraca żywotność

- Wzrost wilgotności papieru o 1% podwaja szybkość depolimeryzacji.
- Każdy dodatkowy 1% wilgoci zmniejsza oczekiwaną żywotność 2 razy

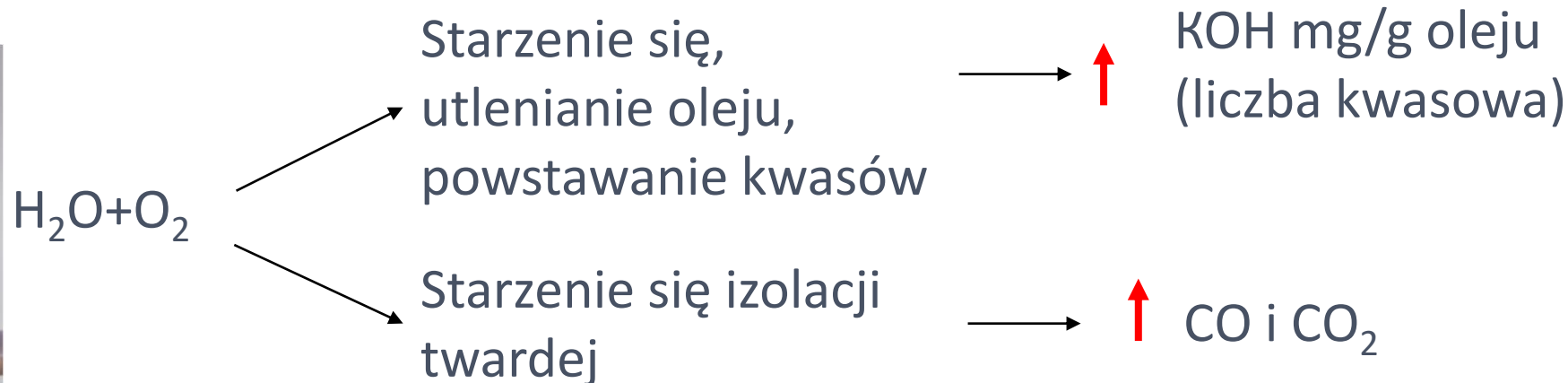
Modelowanie degradacji papieru przy stabilnym obciążeniu (temperaturze)



## Przykład:

- Transformator - żywotność 30 lat
- Przy wilgotności 3% - pozostała żywotność 10 lat
- Przy wilgotności 1% - pozostała żywotność 23 lata

# Wilgoć przyspiesza starzenie się oleju i zwiększa powstawanie gazów



$H_2O$  → Korozja, powstawanie rdzy → ↑  $H_2$

$H_2O$  + łuk elektryczny → Powstawania węgla → ↑ Zanieczyszczenia mechaniczne; ↓ Wytrzymałość elektryczna

$H_2O$  + zanieczyszczenia mech. → Wyładowania niezupełne, pełzające oraz inne → ↑ Gazy palne ( $H_2$ ;  $C_2H_2$ ;  $CH_4$ ;  $C_2H_6$ )

**Im więcej wilgoci znajduje się w transformatorze, tym intensywniejsze jest powstawanie gazów**

# Wymagania dokumentacji normatywnej i technicznej dotyczące zawartości wilgoci w izolacji twardej

- Dopuszczalna wartość zawartości wilgoci w izolacji twardej nowo wprowadzonych transformatorów oraz transformatorów po remoncie kapitalnym: nie więcej niż 1%; eksploatowanych transformatorów: nie więcej niż 2% według masy.
- Dla transformatorów, które wypracowali terminy określone w dokumentacji normatywnej i technicznej, dopuszczalna jest zawartość wilgoci w izolacji twardej transformatorów po remoncie kapitalnym: 2 %, eksploatowanych transformatorów: 4 % według masy.



# Rozwiązania dla suszenia transformatorów: Obieg oleju

- Online process (nie zawsze)
- Szybkość przepływu: kilka tysięcy litrów na godzinę

## ZALETY

- Niskie koszty
- Prosta technika
- Niskie koszty eksploatacji

## WADY

- Bardzo słabo osusza izolację papierową
- Zakłócenie przepływu oleju
- Zniekształcenie wskaźników rozpuszczonych gazów
- Długi czas suszenia
- Wymagane są krótsze interwały suszenia
- Specjalny sprzęt do ciągłego suszenia





# Rozwiązania dla suszenia transformatorów: Suszenie próżniowe i ogrzanie niskoczęstotliwościowe

- Wymaga **wyłączenia** transformatora
- Konserwacja trwa kilka dni

## ZALETY

- Najbardziej skuteczna metoda suszenia na miejscu
- Szybkie usuwanie dużych ilości wody
- Równomierna temperatura i rezultaty suszenia
- Idealne do natychmiastowego suszenia po remoncie

## WADY

- Wymaga długotrwałego wyłączenia transformatora (1-2 tygodnie)
- Wysokie koszty
- Ryzyko dla starych transformatorów z powodu próżni i ogrzania
- Utrata historii gazów rozpuszczonych
- wymaga wykwalifikowanego personelu i drogiego sprzętu.



# Rozwiązania dla suszenia transformatorów: Moduł ciągłego suszenia

- Montaż i suszenie bez wyłączania
- Konserwacja ciągła i zapobiegawcza (długoterminowe)



## ZALETY

- Niskie koszty
- Dobra wydajność suszenia
- Bez wyłączania
- Nie zniekształca analizy gazów rozpuszczonych
- Nie wymaga operatora
- **Zalety długoterminowe:** bezpieczeństwo transformatora & przedłużenie żywotności

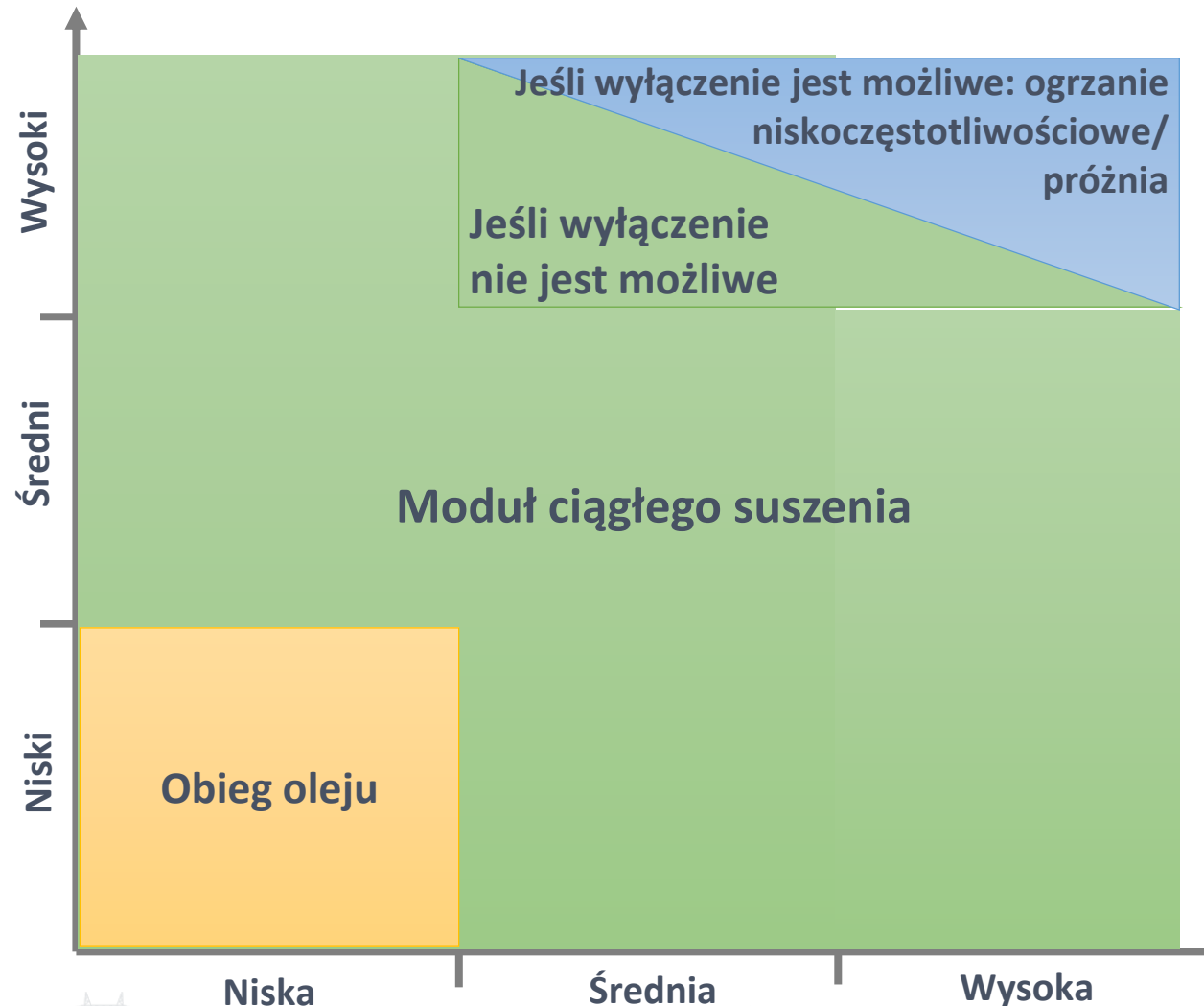
## WADY

- Nie można stosować do suszenia natychmiastowego
- Cylindry należy wymieniać po ich nasyceniu (co dwa lata średnio)



# Rozwiązania dla suszenia transformatorów

Dostępny budżet



# Rozwiązania dla suszenia transformatorów

| Wskaźniki suszenia                                       | Obieg oleju                                    | Ogrzanie niskoczęstotliwościowe/<br>suszenie próżniowe | Moduł ciągłego suszenia |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>Typ rozwiązania</b>                                   | Tymczasowe                                     | Tymczasowe                                             | Stałe                   |
| <b>Podczas procedury transformator nadal funkcjonuje</b> | Decyduję właściciel (zużycie oleju >500 l/god) | NIE                                                    | TAK                     |
| <b>Osusza olej</b>                                       | TAK                                            | TAK                                                    | TAK                     |
| <b>Osusza papier</b>                                     | NIE                                            | TAK                                                    | TAK                     |
| <b>Pozytywny wpływ na napięcie przebicia</b>             | Tymczasowy (miesiące)                          | TAK                                                    | TAK                     |
| <b>Wydłuża oczekiwaną żywotność</b>                      | NIE                                            | TAK/NIE-dla „starych” transformatorów                  | TAK                     |
| <b>Utrzymuje poziom rozpuszczonych gazów</b>             | NIE                                            | NIE                                                    | TAK                     |
| <b>Proces nie wymaga pracy operatora</b>                 | NIE                                            | NIE                                                    | TAK                     |
| <b>Koszty</b>                                            | \$                                             | \$ \$ \$                                               | \$                      |





# Moduły TRANSEC - prosta i skuteczna metoda suszenia izolacji twardej funkcjonujących transformatorów



## Model CLA1

- DLA TRANSFORMATORÓW < 10 MVA
- POJEMNOŚĆ DO ABSORBOWANIA WILGOCI = 4 litry
- WAGA = 90 kg



## Model CLA3

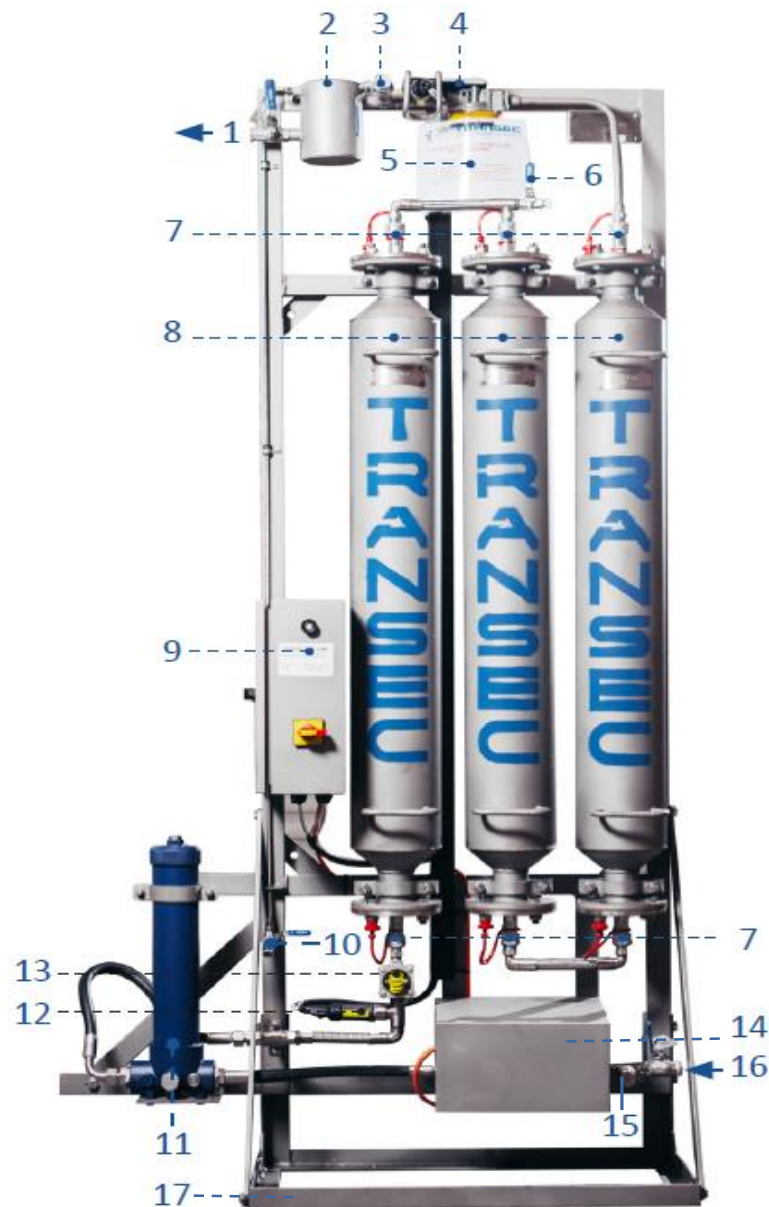
DLA TRANSFORMATORÓW > 10 MVA

POJEMNOŚĆ DO ABSORBOWANIA WILGOCI = 12 litrów

WAGA = 200 kg



# Konstrukcja modułu



1. Zawór wydechowy, powrót oleju do transformatora
2. Odgazowywacz
3. Zawór do poboru próbek na wyjściu
4. Czujnik wilgotności i temperatury oleju na wyjściu
5. Filtr mikrocząsteczek
6. Zawór pośredni przepuszczalny
7. Szybkozłączki
8. Cylindry z sitem molekularnym (zeolit)
9. Szafa sterownicza i monitorująca (opcjonalnie)
10. Zawór odpowietrzający
11. Filtr czyszczenia wstępnego oleju (opcjonalnie)
12. Czujnik wilgotności i temperatury oleju na wejściu
13. Wskaźnik przepływu
14. Pompa
15. Zawór do poboru próbek na wejściu
16. Zawór ssący, wtrysk oleju do modułu
17. Rama (opcjonalnie, do montażu obok transformatora)

# Jednostka monitorująca z transferem danych do serwera WWW

## Funkcje ogólne

- Mierzy wilgotność w PPM oraz temperaturę T° oleju na wejściu i wyjściu
- Obudowa ze stali nierdzewnej IP65
- Zabezpieczenie przeciążeniowe pompy
- Wyświetlacz ciekłokrystaliczny
- Możliwość integracji z SCADA przez Ethernet lub światłowód

## Funkcje specjalne

- Kontrola prędkości przepływu oleju
- Obliczanie zawartości wilgoci w papierze, %
- Kontrola nasycenia cylindrów
- Ręczna zmiana ustawień sygnalizacji
- Dostęp zdalny
- Dostępność plików dziennika PPM w dowolnym momencie



## System Status

This page shows the status of the Transec CL3AM+

| System Status         |        |
|-----------------------|--------|
| Pump Status:          | On     |
| Cylinder Status:      | Good   |
| Paper Status:         | Good   |
| Filter Status:        | Good   |
| Input Sensor Health:  | Good   |
| Output Sensor Health: | Good   |
| Air Trap Status:      | Good   |
| Flow Meter Status:    | Good   |
| Normal/Testing:       | Normal |

Unit Settings

Alarm Settings

Auto Restart

Key Switch

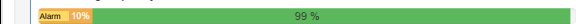
## Live Readings

### Sensor Values

|              | Input  | Output |
|--------------|--------|--------|
| Water        | 15 ppm | 2 ppm  |
| Temperature: | 35 °C  | 30 °C  |

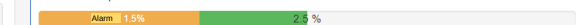
### Cylinder

#### Remaining Capacity



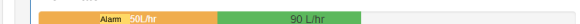
### Paper

#### % Water in Paper



### Flow

#### Flow Rate:





# Moduły TRANSEC. Bezpieczeństwo.



Wyeliminowano ryzyko wnikania wilgoci, powietrza i zanieczyszczeń do kadzi transformatora.



Niska prędkość przepływu oleju nie powoduje turbulencji i nie prowadzi do wyładowań statycznych w izolacji.

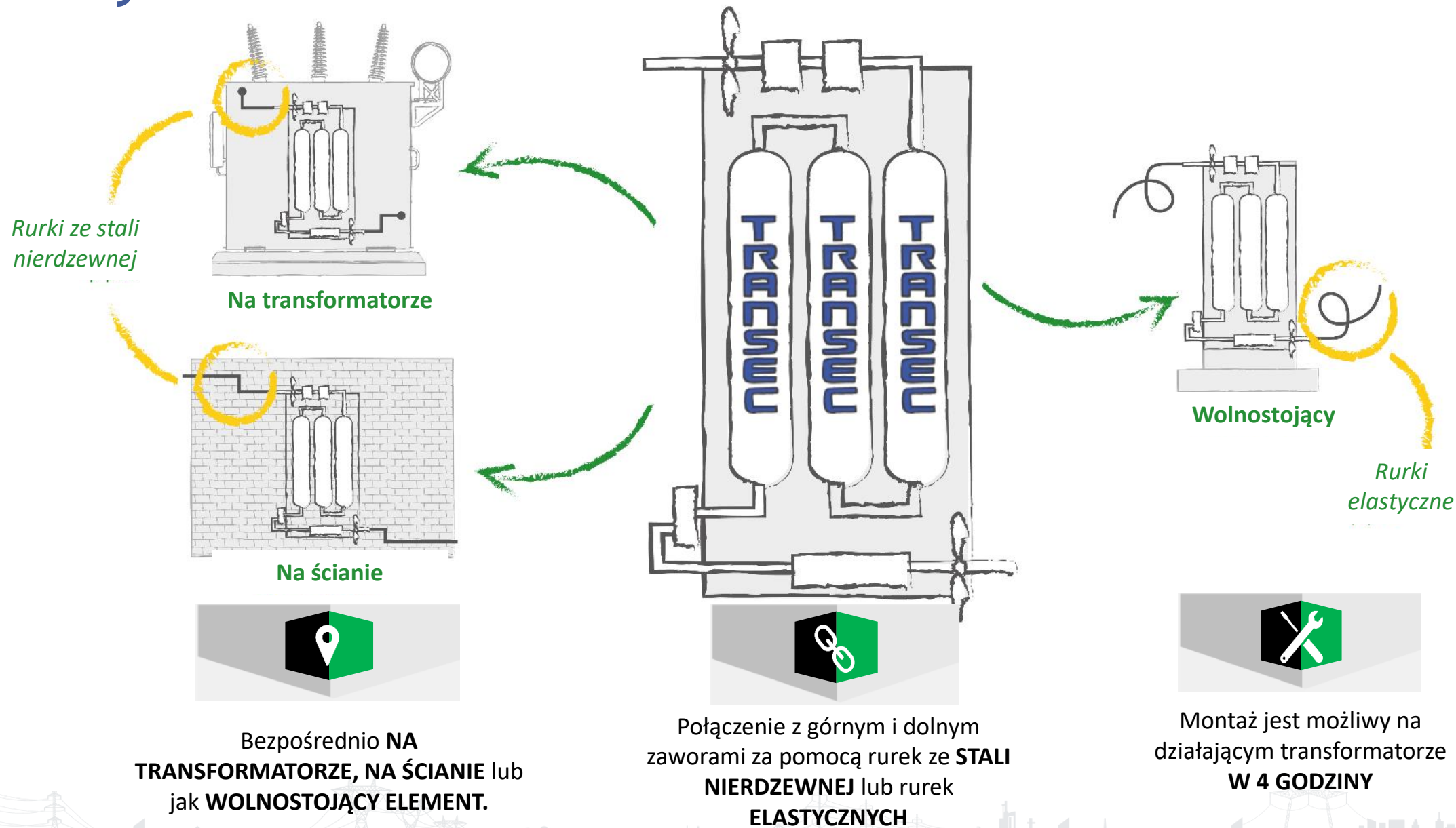


Szczelność urządzenia i układu sterowania eliminują ryzyko wycieków i zmniejszenie poziomów oleju w kadzi.





# Moduły TRANSEC. Montaż.





# Moduły TRANSEC. Przykłady montażu



Model CL3

Montaż na kadzi transformatora



Model CL3

Montaż obok transformatora



Model CL1



# Kto jest głównym klientem TRANSEC?

## 1. typ Gdy wyłączenie transformatora w celu konserwacji nie jest możliwe lub zbyt drogie

- Kiedy najwyższym priorytetem jest niezawodność (klienci kategorii I)
- Gdy nie ma transformatora zapasowego. Zasadniczo jest to typowe dla generacji.
- Gdy transformator znajduje się na odległym terytorium (wydobycie gazu i ropy naftowej).





# Kto jest głównym klientem TRANSEC?

## 2. typ Wysokie obciążenie średnie + Niestabilne obciążenie = szybkie tworzenie się wilgoci

- *Elektrownie wodne i odnawialne źródła energii z powtarzanymi pikami (niestabilne obciążenie)*
- *Stalownie i producenci aluminium - wymagają dużej mocy przy zmiennym obciążeniu*





# Kto jest głównym klientem TRANSEC?

## 3. typ Gdy transformator doświadcza wysokich temperatur + wahania temperatury + wysoka wilgotność

- *Wysokie temperatury powietrza zewnętrznego zwiększają temperaturę oleju i zmniejszają jego efekt chłodzenia, powodując zwiększenie wilgotności wewnątrz papieru izolacyjnego.*
- *Wahania temperatury sprzyjają przenoszeniu wilgoci między papierem a olejem, przyspieszając proces degradacji papieru.*
- *Wysoka wilgotność powietrza może przenikać do transformatora przez konserwator*

## 4. typ Gdy użytkownik końcowy jest osobą prywatną, a nie publiczną

- *Prywatne firmy zwykle szybsze podejmują decyzje.*
- *Są również bardziej zależne od oszczędności kosztów, które może zaoferować Transec (zmniejszone koszty konserwacji, zmniejszenie ryzyka, przedłużenie żywotności aktywów)*



# Kiedy zainstalować TRANSEC?

## 1. Gdy zawartość wilgoci izolacji twardej przekracza 2%

*Do tego poziomu nawilżanie izolacji jest powolne i praktycznie nie ma wpływu na wytrzymałość elektryczną.*

*Powyżej tego poziomu (2%) szybkość tworzenia się wilgoci w izolacji ostro wzrasta, a zatem wpływa zarówno na żywotność, jak i na wytrzymałość elektryczną.*

## 2. Na nowym transformatorze

*Za pomocą modułu większość wilgoci, która tworzy się i przenika z atmosfery, zostanie usunięta. Utrzymane zostaną stabilny % wilgoci i maksymalna żywotność.*

## 3. Gdy zawartość wilgoci jest bardzo wysoka (powyżej 2%) i nie można wyłączyć transformatora w celu długoterminowej konserwacji

*Instalacja TRANSEC będzie miała natychmiastowy (miesięczny) pozytywny wpływ na wytrzymałość elektryczną, dzięki czemu transformator będzie bezpieczniejszy i bardziej niezawodny.*

*Jednak wpływ na oczekiwaną żywotność będzie mniejszy, ponieważ pod wpływem wysokiej zawartości wilgoci nastąpiło już przyspieszone starzenie się izolacji.*



# 20 lat niezawodnej pracy, 2490 zainstalowanych modułów

## Geografia dostaw na październik 2019 r



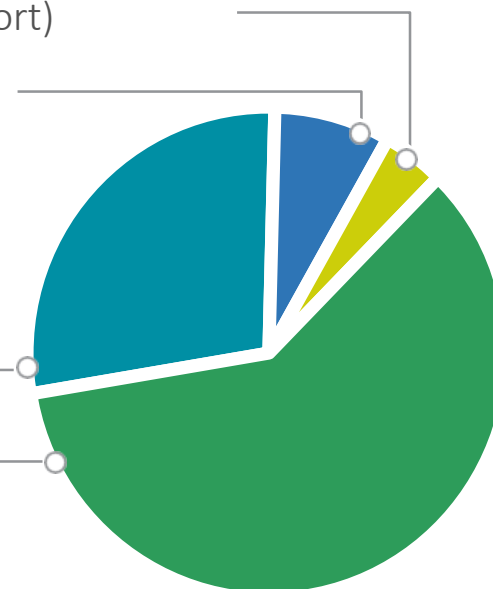
## Profil działalności klientów

110 szt. - Przemysł ciężki (wydobycie ropy naftowej, hutnictwo, transport)

188 szt. - Inne

703 szt.  
Wytwarzanie energii

1489 szt.  
Firmy sieciowe



## Główni klienci

ABB

edf

बीएचईएल  
BHEL

Gaz de France

dubal  
Dubai Aluminium

UK Power Networks  
Delivering your energy

ALSTOM

BRUSH

पावरग्रिड  
Power Grid Corporation of India

NORTHERN POWERGRID

e-on

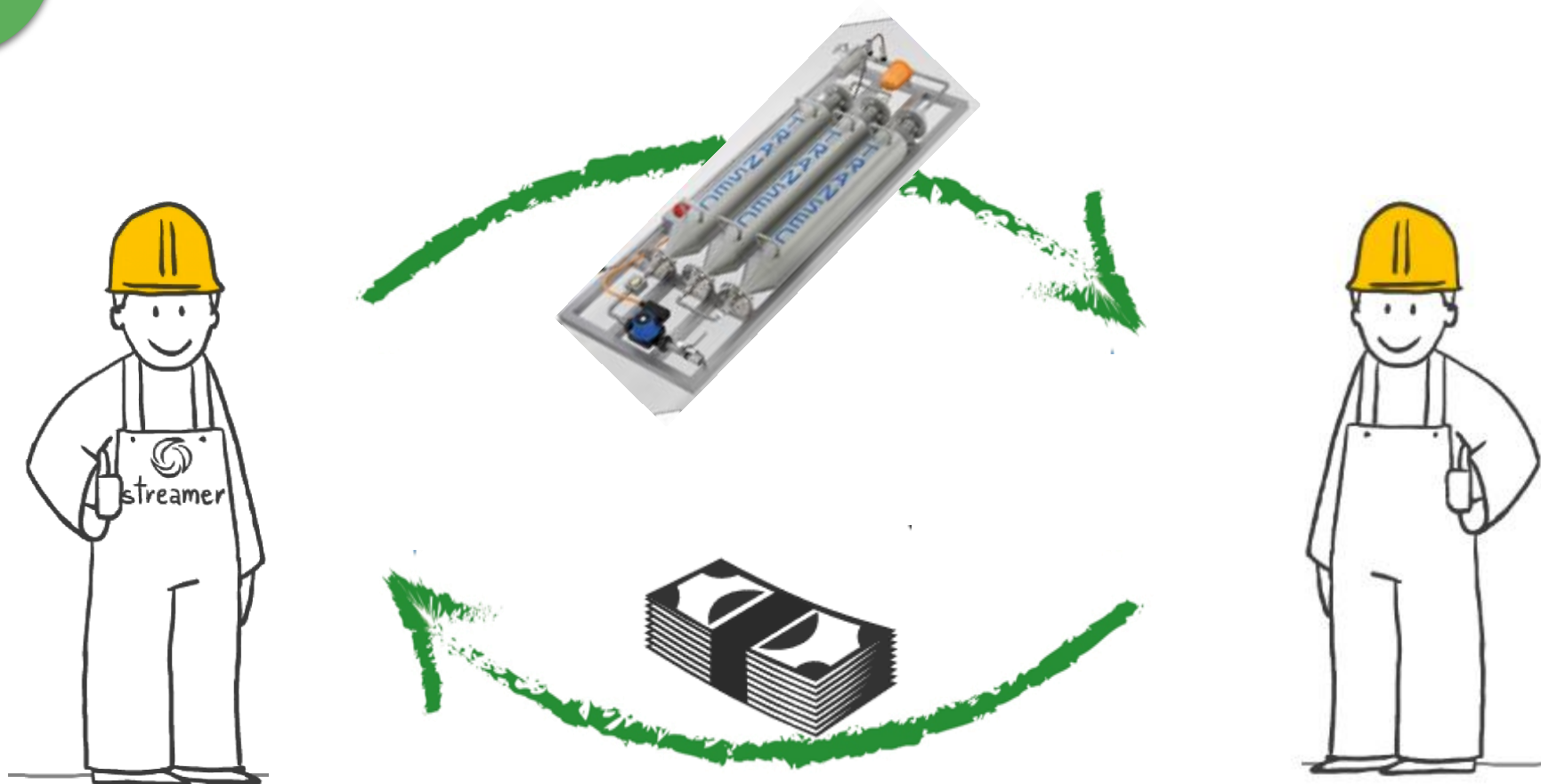
هيئة كهرباء ومياه دبي  
Dubai Electricity & Water Authority

# Opcje współpracy TRANSEC

Nr.1

*Dostawa sprzętu.*

*Inne usługi (montaż, regeneracja) należy zakupić osobno.*





# Opcje współpracy TRANSEC

Nr.2

**Pakiet usług: Gwarantujemy suszenie transformatora**

Oferujemy **pełny pakiet usług**: montaż, konserwacja + coroczna kontrola i regeneracja przez **3 do 5 lat**.

Klient może płacić miesięcznie lub kwartalnie. Pod koniec umowy klient otrzymuje prawo własności sprzętu.



# Opcje współpracy TRANSEC

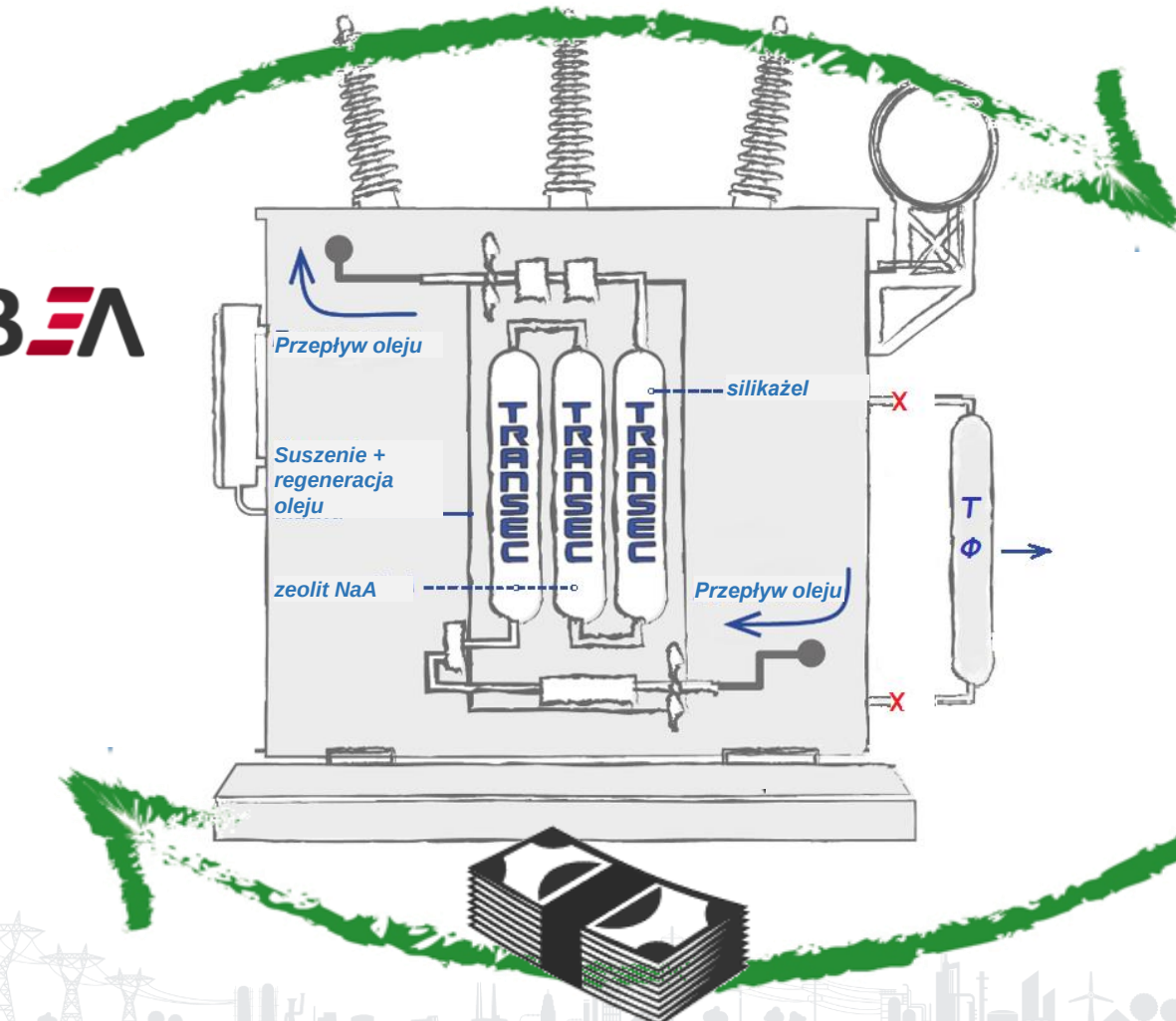
Nr.3

## Modernizacja transformatora

Po uzgodnieniu z producentem filtr termosyfonowy zostaje wymieniony na moduł TRANSEC



CB&A



# Zalety korzystania z TRANSEC:

- Nie wymaga wyłączania sprzętu w celu remontu
- Łatwe podłączenie do transformatora
- Nie wymaga personelu
- Ciągłe suszenie izolacji twardej
- Zwiększa wydajność filtra termosyfonowego
- Monitorowanie temperatury i zawartości wilgoci w oleju
- Automatyczna sygnalizacja nasycenia cylindra
- Bardziej efektywny niż inne metody według kryterium kosztów operacyjnych
- Zapewnia minimalną wilgotność izolacji papierowej przez cały cykl życia transformatora, dłuższą żywotność transformatora oraz mniejsze ryzyko wypadków.



Dziękujemy za uwagę!

