

# BADANIA OLEJU W ZNOWELIZOWANEJ RAMOWEJ INSTRUKCJI EKSPLOATACJI TRANSFORMATORÓW wyd. 2022 PRZYCZYNY I ZAKRES WPROWADZONYCH ZMIAN

Teresa Buchacz

Konferencja „TRANSFORMATOR 24”  
PTPRiEE Wisła 17-18.04.2024r.

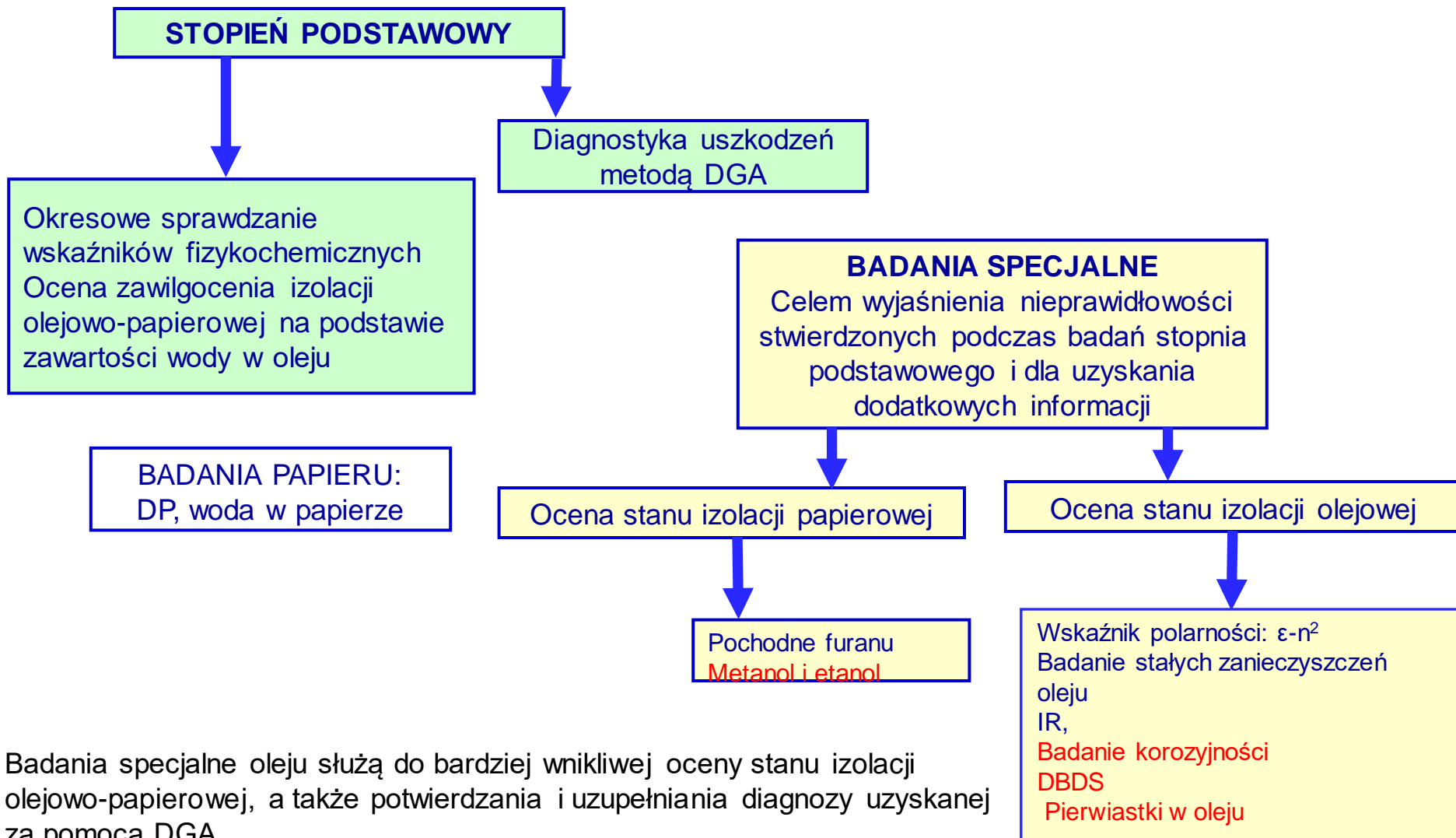
# PROGRAM BADAŃ OLEJU wg RIET - GENEZA

Program badań oleju zawarty w RIET oparty jest o długie, ponad 60. letnie doświadczenia laboratorium Energopomiaru i Energopomiaru-Elektryka

lata 50.XX w.	pomiary napięcia przebicia, rezystywności, $\text{tg}\delta$ , przenikalności elektryczną $\epsilon$ i liczby kwasowej oleju
lata 60.XX w.	prace badawcze mające na celu wyjaśnienie wpływu różnych czynników na parametry dielektryczne oleju na podstawie fizyki dielektryków oraz związku między właściwościami oleju a rezultatami pomiarów bezpośrednich transformatorów
1968r.	pierwsze prace nad zastosowaniem analiz chromatograficznych do diagnostyki transformatorów,
1972r.	wprowadzenie DGA do programu badań jednostek o mocy $>100\text{MVA}$ (przed pierwszą publikacją IEC 599 z 1978r.)
1988r.	Nowe wartości typowe na podstawie analizy statystycznej wyników; kryteria oparte o sumę gazów palnych i dynamikę ich przyrostu
1993r.	dodatkowe kryteria oparte o stosunki węglowodorów C3
po 2000r.	zastosowanie DGA do oraz badań PPZ (od 2002r.), prób fabrycznych (2005r.) oraz badań izolatorów przepustowych i przekładników znowelizowane kryteria wprowadzone do RIET 2001, 2006 i 2012.
1998r.	wprowadzenie analizy pochodnych furanu w oleju
2002r.	pierwsze prace badawcze mające na celu ocenę możliwości zastosowania cieczy alternatywnych w krajowej energetyce.
2005r.	stałe zanieczyszczenia oleju
2006 r.	wykrywane siarki korozyjnej; oznaczanie DBDS
2021r.	lekkie alkohole w oleju

# ZAKRES BADAŃ OLEJU ZAWARTY W RIET

Według zaleceń RIET pierwszy, podstawowy stopień diagnostyki technicznej transformatorów stanowi analiza DGA oraz badania parametrów oleju. W przypadku wykrycia nieprawidłowości, wykonuje się badania specjalne.



# PROGRAM BADAŃ OLEJU W EKSPLOATACJI wg RIET, a WYMAGANIA NORMY PN-EN 60422

Program badań oleju zawarty w RIET wykazuje pewne różnice w stosunku do wymagań normy PN-EN 60422 (która jak większość nie ma charakteru obligatoryjnego):

1. INNY PODZIAŁ TRANSFORMATORÓW NA GRUPY
2. INNE WARTOŚCI KRYTERIALNE PARAMETRÓW ustalone na podstawie wyników badań własnej populacji transformatorów; ocena dwustopniowa: (*STAN DOBRY– STAN ZŁY*)
3. RÓŻNICE W ZAKRESIE BADAŃ
  - zawartość wody w oleju odniesiona do 50°C,
  - pomiar  $\text{tg}\delta$  i rezystywności w temperaturze 20°C i 50°C (zamiast wymaganej w PN-EN 60422 temp. 90°C),
  - oznaczanie lepkości i gęstości olejów transformatorów grupy I,
  - inna częstość badań oleju
  - własny program badań specjalnych obejmujący m.in. wielokierunkową ocenę stopnia zesterzenia oleju:
    - a) wskaźniki zesterzenia: napięcie powierzchniowe i parametr  $\varepsilon - n^2$
    - b) dodatkowe pasma w widmie IR

# PRZYCZYNY WPROWADZENIA ZMIAN W RIET wyd. 2022

Obecne wydanie RIET czwartą edycją tego dokumentu.

Program badań oleju (w zakresie podstawowym i specjalistycznym) w kolejnych edycjach RIET jest dostosowany do realnych warunków pracy aktualnie eksploatowanych transformatorów w Polsce i co kilka lat uaktualniany.

1. Potrzeba uaktualnienia norm związanych z badaniami oleju.
2. Wydanie piątej edycji normy IEC 60296:2020, która została przyjęta w Polsce jako PN-EN IEC 60296:2021.
3. Konieczność opracowania nowych kryteriów oceny wyników badań oleju ze względu na:
  - ✓ zmniejszającą się liczbę starszych transformatorów
  - ✓ wymiany olejów zużytych lub ich regenerację na miejscu zainstalowania,
  - ✓ zastosowanie w nowych transformatorach olejów produkowanych wg zmienionych technologii.
4. Potrzeba uaktualnienia programu badań specjalnych.
5. Rozwój nowych metod badawczych.
6. Wzrost zainteresowania alternatywnymi cieczami dielektrycznymi (estry naturalne i syntetyczne).

# ZMIANY DOTYCZĄCE CIECZY ELEKTROIZOLACYJNYCH

Zakres wprowadzonych zmian w RIET wyd. 2022r. obejmuje:

- Rozdział 5: Gospodarka i eksploatacja oleju transformatorowego
- Załącznik 10: Ocena stanu technicznego transformatorów metodą DGA
- Załącznik 7: Badania specjalne oleju oraz izolacji papierowej
- Załącznik 12: Uzdatnianie izolacji transformatorów i rewizje wewnętrzne na miejscu zainstalowania
- Załącznik 6: Pomiary i przeglądy podobciążeniowych przełączników zaczepów, p. 4.: Badania oleju z podobciążeniowego przełącznika zaczepów
- Załącznik 15: Pobieranie gazów z przekaźnika gazowo-przepływowego
- Załącznik 2: Eksploatacja mis olejowych pod transformatorami
- Załącznik 20: Dokumenty i normy związane z Instrukcją

# OLEJ DO NAPEŁNIANIA TRANSFORMATORÓW

## NORMA PN-EN IEC 60296:2021 wyd. 5

Obecnie, ze względu na ochronę środowiska i zasobów naturalnych jako nowe uznawane są nie tylko oleje produkowane z nowego surowca (ropy naftowej albo gazu tzw. olej GTL), ale również z recyklingu w rafinerii zużytych olejów transformatorowych. Niezależnie od pochodzenia oleje powinny spełniać odpowiednie wymagania dla typu A lub B.



POLSKA NORMA

ICS 29.040.10; 29.130.01; 29.180

PN-EN IEC 60296

Wprowadza

EN IEC 60296:2020, IDT

IEC 60296:2020, IDT

Zastępuje

PN-EN 60296:2012

Ciecze stosowane w elektrotechnice

Mineralne oleje elektroizolacyjne do urządzeń elektrycznych

Norma Europejska EN IEC 60296:2020 Fluids for electrotechnical applications - Mineral insulating oils for electrical equipment (IEC 60296:2020) ma status Polskiej Normy

© Copyright by PKN, Warszawa 2021

nr ref. PN-EN IEC 60296:2021-03

Wszystkie prawa autorskie zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być zwielokrotniana jakiegokolwiek techniką bez pisemnej zgody Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego

ISBN 978-83-8254-112-0

# OLEJ DO NAPEŁNIANIA TRANSFORMATORÓW

## NORMA PN-EN IEC 60296:2021

Obowiązujące oznaczenia olejów z dostaw z rafinerii- kod czteroliterowy

Pierwsza litera: klasa (przeznaczenie)	<b>T</b> – transformatorowy	<b>S</b> – do wyłączników	
Druga litera: rodzaj (pochodzenie)	<b>V</b> – świeży	<b>R</b> – z recyklingu	
Trzecia litera: typ (jakość)	Typ <b>A</b>	Typ <b>B</b>	
Czwarta litera: grupa (zawartość inhibitora utleniania)	<b>I</b> – inhibitowany od 0,08% do 0,40% wag.	<b>T</b> – śladowo inhibitowany poniżej 0,08% wag.	<b>U</b> – nieinhibitowany od 0,08% do 0,40% wag.

Dla olejów przeznaczonych do napełniania nowych transformatorów wprowadzono w RIET dodatkowe wymaganie wykonania testu sprawdzającego możliwość przeprowadzenia przez producentów transformatorów próby kompatybilności z materiałami konstrukcyjnymi wg ASTM D 3455. Ma to na celu zabezpieczenie polskiego rynku przed produktami gorszej jakości, które pomimo spełnienia wymagań PN-EN IEC 60296 w warunkach eksploatacyjnych będą szybko podlegać degradacji.



# ZMIANA NIEKTÓRYCH WARTOŚCI KRYTERIALNYCH PARAMETRÓW OLEJU

Wprowadzone zmiany dotyczą parametrów oleju:

1. przeznaczonego do napełniania nowych transformatorów oraz wymiany i uzupełniania poziomu w urządzeniach eksploatowanych,
2. po końcowym napełnieniu i zakończeniu obróbki na transformatorze,
3. przed wprowadzeniem transformatora do eksploatacji (po montażu)
4. w eksploatacji.

Wartości kryterialne uaktualniono na podstawie analizy statystycznej ponad 12,5 tys. wyników badań otrzymanych w laboratorium Energopomiar-Elektryka.

Przyjęto 98. percentyl jako wartość graniczną.

W szczególności zweryfikowano wartości kryterialne parametrów:  
zawartość wody,  $\text{tg}\delta$ , liczba kwasowa, napięcie powierzchniowe.

# UAKTUALNIONE WYMAGANIA W EKSPLOATACJI

Rodzaj badania	Transformatory grupy II	Transformatory grupy I	
		≥ 220 kV	≥ 400 kV
Wygląd	Przezroczysty bez osadu i wody wydzielonej		
Zawartość wody K. F. [ppm]	≤ 25 <sup>*)</sup>	≤ 15 <sup>*)</sup>	≤ 10 <sup>*)</sup>
Napięcie przebicia [kV]	≥ 45	≥ <b>60</b>	≥ 60
Liczba kwasowa [mgKOH/g <sub>oil</sub> ]	≤ <b>0,20</b>	≤ <b>0,15</b>	≤ <b>0,10</b>
Temperatura zapłonu [°C]	≥ 130	≥ 130	≥ 130
Gęstość w 20°C [g/cm <sup>3</sup> ]	—	≤ 0,900	≤ 0,900
Lepkość kinematyczna w 20°C [mm <sup>2</sup> /s]	—	≤ 30	≤ 30
Rezystywność w 50°C [Ωm]	≥ 5×10 <sup>9</sup>	≥ 1×10 <sup>10</sup>	≥ 5×10 <sup>10</sup>
tgδ w 50°C	≤ <b>0,05</b>	≤ <b>0,03</b>	≤ <b>0,01</b>
σ [mN/m]	≥ <b>21</b>	≥ <b>23</b>	≥ 25
Zanieczyszczenia stałe	≤ 17/16/13	≤ 17/16/13	≤ 16/15/12
Częstość wykonywania badań	Co 2 lata	Co rok	

\* Dla próbki oleju pobieranej w temp. 50°C

# NOWE KRYTERIA OCENY WYNIKÓW DGA

## Załącznik 10

W załączniku podano nowe 90% wartości typowe stężeń gazów na podstawie analizy ok. 15 tys. wyników.

Obszerniej przedstawiono problem występowania gazowania pasożytniczego w transformatorach, które pojawia się na skutek rozkładu oleju w niskich temperaturach. Dotyczy on szczególnie współcześnie produkowanych olejów, głównie nieinhibitowanych typu naftenowego, o wysokim stopniu rafinacji, które są podatne na wytwarzanie wodoru w różnych stężeniach, jak również węglowodorów nasyconych. Zjawisko to utrudnia interpretację wyników DGA z uwagi na charakterystyczny skład, który jest podobny do towarzyszącego wyładowaniom niezupełnym lub niskotemperaturowym przegrzaniom.

Gazowania pasożytniczego olejów nie należy mylić z innym parametrem tj. stabilnością gazową z polu elektrycznym, która opisuje zdolność oleju do absorbowania lub wydzielenia gazu, gdy zostanie on poddany udarom elektrycznym i jonizacji w określonych warunkach laboratoryjnych.

Wg danych CIGRE zjawisko gazowania pasożytniczego dotyczy 20% obecnie produkowanych transformatorów.

# ZASTOSOWANIE BADAŃ OLEJU DO OCENY STANU PPZ

## Załącznik 6. pkt 4

- Uaktualnione wymagania dotyczące napięcia przebicia i zawartości wody w przełącznikach konwencjonalnych i próżniowych.
- Informacje o zastosowaniu DGA do badań PPZ oraz kryteria ułatwiające ocenę wyników.

Współczynnik Stenestama ( $\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_4$ )/ $\text{C}_2\text{H}_2$	< 0,5	Normalna praca
	0,5÷5	Podważenie przegrzania
	> 5	Przegrzanie styków; PPZ przekazać do remontu
Współczynnik Reinhausena $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_2$	0,1÷1	Normalna praca
	< 0,1	Nadmierne wyładowania łukowe
	> 1	Przegrzanie styków

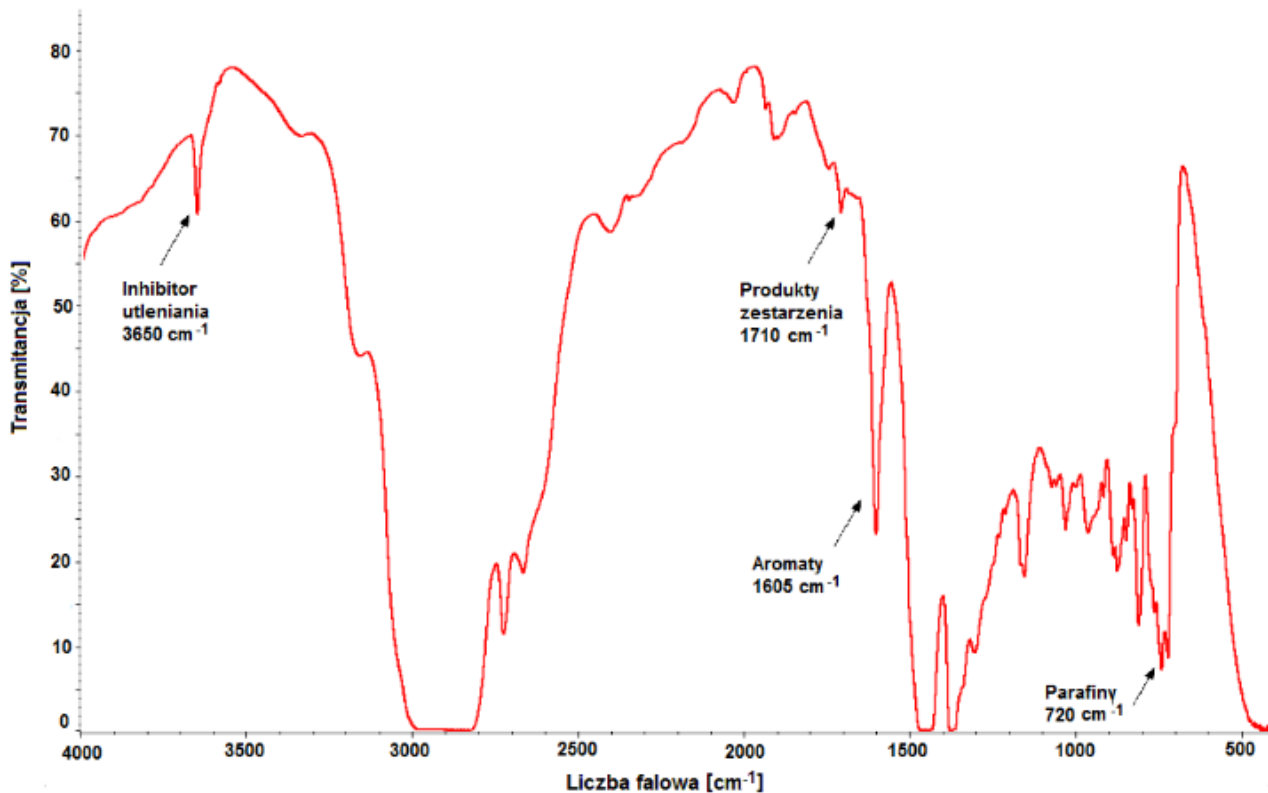
*0,5 < S < 1 należy pobrać próbkę w okresie od 3 do 6 miesięcy,*

*1 < S < 3 należy pobrać próbkę w okresie 1 – 3 miesięcy,*

*3 < S < 5 należy pobrać próbkę w okresie jednego miesiąca.*

# BADANIA SPECJALNE OLEJU ORAZ IZOLACJI PAPIEROWEJ

## WIDMO IR: Załącznik 7



### ZASTOSOWANIE RUTYNOWE:

- ✓ poznania struktury oleju,
- ✓ oznaczenia aromatów i parafin (IEC 590)
- ✓ oznaczenie inhibitora utleniania (PN-EN 60666).

### DODATKOWE ZASTOSOWANIE W LABORATORIUM ENERGOPOMIARU:

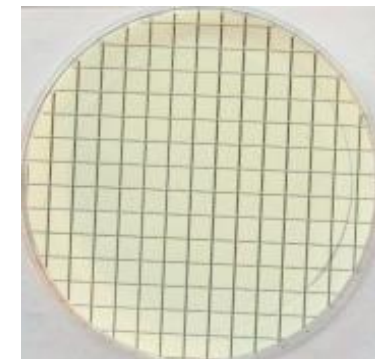
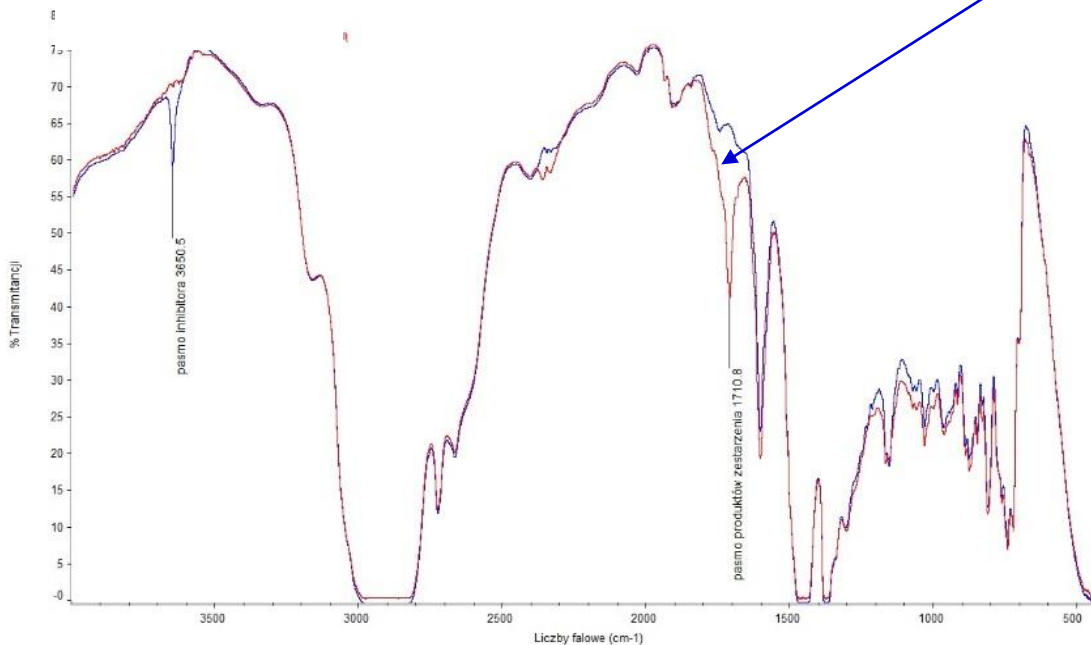
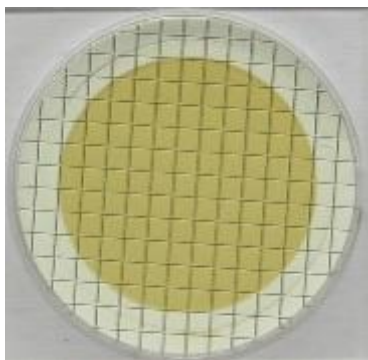
- **WERYFIKACJA OCENY STOPNIA ZESTARZENIA OLEJU** (pasmo absorpcji przy liczbie falowej 1710 cm⁻¹ jest charakterystyczne dla produktów starzenia zawierających grupę karbonylową C = O (aldehydy, ketony, estry, kwasy karboksylowe)

# ZASTOSOWANIE BADAŃ SPECJALNYCH DO OCENY ZESTARZENIA OLEJU I SKUTECZNOŚCI REGENERACJI

Olej z transformatora grupy II; 10 MVA; 20/6,3 kV r.b. 1984

Parametr	Przed regeneracją	Po regeneracji	Kryteria wg RIET
Liczba kwasowa [mg KOH/g]	0,17	0,01	0,15
$\sigma$ [mN/m]	18	46	$\geq 23$
$\varepsilon - n^2$	0,0621	0,0090	$\leq 0,0600$

Gdy regeneracja jest przeprowadzona prawidłowo, pasmo 1710  $\text{cm}^{-1}$  zanika

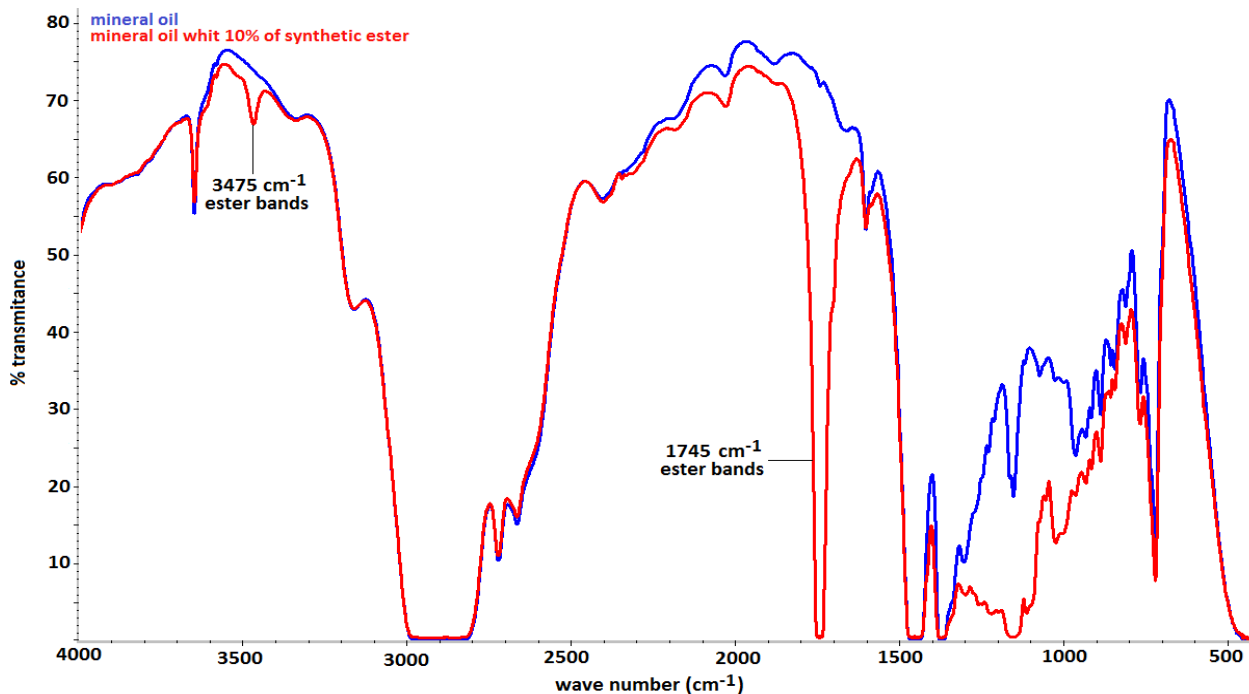


# BADANIA SPECJALNE OLEJU ORAZ IZOLACJI PAPIEROWEJ

## WIDMO IR: Załącznik 7

### PRZYKŁAD: WYKRYWANIE ZANIECZYSZCZENIA OLEJU MINERALNEGO ESTRAMI (na poziomie 0,5% wzwyż)

Stosowanie w ostatnich latach różnych cieczy dielektrycznych przez producentów i przedsiębiorstwa użyteczności publicznej stwarza ryzyko zanieczyszczenia krzyżowego m.in. pojemników, węży i transformatorów. Dodatkowe pasma przy liczbach falowych  $1745\text{ cm}^{-1}$  i  $3475\text{ cm}^{-1}$  w widmie IR oleju mineralnego, charakterystyczne dla estrów naturalnych i syntetycznych, wskazują na zanieczyszczenie.



*Do wykrywania zanieczyszczenia oleju mineralnego olejem silikonowym na poziomie 80÷100ppm, powodującego pienienie, służy metoda atomowej spektroskopii emisyjnej z indukcyjnie wzbudzoną plazmą (ICE-AES)*

# BADANIA SPECJALNE OLEJU ORAZ IZOLACJI PAPIEROWEJ

## Załącznik 7

Poszerzona ocena procesów starzeniowych izolacji papierowej w oparciu o analizę związków furanu (wartości typowe uzyskane na podstawie 4,5 tysiąca wyników otrzymanych w laboratorium Energopomiar-Elektryka).

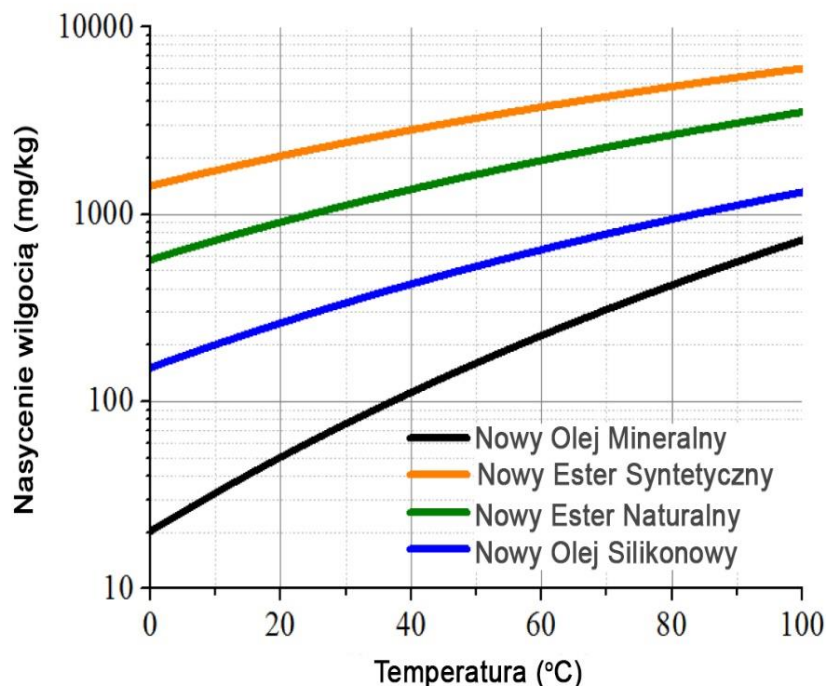
Zawartość 2FAL w oleju [ppm (mg/kg)]	Ocena stopnia zesterzenia izolacji papierowej
0	<b>Brak</b> cech zesterzenia
0,01÷0,20	<b>Starzenie zapoczątkowane</b> , niewywołujące jeszcze negatywnych zmian w wytrzymałości mechanicznej celulozy
0,21÷1,00	<b>Starzenie naturalne</b> wywołujące stopniowe negatywne zmiany w wytrzymałości mechanicznej celulozy (proces obserwowany na podstawie powolnych przyrostów 2FAL, zwykle bez obecności pozostałych pochodnych związków furanu), typowe dla większości transformatorów w eksploatacji
1,01÷2,00	<b>Zesterzenie o znacznym stopniu</b> , spotykane głównie w transformatorach o długotrwałej eksploatacji, często z rozwijającymi się uszkodzeniami typu niskotemperaturowych przegrzań wewnętrznych (zwykle stwierdza się obecność również innych niż 2FAL pochodnych związków furanu)
> 2,01	<b>Zesterzenie zaawansowane</b> , zazwyczaj o przyspieszonym przebiegu i znaczących przyrostach 2FAL oraz pozostałych związków pochodnych furanu
> 4,50	<b>Zesterzenie prawie zupełne</b> , rzadko spotykany stopień zesterzenia wskazujący na bardzo wysoką degradację celulozy

Wprowadzono: dodatkowe wskaźniki zesterzenia papieru: alkohole METANOL i ETANOL, badania siarki korozyjnej i DBDS oraz oznaczanie pierwiastków w oleju

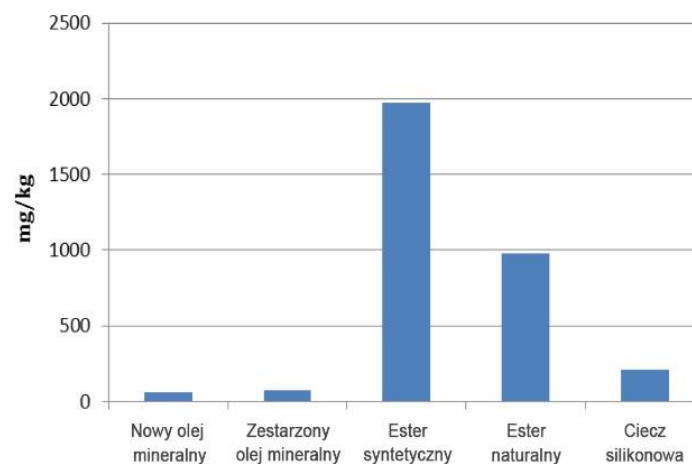


# ALTERNATYWNE CIECZE DIELEKTRYCZNE ROZDZIAŁ 5

Dodatkowe informacje nt. alternatywnych cieczy dielektrycznych, w tym szczególnie estrów, z uwzględnieniem parametrów wykazujących największe różnice w stosunku do olejów mineralnych. Dotyczy to m.in. dużej rozpuszczalności wody, która nie wpływa na napięcie przebicia.



Ciecz	Ws (mg/kg) w 20°C	$\epsilon$
Olej mineralny	55	2,2
Olej silikonowy	220	2,7
Ester naturalny	1100	3,1
Ester syntetyczny	2600	3,2



Rozpuszczalność wody zależy od polarności cieczy (wartość  $\epsilon$ )

# POZOSTAŁE WAŻNIEJSZE ZMIANY DOTYCZĄCE IZOLACJI CIEKŁEJ

## Załącznik 12:

Wskazania do wykonania regeneracji oleju

- brak spełnienia wymagań RIET,
- profilaktycznie przed utratą zdolności eksploatacyjnej oleju, gdy:
  - wartość współczynnika utlenienia (stosunek napięcia powierzchniowego oleju do liczby kwasowej)  $< 300$  (szczególnie dla transformatorów grupy II napełnianych olejami gorszej jakości),
  - pogorszenie wskaźników dielektrycznych (głównie rezystywności) w olejach transformatorów grupy I.

## Załącznik 15:

procedura pobierania gazów z przekaźnika Buchholza do strzykawki

# POZOSTAŁE WAŻNIEJSZE ZMIANY DOTYCZĄCE IZOLACJI CIEKŁEJ

## Załącznik 2: Eksploatacja mis olejowych pod transformatorami

- uaktualniono przepisy i normy regulujące funkcjonowanie stanowiska transformatorowego.
- podano aktualne informacje dotyczące mis olejowych pod transformatorami napełnionymi cieczami biodegradowalnymi:

*W Polsce nie ma przepisów nakazujących budowę takich mis, natomiast ostateczną decyzję o budowie misy olejowej lub wałów zapobiegających rozlaniu się cieczy na dużym obszarze podejmuje Inspektor Ochrony Środowiska właściwy dla danej lokalizacji.*

## Załącznik 20: Dokumenty i normy związane z Instrukcją

- podano tytuły i numery Broszur Technicznych CIGRE związanych z badaniami oleju
- Uaktualniono spis norm dotyczących izolacji ciekłej transformatorów i dławików

# WNIOSKI

- ✓ Wartości kryterialne parametrów zamieszczone w RIET wyd.2022 zostały dostosowywane w ramach prac nowelizacyjnych do zmieniających się uwarunkowań oraz strategii zarządzania transformatorami, jak również bardziej rygorystycznych wymagań dla współcześnie produkowanych olejów.
- ✓ Obecnie wprowadzone wartości dopuszczalne i typowe przyjęto na podstawie analizy statystycznej wyników badań oleju krajowych jednostek.
- ✓ Program badań specjalnych oleju, uzupełniony i poszerzony o nowe metody badawcze, umożliwia rozpoznanie wielu różnych zagrożeń związanych z zanieczyszczeniami lub osłabieniem układu izolacyjnego transformatorów.

**Dziękuję za uwagę**

**Teresa Buchacz**