

Politechnika Opolska

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Instytut Elektrotechniki i Energii Odnawialnej

PRACA DYPLOMOWA

Studia drugiego stopnia

Stacjonarne

Kierunek studiów

Elektrotechnika

TEMAT PRACY

Zaprojektowanie aplikacji komputerowej stosowanej do wykonania
analizy stężeń gazów rozpuszczonych w oleju transformatorowym
z wykorzystaniem trójkątów Duvala

Promotor:

prof. dr hab. inż. Sebastian Borucki

Autor:

Kacper Hoffman

nr albumu: 95009

Opole 2022

Zaprojektowanie aplikacji komputerowej stosowanej do wykonania analizy stężeń gazów rozpuszczonych w oleju transformatorowym z wykorzystaniem trójkątów Duvala

Streszczenie

W pracy przedstawiono praktyczną realizację aplikacji komputerowej do analizy stężeń gazów rozpuszczonych w oleju transformatora. Do realizacji projektu wykorzystano środowisko programistyczne Visual Studio. Zaproponowana aplikacja umożliwia przeanalizowanie możliwych przyczyn starzenia się oleju w danym transformatorze dzięki wykorzystaniu trójkątów Duvala. W oparciu o schemat ideowy zaprojektowano oraz wykonano niezbędną aplikację. Program zarządzający analizą zaimplementowano w języku C#. W pracy zamieszczono szczegółowy opis kodu źródłowego programu oraz sposób wykorzystania go w celu przeprowadzenia badania stanu oleju transformatorowego.

Designing a computer application used for the analysis of gas concentrations in transformer oil using Duval triangles

Summary

The work presents a practical implementation of the computer application used for the analysis of gas concentrations in transformer oil. The project uses the Visual Studio programming environment. The proposed application enables the analysis of potential causes of transformer oil aging through the use of Duval triangles. The created application was made based on a conceptual model. The program's software was implemented in the C# programming language. The work contains a detailed description of the used application as well as the use of the program for the analysis of transformer oil state.

Spis treści

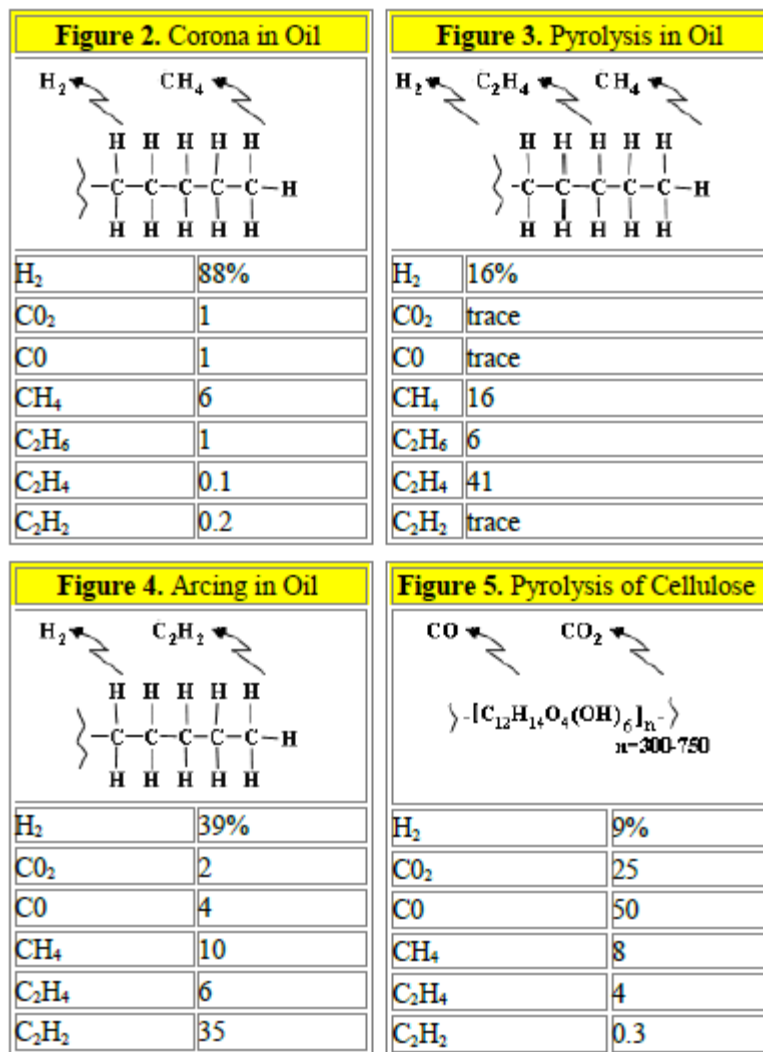
Spis treści.....	3
1 Wstęp	4
2 Cel i zakres pracy	6
3 Analiza gazów rozpuszczonych - DGA.....	7
4 Charakterystyka projektowanego programu.....	12
5 Przykład działania stworzonego programu	17
6 Implementacja programistyczna projektowanej aplikacji	19
7 Analiza zestawu danych transformatorów.....	35
8 Wnioski.....	75
9 Literatura	76

1 Wstęp

Regularne badanie stanu transformatorów stosowanych w energetyce jest kluczowe w celu zapewnienia dalszego, bezpiecznego funkcjonowania tych urządzeń. Mimo swojej względnie pasywnej roli w układzie (nie przenoszą sygnałów mechanicznymi elementami, tylko wykonują przekształcenia przy pomocy pola elektromagnetycznego [1]), transformatory ulegają z czasem procesom starzenia i uszkodzeniom. Ze statystyk badań eksploatacyjnych wynika, że najczęstszymi problemami występującymi w transformatorów są zwarcia zwojowe w wyniku starzenia izolacji, zwarcia blach rdzenia transformatora, uszkodzenia przepustów izolatorów, uszkodzenie przełącznika zaczeów oraz pogorszenie się stanu technicznego oleju transformatora [2]. W pracy przedstawiona zostanie charakterystyka tego ostatniego uszkodzenia, symptomy występowania pogorszenia się jakości oleju, sposoby określenia rodzaju występującego uszkodzenia przy pomocy znanych koncentracji gazów oraz kroki prowadzące do rozwiązania problemu.

Starzenie się oleju izolacyjnego jest zwykle procesem elektrochemicznym. Jedną możliwością spadku izolacyjnych własności oleju jest dostanie się do wnętrza gazów atmosferycznych, takich jak tlen, azot i dwutlenek węgla. Jednak wykrycie takiego uszkodzenia izolacji kadzi jest dość łatwe – olej posiada charakterystyczny brak pozostałych gazów składowych oleju mineralnego. W przypadku rozkładu w wyniku działania pola elektrycznego dobrym urządzeniem wykrywającym jest przekąźnik Buchholza. Jest to przekąźnik gazowo-przepływowy, służący do wykrycia wystąpienia gazu w oleju transformatora. Może on służyć zarówno do roli ostrzegawczej (wystąpienie niewielkiej ilości gazu) jak i również automatycznego wyłączenia (zawartość gazu krytyczna). Wykrycie poziomu gazu następuje dzięki użyciu pływaka w wydzielonej komorze urządzenia. Gaz wydzielający się z oleju gromadzi się najpierw w owej komorze, wypychając olej który tam dociera i obniżając poziom pływaka. Dotarcie pływaka do odpowiedniego poziomu sprawia, że magnes wmcowany w pływak załącza magnetyczny element sterujący w ścianie komory i wysyła sygnał ostrzegawczy/awaryjny [3].

Proces wydzielania się gazu w oleju transformatora wynika z wpływu pola elektrycznego na olej. Olej transformatorowy to substancja węglowodorowa, produkowana z ropy naftowej. W skład oleju wchodzą wyższe alkainy, czyli węglowodory złożone z co najmniej dziesięciu atomów węgla. W normalnych warunkach pracy olej transformatorowy jest bardzo dobrym izolatorem elektrycznym, dzięki czemu może on przez długi czas zapewniać funkcjonowanie urządzenia. Jednak składowe węglowodory nie pozostają nienaruszone przez te operacje. Długie łańcuchy ich pierwiastków składowych mogą z czasem się rozpadać na krótsze, wydzielając węglowodory gazowe [4].



Rys. 1.1: Tabele przedstawiające procesy rozkładu oleju mineralnego wraz z typowymi koncentracjami (Fig. 2 – Wyładowania Niezupełne, Fig. 3 – Przegrzanie Oleju, Fig. 4. –Wyładowania Łukowe, Fig. 5 – Zwęglenie Papieru) [4]

Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwalają na wykorzystanie koncentracji gazów zawartych w oleju transformatora w celu określenia typu uszkodzenia. W tym celu z transformatora należy pobrać próbkę oleju, poddać ją analizie chromatograficznej oraz zapisać wykryte koncentracje. Jednak same ilości gazów w oleju nie wystarczają do bezpośredniego werdyktu. Jak zostanie przedstawione dalej, należy następnie obliczyć względne koncentracje tych gazów oraz porównać je z pewnym wzorem. W pracy jako wzór do określenia rodzaju uszkodzenia zostaną wykorzystane trójkąty Duvala. Te trójkąty posiadają w sobie rejony opisane typem uszkodzenia (przegrzanie, wyładowania niezupełne, zwęglenie papieru itp). Zależnie od tego w którym rejonie znajdzie się punkt reprezentujący koncentracje, możliwe jest określenie prawdopodobnej przyczyny wydzielania się gazów [5].

2 Cel i zakres pracy

Celem pracy jest wykonanie programu komputerowego, służącego do wykonania automatycznej analizy koncentracji gazów w oleju transformatora. Program ten pozwoli na znaczne ułatwienie określenia, która przyczyna wydzielania się gazu w transformatorze jest najbardziej prawdopodobna. Wykonany zostanie on w języku programistycznym C# przy pomocy środowiska programistycznego Visual Studio. Będzie to program oknowy, posiadający intuicyjny interfejs użytkownika. Wprowadzenie koncentracji gazów, wyznaczonych wcześniejszym badaniem chromatograficznym, pozwoli na automatyczne obliczenie koncentracji względnych oraz przypisanie ich do rejonów w trójkątach Duvala. Zaprojektowany zostanie tak, aby możliwa była analiza wielu transformatorów jednocześnie. Takie podejście pozwoli również na analizę stanu jednego transformatora w ciągu wielu badań, czyli ewolucję uszkodzeń. Wynikiem działania programu będzie okno przedstawiające trójkąty Duvala, położenie punktów koncentracji transformatorów oraz informacja tekstowa o wykrytym uszkodzeniu.

W ramach pracy zostanie wykonany opis teoretyczny zjawiska wydzielania się gazów składowych z oleju transformatora. Teoretyczne zjawisko wydzielania zostanie skontrastowane z faktycznymi badaniami eksploatacyjnymi transformatorów. W ramach napisania programu przedstawiony zostanie jego sposób działania. Dokładnie opisane oraz scharakteryzowane zostaną kolejne elementy kodu programu. Zasadniczą, badawczą częścią pracy będzie ocena stanu technicznego kilku rzeczywistych transformatorów, która zostanie przeprowadzona w oparciu o wyniki ich badań chromatograficznych oraz stworzoną aplikację diagnostyczną. W ramach pracy pokazane zostaną wyniki uzyskane metodą DGA, a z ich użyciem wykonana zostanie faktyczna analiza porównawcza z badaniami przeprowadzonymi na transformatorach WN/SN. Na koniec wyniki analizy zostaną skomentowane we wnioskach, wraz z określeniem poprawności działania opracowanego narzędzia informatycznego – aplikacji komputerowej.

3 Analiza gazów rozpuszczonych - DGA

W ramach pracy transformatora niezbędne stosowanie jest oleju izolacyjnego, który umożliwi bezpieczne odizolowanie od siebie uzwojeń napięć wysokich oraz niskich w czasie pracy. Niestety, z czasem wszystkie materiały ulegają naturalnemu starzeniu, w czym olej nie jest wyjątkiem. Nawet jeśli transformator ciągle pracuje prawidłowo oraz nie występują żadne uszkodzenia, to pod wpływem oddziaływania pola elektrycznego w pewnym momencie olej zacznie rozkładać się na swoje elementy podstawowe. W przypadku oleju są to następujące gazy palne oraz niepalne: wodór, tlen, azot, tlenek węgla, dwutlenek węgla, metan, acetylen, etylen oraz etan [4]. Obecność tych gazów w oleju może czasami być zauważona bezpośrednio, obserwując wystąpienie bąbelków gazów. Jednak w celu dokładnego zrozumienia stanu oleju transformatorowego musi zostać wykonana pełna analiza gazów rozpuszczonych wraz z przypisaniem wyników do trójkątów Duvala.

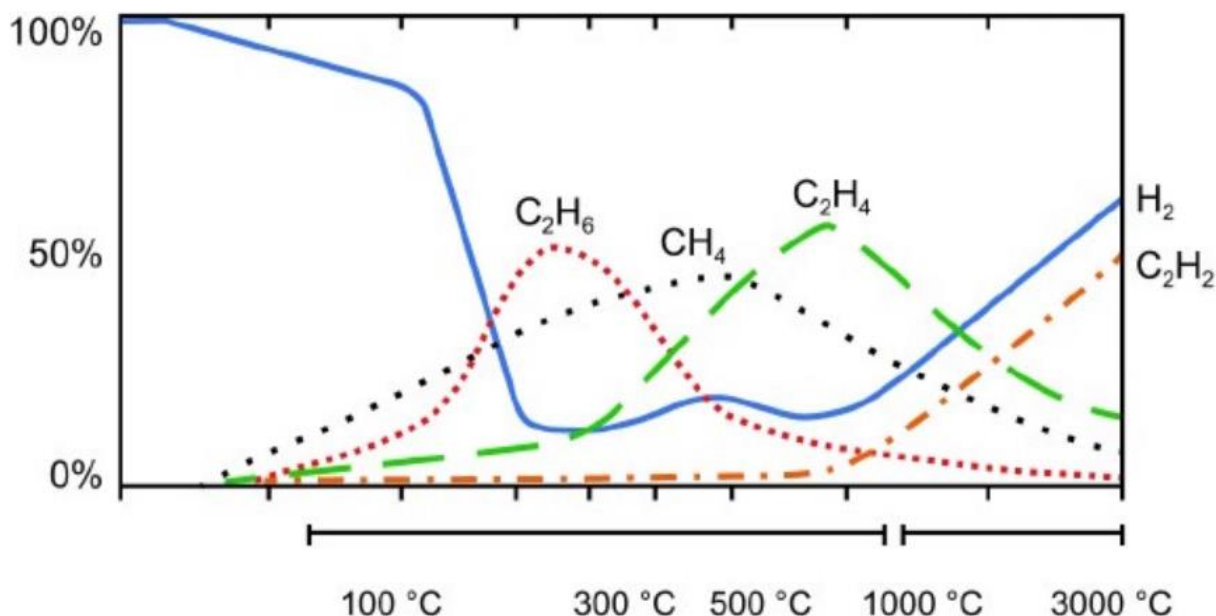
Do określenia koncentracji zawartości gazu w oleju transformatorowym należy najpierw pobrać próbkę oleju z kadzi transformatora. Musi to zostać wykonane ostrożnie oraz dokładnie, ponieważ w prawidłowych warunkach olej transformatora nie może być wystawiany na obecność gazów atmosferycznych. Do tego celu można użyć dokładnie oczyszczonej szklanej strzykawki z szlifowanym tłoczyskiem. Pobiera się do niej małą ilość oleju z transformatora (często około 50 ml), a następnie wysyłana ona jest do laboratorium. Drugą opcją jest zastosowanie specjalnej probówki olejowej wykonanej ze szkła borosilikatowego posiadającej szczelne teflonowe zaworki bo obu końcach. Taka probówka umożliwia łatwe pobranie oleju do badań bez zagrożenia wystawieniem na gazy otaczające. Po pobraniu próbki trafia ona zwykle do chromatografu gazowego. Gazy są oddzielane od oleju metodą próżniową, a same gazy identyfikuje się wraz z ich koncentracją chromatografem [4].

Po poznaniu koncentracji poszczególnych gazów możemy przystąpić do analizy. Najpierw sprawdzamy, czy uzyskane koncentracje w ogóle wymagają przeprowadzenia szczegółowych badań – jeśli są one wystarczająco niskie, możliwe jest założenie że transformator nadal pracuje prawidłowo bez uszkodzeń zagrażających operacji. Z doświadczenia inżynierskiego zostały utworzone odpowiednie ‘sita’, które przedstawiają od jakiego poziomu zawartości powinny zostać wykonane dane badanie. Zależnie od rodzaju stosowanego oleju te sita różnią się od siebie, ponieważ niektóre mogą wydzielać większe ilości gazów od pozostałych. W tej pracy przedstawiona zostanie analiza gazów rozpuszczonych w olejach mineralnych, dlatego tematu dotyczą tylko sita koncentracji dla oleju mineralnego. W praktyce stosowane są one w transformatorach sieciowych oraz transformatorach blokowych, dlatego podział występuje tylko na dwie grupy.

Tab. 3.1: Tabela wartości granicznych dla transformatorów zawierających olej mineralny [8]

Gaz Charakterystyczny	Wartości graniczne transformatorów sieciowych	Wartości graniczne transformatorów blokowych
Wodór [H_2]	350	260
Metan [CH_4]	200	250
Etan [C_2H_6]	170	160
Etylen [C_2H_4]	260	250
Acetylen [C_2H_2]	70	20
Tlenek Węgla [CO]	260	280
Dwutlenek Węgla [CO_2]	4000	3500

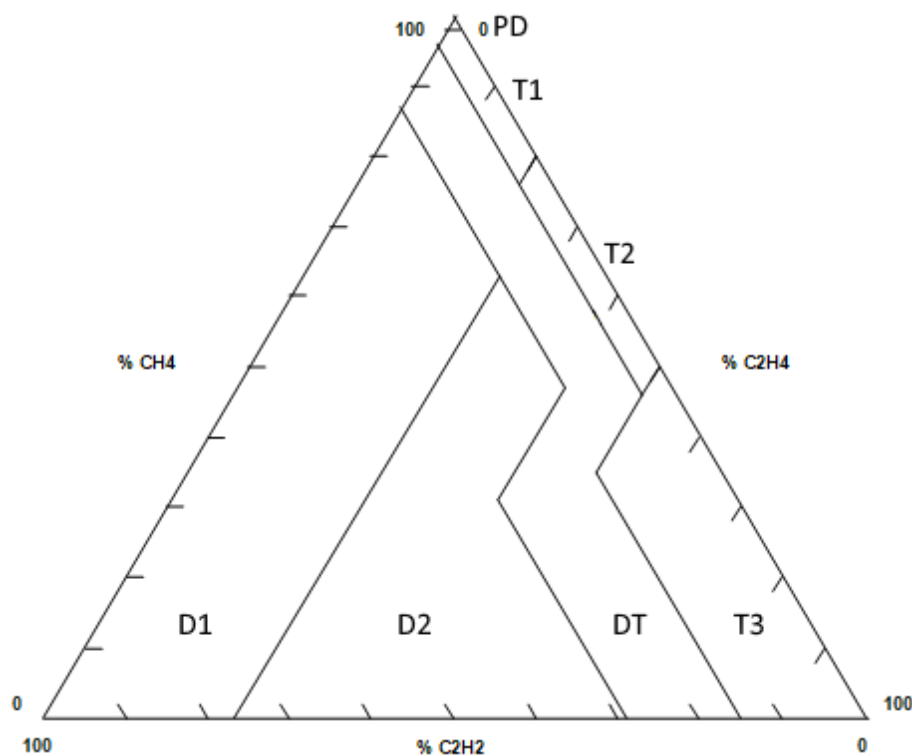
Można zauważyć, że niektóre gazy charakterystyczne mają znacznie większe znaczenie od pozostałych. Przykładowo, w oleju może znajdować się dużo dwutlenku węgla nawet przy pracy prawidłowej, natomiast obecność acetyleny w oleju jest przyczyną znacznych obaw. Wynika to głównie z mechanizmu rozkładu oleju transformatora. Gazy charakterystyczne posiadają różną kompleksowość struktury oraz różną łatwość powstawania. Dobrym przykładem jest analiza zależności koncentracji niektórych gazów od temperatury [6].



Rys. 3.1: Przybliżony wykres względnych koncentracji gazów w oleju zależnie od jego temperatury [6]

Jeśli temperatura oleju jest niska, to jedynym gazem, który może w oleju wystąpić jest wodór. Z tego powodu jeśli koncentracja wodoru jest zbyt duża, możliwe jest wystąpienie przegrzania niskotemperaturowego. Wraz ze wzrostem temperatury możliwe staje się wydzielanie z oleju słabiej związanych gazów. Etan posiada w swojej strukturze jedno

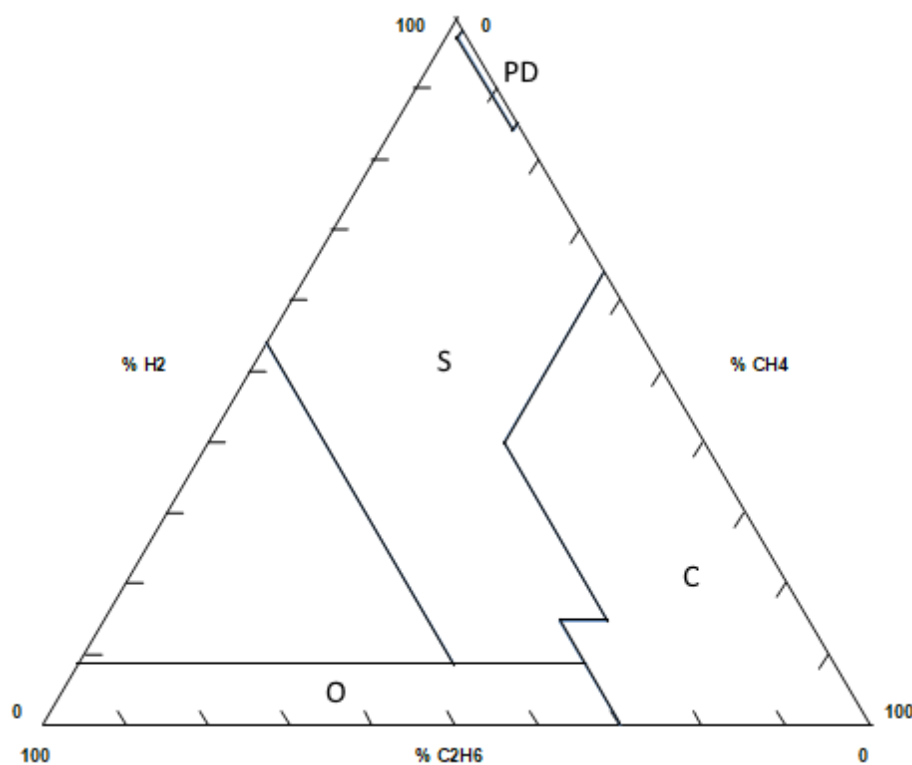
wiązanie między atomami węgla, a pozostałe są wiązaniami wodoru. Z tego powodu może on oddzielić się od reszty oleju w temperaturze powyżej 100 °C [6, 9]. Wiązanie metanowe jest trochę silniejsze, dlatego metan wydziela się z oleju najłatwiej przy temperaturze od 300 °C do 500 °C. Etylen posiada podwójne pomiędzy swoimi atomami węgla, dzięki czemu prawie nie pojawia się w oleju aż do temperatury powyżej 300 °C, a najlepiej się oddziela w temperaturze około 1000 °C. Na sam koniec pojawia się acetylen. Acetylen w strukturze posiada wiązanie aż potrójne pomiędzy węglami, dlatego wytrzymuje bardzo wysokie temperatury i pojawia się dopiero po około 700 °C. [6, 9, 10]. To tłumaczy ważność pojawiania się niektórych gazów. Trójka złożona z metanu, etylenu i acetylenu pozwala dosyć dokładnie określić temperaturę oraz poziom energii wyładowań w transformatorze. Test złożony z poziomu wodoru, etanu i metanu kwalifikuje rodzaj uszkodzeń o niższej temperaturze. Z kolei zestawienie środkowe etanu, metanu i etylenu umożliwia sprecyzowanie rodzaju uszkodzeń w rejonie średniej temperatury. Podzielenie koncentracji gazów rozpuszczonych w oleju na trójki umożliwi łatwe graficzne przedstawienie wyników analizy. Te trójkąty, nazwane od ich twórcy trójkątami Duvala, pozwalają na szybkie stwierdzenie jakich uszkodzeń należy poszukiwać w transformatorze posiadającym problematyczne koncentracje gazów palnych w swoim oleju. Michel Duval stworzył na potrzeby różnego rodzaju olejów transformatorowych siedem trójkątów badających koncentracje gazów. Jednak dla oleju mineralnego stosowane są trójkąty numer 1, 4 oraz 5.



Rys. 3.2: Trójkąt 1 Duvala

Pierwszy i najbardziej znany trójkąt Duvala dotyczy koncentracji metanu, etylenu oraz acetylenu w oleju mineralnym transformatora. Ten trójkąt służy do wstępnego określenia ‘mocy’ uszkodzenia danego transformatora. Każdy trójkąt Duvala podzielony jest na rejony

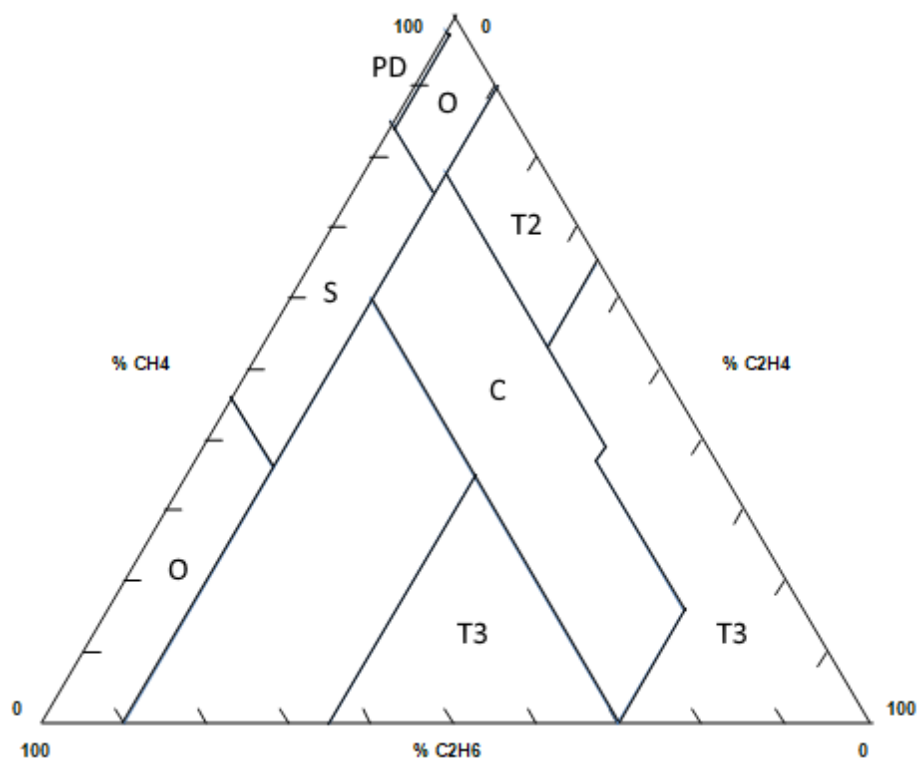
określające najbardziej prawdopodobną przyczynę uszkodzenia. W trójkącie 1 są to rejony D1, D2, DT, T1, T2, T3 oraz PD. Rejon D1 oznacza wyładowania niskiej energii, typu iskrowego. Takie wyładowania powodują wydzielanie się metanu i acetylenu, ale niekoniecznie etylenu. Przy wyładowaniach wysokiej energii dochodzi do zwiększenia ilości acetylenu kosztem metanu, dlatego dolno-środkowa sekcja oznaczana jest jako D2. Przedział DT określa jednoczesne wystąpienie wyładowań różnej energii wraz z przegrzaniem oleju. Dla niskich poziomów acetylenu znajdujemy rejony T1, T2 oraz T3, które oznaczają kolejno przegrzanie niskotemperaturowe (poniżej 300 °C), średniotemperaturowe (pomiędzy 300 °C a 700 °C) oraz wysokotemperaturowe (powyżej 700 °C). Warto zauważyć, że podział tych sekcji jest zgodny z wyżej przedstawionym wykresem – im wyższa temperatura tym mniejszą rolę gra metan a olej zapęnia się mieszanek etylenu i acetylenu. Kiedy jednak występuje bardzo dużo metanu prawdopodobne stają się wyładowania niezupełne w przedziale PD. Te jednak, jak i podejrzenia o przegrzaniach, muszą zostać sprecyzowane trójkątami 4 i 5 [5, 9, 10, 11].



Rys. 3.3: Trójkąt 4 Duvala

Trójkąt czwarty składa się z trójki wodoru, metanu oraz etanu. Ze względu na to, że badane są gazy które łatwo się wydzielają z oleju, trójkąt ten jest stosowany tylko w dwóch przypadkach: jeśli badanie trójkątem pierwszym wykazało występowanie wyładowań niezupełnych bądź przegrzanie niskotemperaturowe. Tutaj dochodzą trzy kolejne typy możliwych uszkodzeń w transformatorze, które mogą wystąpić przy niskiej temperaturze. Dla niskiej koncentracji wodoru lecz dużej koncentracji etanu spodziewamy się znaleźć zgodnie z rejonem O przegrzanie olejowo papierowe bez zwęglania. Dla dużych koncentracji metanu i niskich etanu występuje jednak zagrożenie zwęglania papieru, co reprezentuje obszar C.

W sekcji środkowo-górnej oznaczonej S następuje prawdopodobieństwo zawartości gazów pasożytniczych w oleju. Jeśli wykryte w trójkącie 1 wyładowania niezupełne są prawdziwe, to w trójkącie 4 znajdziemy koncentracje odpowiadające rejonowi PD. Istnieje tutaj jeden fragment nieoznaczony. Jeśli tam znajdą się koncentracje gazów, to oznacza że oryginalny wynik badań w trójkącie 1 był prawidłowy [5, 9, 10, 11].

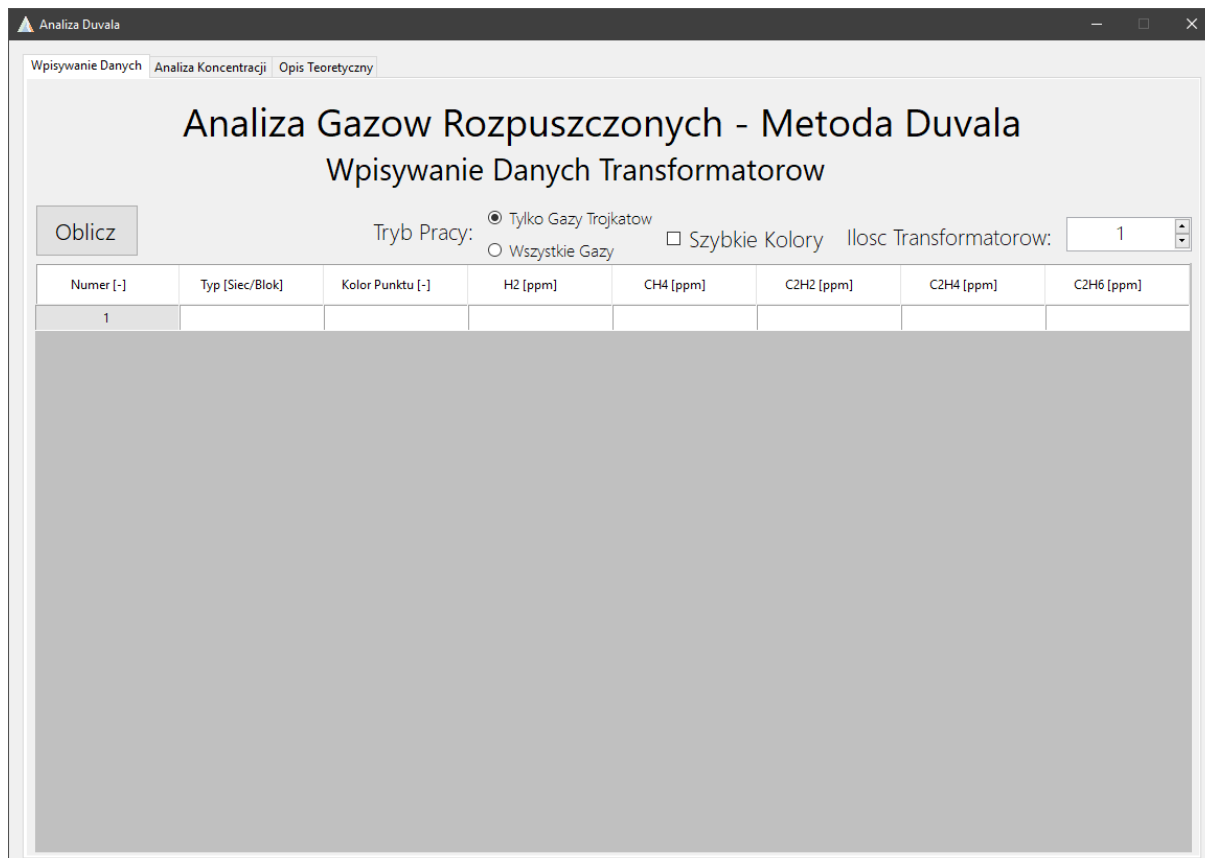


Rys. 3.4: Trójkąt 5 Duvala

Jeśli w trójkącie 1 wykryto przegrzania wyższej temperatury, to należy odnieść się do trójkąta 5. Ten trójkąt sprawdza koncentracje etanu, metanu oraz etylenu. Dla niskich koncentracji etylenu występują trzy możliwe uszkodzenia transformatora: występują przegrzania w oleju i papierze bez zwęglenia, w oleju występują gazy pasożytnicze albo rzeczywiście dochodzi do wyładowań niezupełnych. Dla koncentracji wyższych stan zależy od koncentracji pozostałych. W dwóch specyficznych rejonach T3 na środkowym dole oraz dla niskich koncentracji etanu istnieje możliwość przegrzań wysokiej temperatury. Dla przedziału koncentracji etylenu oraz niskiej zawartości etanu mamy przegrzania średniej temperatury T2. Pomiędzy T2 oraz T3 znajduje się nieregularny rejon C mówiący o możliwym zwęgleniu papieru. Rejon nieoznaczony, tak jak w trójkącie 4, oznacza że oryginalny wynik badania trójkątem 1 jest prawidłowy [5, 9, 10, 11].

4 Charakterystyka projektowanego programu

W celu zautomatyzowania procesu analizy koncentracji gazów rozpuszczonych w oleju transformatora został stworzony program o nazwie Analiza Duvala. Wykonany program jest programem oknowym wykonanym w języku C# przy pomocy środowiska programistycznego Visual Studio. Poniżej przedstawiono jego działanie oraz cechy główne.



Rys. 4.1: Strona główna programu Analiza Duvala po uruchomieniu

Program został podzielony na trzy strony w celu łatwiejszego użytkowania – Wpisywanie Danych, Analiza Koncentracji oraz Opis Teoretyczny. Pierwsza strona zawiera, zgodnie ze swoją nazwą, pole do wpisywania zmierzonych koncentracji gazów dla kolejnych transformatorów. Wielkość tabeli wynika z możliwej potrzeby wykonania badań na bardzo dużej ilości danych transformatorów. Wykorzystując kontrolkę ilości transformatorów można ręcznie określić dla ilu transformatorów powinniśmy wykonać dane badanie. W ramach danych należy wpisać numer transformatora, jego typ, kolor punktu na trójkącie Duvala oraz same koncentracje. Można wykorzystać opcję „Szybkie Kolory”, która automatycznie przypisze kolory dla kolejnych transformatorów. Opcja „Tryb Pracy” ustala, czy bierzemy pod uwagę tylko gazy z trójkątów Duvala czy też wszystkie wydzielające się z oleju. Przycisk „Oblicz” przechodzi do Analizy Koncentracji.

Przeprowadzane przez program obliczenia są zgodne z następującym algorytmem. Na początku program wybiera dane z transformatora numer 1. Sprawdza on typ transformatora.

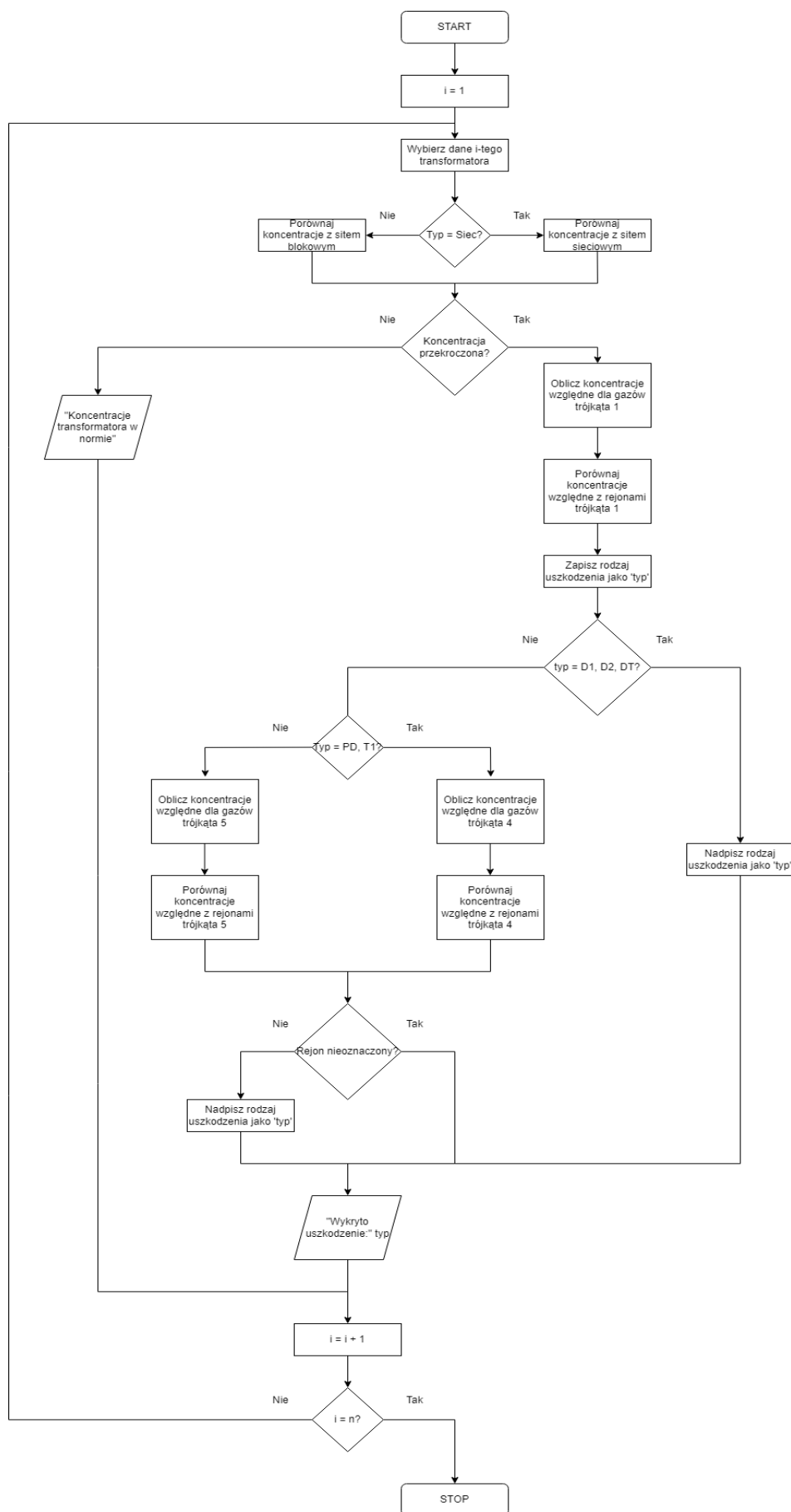
Następnie sprawdzane są kolejne wielkości koncentracji. Jeśli wszystkie są w normie, program informuje użytkownika o tym i kończy swoje działanie. Jeśli którakolwiek z nich zostanie przekroczona, to program przechodzi do części obliczającej koncentracje względne trójkąta 1. Obliczone koncentracje względne pozwalają na sprawdzenie w którym rejonie znajduje się punkt tych koncentracji. Jeśli znajdzie się w rejonie niezwiązanym z przegrzaniem, czy wyładowaniami niezupełnymi, to użytkownik zostaje poinformowany o wybranym rejonie, a program się kończy. Jeśli wykryte zostaną przegrzania niskiej temperatury, program przechodzi do trójkąta 4 i oblicza jego koncentracje względne. Tam albo wykryta zostanie przyczyna przegrzania albo program powróci do wyniku z trójkąta 1. Jeśli z kolei w trójkącie 1 wykryto przegrzanie wysokiej temperatury to przechodzi do trójkąta 5. W trójkącie 5 obliczone są jego koncentracje względne i sprawdzony rejon punktu. Tutaj również albo wykryto przyczynę przegrzania albo wraca się do wyniku z trójkąta 1. Koncepcyjnie jest to dosyć prosty algorytm do zrozumienia, ale jego struktura jest skomplikowana. Przedstawiony został on poniżej przy pomocy pseudokodu oraz schematu blokowego. Faktyczny algorytm w kodzie zostanie przedstawiony w rozdziale 6.

Listing 4.1. Pseudokod przedstawiający algorytm programu

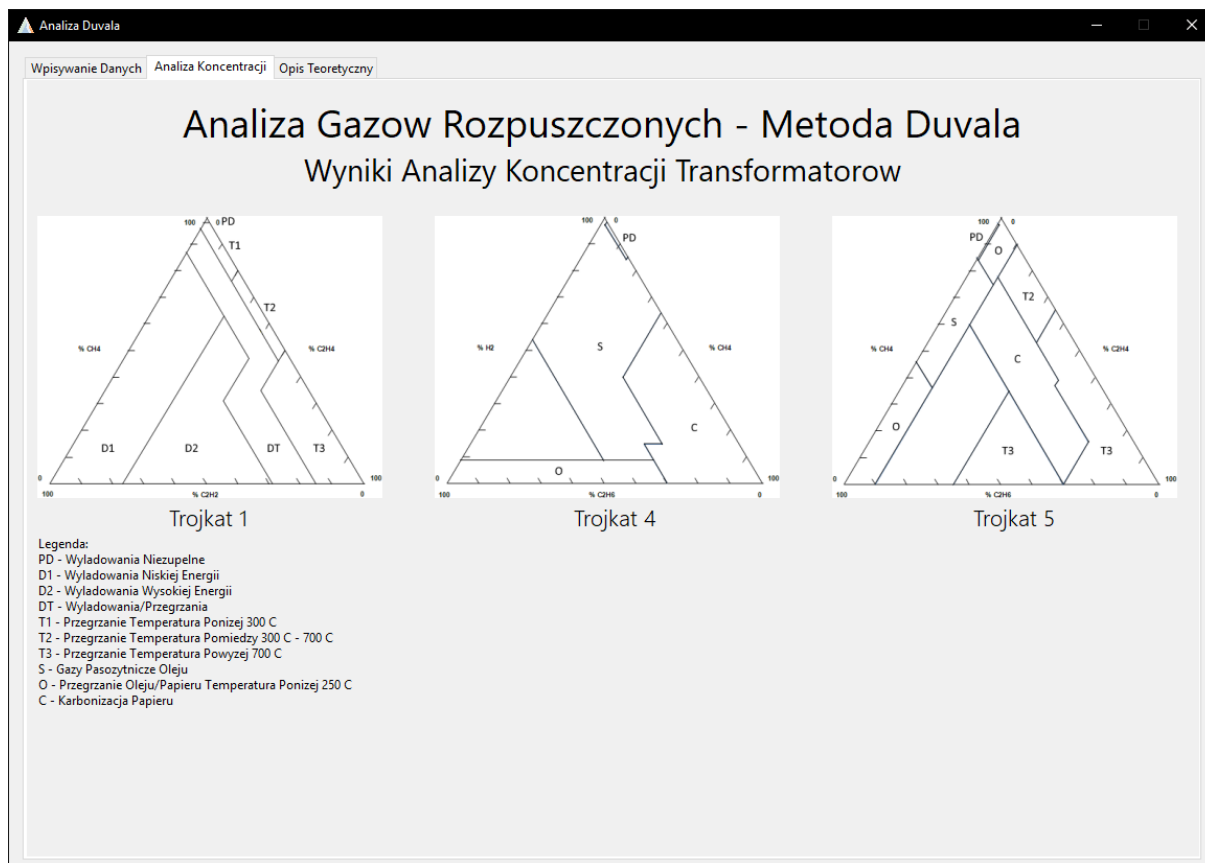
```

1   for(i = 1; i < n; i++)
2   {
3       dane = transformator[dane[i];
4       if type = siec then transformator[granice] = siec[granice]
5       else transformator[granice] = blok[granice];
6       if(any d in dane > transformator[granice[i]])
7       {
8           koncentracje = obliczkoncentracje(d, trojkat1);
9           typ = rejonduval(koncentracje, trojkat1);
10          if(typ != D1 | D2 | DT)
11          {
12              if(typ = PD | T1)
13              {
14                  koncentracje = obliczkoncentracje(d, trojkat4);
15                  typ = rejonduval(koncentracje, trojkat4);
16              }
17              else
18              {
19                  koncentracje = obliczkoncentracje(d, trojkat5);
20                  typ = rejonduval(koncentracje, trojkat5);
21              }
22          }
23          write(„Wykryto uszkodzenie:” + typ);
24      }
25      else write(„Koncentracje transformatora w normie”);
26  }

```

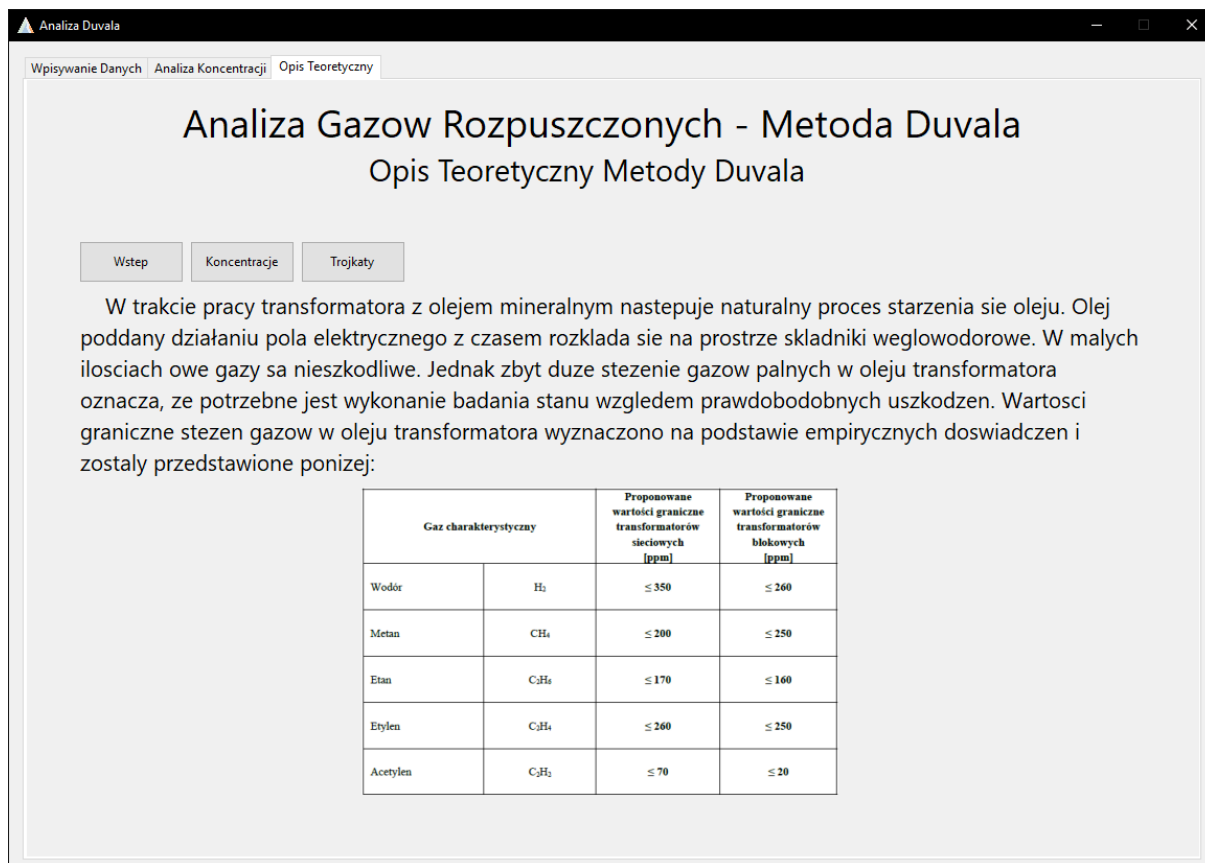


Rys. 4.2: Schemat blokowy algorytmu obliczeniowego



Rys. 4.3: Strona druga programu Analiza Duvala

Na stronie Analiza Koncentracji znajdziemy główną część analityczną. Przedstawione są tutaj trójkąty 1, 4 i 5 Duvala które wykorzystuje się do analizy gazów rozpuszczonych w oleju mineralnym. Po wpisaniu danych w pierwszej zakładce i naciśnięciu przycisku „Oblicz” na tych trójkątach pojawią się punktu reprezentujące zawyżone koncentracje gazów (jeśli koncentracje są w normie, to punkt się nie pojawi). Poniżej trójkątów znajdziemy pole tekstowe prezentujące legendę dotyczącą kolejnych rejonów trójkątów Duvala. Po wykonaniu obliczeń pod legendą pokażą się również słowne opisy stanu kolejnych transformatorów. Jeśli koncentracje zmierzone nie przekraczają poziomów z Tab. 3.1, to pojawi się tylko informacja o tym że koncentracje są w normie. Jeśli zostały przekroczone, to pokazana zostanie informacja o zdiagnozowanym prawdopodobnym uszkodzeniu oraz o rejonie w którym znajdziemy punkt danego transformatora. Dzięki temu że owe informacje znajdują się w polu tekstowym, łatwe staje się skopiwanie ich do pliku tekstowego oraz zamieszczenie w odpowiednim dokumencie o stanie badanych transformatorów.



Rys. 4.4: Strona trzecia programu Analiza Duvala

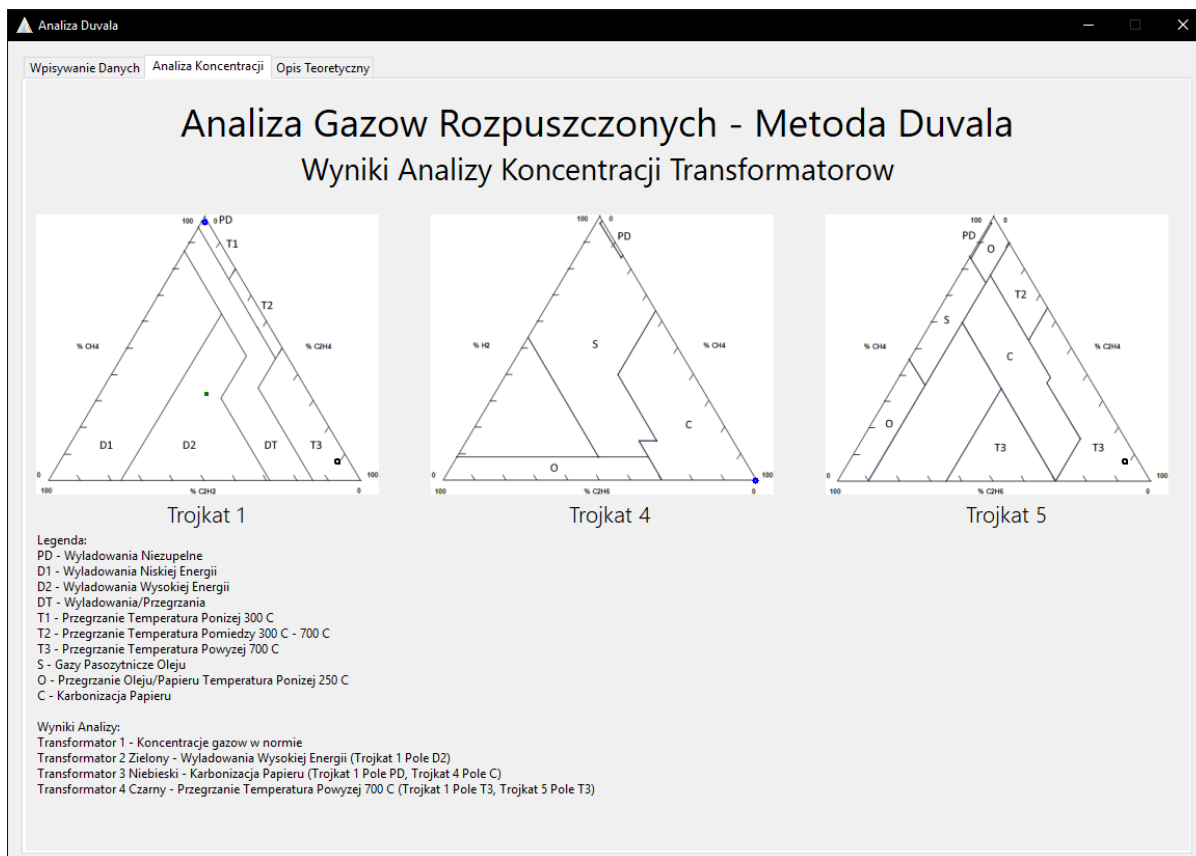
Na ostatniej zakładce programu znajdziemy krótki opis tłumaczący działanie analizy gazów rozpuszczonych w oleju transformatora wraz z wykorzystaniem trójkątów Duvala. Kolejne zakładki informacyjne można przełączać między sobą przy pomocy przycisków „Wstęp”, „Koncentracje” oraz „Trójkąty”. Na zakładce „Wstęp” wytłumaczono podstawowe fakty dotyczące badania gazów rozpuszczonych w oleju – starzenie się oleju, jego rozkład na prostsze gazy, sprawdzanie koncentracji oraz siła wartości granicznych dla transformatorów sieciowych i blokowych zgodnie z przedstawionymi w Tab. 3.1. W zakładce „Koncentracje” przedstawione zostały kolejne badane gazy w czasie analizy oraz sposób wyprowadzenia względnych koncentracji w celu dalszej analizy przy pomocy trójkątów Duvala. Do zakładki „Trójkąty” przedstawione zostały Trójkąty Duvala, ich sposób działania oraz kolejne rejony zawarte w nich. Ostatnia strona jest czysto informacyjna i nie wpływa w żadnym stopniu na działania wykonywane w ramach analizy koncentracji gazów wpisanych na pierwszej stronie.

5 Przykład działania stworzonego programu

Po uruchomieniu programu użytkownik zostaje przedstawiony pierwszej stronie programu, „Wpisywanie danych”. Na tej stronie można wykorzystać dostępne przyciski do wpisania danych kolejnych transformatorów w ramach badania. W celu prezentacji działania programu zbadamy cztery transformatory. Pierwszy transformator będzie transformatorem sieciowym o koncentracjach w normie. Drugi transformator to transformator blokowy posiadający w oleju zawyżone koncentracje metanu, etylenu i acetyleny, które powinny zostać zinterpretowane jako wystąpienie wysosko-energetycznych wyładowań. W trzecim oleju transformatora sieciowego zawarta będzie bardzo duża ilość metanu, która powinna odpowiadać karbonizacji papieru na trójkącie czwartym. W ostatnim oleju transformatora sieciowego zamieścimy duży poziom etylenu, który zostanie oznaczony na trójkącie piątym jako przegrzanie o wysokiej temperaturze. Przy pomocy kontrolki „Ilość transformatorów” wybieramy cztery transformatory oraz wpisujemy kolejne dane. Jako kolor możliwe jest wpisanie wielu popularnych kolorów. w tym przypadku wykorzystamy kolor czerwony, zielony, niebieski oraz czarny. Po wpisaniu danych można nacisnąć przycisk „Oblicz”.

Numer [-]	Typ [Siec/Blok]	Kolor Punktu [-]	H2 [ppm]	CH4 [ppm]	C2H2 [ppm]	C2H4 [ppm]	C2H6 [ppm]
1	Siec	Czerwony	290	110	30	130	90
2	Blok	Zielony	100	300	300	300	80
3	Siec	Niebieski	10	15000	40	30	10
4	Blok	Czarny	50	80	40	930	50

Rys. 5.1: Strona pierwsza programu po wpisaniu danych transformatora



Rys. 5.2: Strona druga programu po wykonaniu obliczeń dla wstawionych powyżej danych

Kiedy program wykona obliczenia, możemy zauważyć wyniki analizy na stronie drugiej. Jak widać na powyższym rysunku, wyniki analizy są w pełni zgodne z naszymi przewidywaniami. W transformatorze pierwszym koncentracje gazów nie przekroczyły normy, dlatego nie pojawia się od na trójkątach, a w wynikach tekstowych figuruje opis „Koncentracje gazów w normie”. W transformatorze drugim zawyżone koncentracje trzech gazów trójkąta pierwszego umieściły badany punkt w polu D2, co odpowiada opisowi „Wyladowania Wysokiej Energii (Trójkąt 1 Pole D2)”. W trzecim przypadku wykryto bardzo dużą zawartość metanu, która zdominowała i w trójkącie 1 w polu PD jak i w trójkącie 4 w polu C, co potwierdza opis „Karbonizacja Papieru (Trójkąt 1 Pole PD, Trójkąt 4 Pole C)”. W ostatnim zbiorze koncentracji wysoki poziom etylenu pokazał się na polach T3 w trójkątach 1 oraz 5, co potwierdza opis „Przeprzazanie Temperatura Powyżej 700 °C (Trójkąt 1 Pole T3, Trójkąt 5 Pole T3)”. Wykonana prezentacja potwierdza prawidłowość działania programu na tych przykładowych danych.

6 Implementacja programistyczna projektowanej aplikacji

Program służący do analizy koncentracji gazów został wykonany w języku C# przy pomocy środowiska programistycznego Visual Studio. Język C# jest wygodny w pisaniu, ponieważ zawiera on wyraźny podział całego kodu na poszczególne funkcje, a wewnątrz nich znajdziemy komendy służące do wykonywania zadań. Ze względu na to, że C# to język wysokiego poziomu, jego komendy są zrozumiałe dla każdej osoby znającej język angielski. Poniżej wykonana została pełna analiza poszczególnych funkcji wykorzystanych w programie.

Listing 6.1. Fragment kodu wstępnego programu

```
27 public partial class Form : System.Windows.Forms.Form
28     {
29         string[] colors = { "Czarny", "Czerwony", "Rozowy",
        "Zolty", "Pomaranczowy", "Brazowy", "Szary", "Zielony",
        "Niebieski", "Fioletowy" };
30         string[,] dataRaw;
31         double[,] dataConc;
32         string nl = System.Environment.NewLine;
33         List<tri1Point> points1 = new List<tri1Point>();
34         List<tri4Point> points4 = new List<tri4Point>();
35         List<tri5Point> points5 = new List<tri5Point>();
```

Całość programu znajduje się wewnątrz klasy o nazwie *Form*. Klasy w języku C# służą między innymi jako kolejny sposób podziału programu na części oraz ułatwienia dostępu do zapisanych funkcji. W naszym programie jest to jedyna niezbędna klasa, ponieważ ją Visual Studio wywołuje w celu uruchomienia okna. Na samym początku programu definiujemy przydatne zmienne, które pojawią się w dalszym kodzie. Pierwszym jest *colors*, lista kolorów które mogą przyjąć punkty na trójkątach. Wielkości *dataRaw* i *dataConc* to zmienne zawierające dane wszystkich transformatorów. Różnicą pomiędzy nimi jest typ danych – *dataRaw* zawiera w sobie dane transformatorów zapisane jako tekst (*string*), a *dataConc* z kolei posiada tylko wartości koncentracji zapisane jako liczby całkowite (*double*). Wartością *nl* jest symbol nowej linii. W języku C# ten znak dostępny jest dopiero pod poszczególnymi klasami *System* i *Environment*. W celu ułatwienia dostępu wywołujemy te klasy jeden raz a potem stosujemy tylko zmienną *nl*. Na koniec mamy trzy listy, *points1*, *points4* i *points5*. One zawierają w sobie dane poszczególnych punktów do kolejno trójkątów 1, 4 i 5. Ich typy danych są utworzone ręcznie struktury przedstawione poniżej.

Listing 6.2. Definicja struktur *points1*, *points4* i *points5*

```
1 struct tri1Point
2     {
3         public tri1Point(double CH4, double C2H2, double
        C2H4, string color, int i)
```

```

4          {
5              pCH4 = CH4;
6              pC2H2 = C2H2;
7              pC2H4 = C2H4;
8              pColor = color;
9              pi = i;
10         }
11
12         public double pCH4 { get; set; }
13         public double pC2H2 { get; set; }
14         public double pC2H4 { get; set; }
15         public string pColor { get; set; }
16         public int pi { get; set; }
17     }
18
19     struct tri4Point
20     {
21         public tri4Point(double H2, double CH4, double
C2H6, string color, int i)
22         {
23             pH2 = H2;
24             pCH4 = CH4;
25             pC2H6 = C2H6;
26             pColor = color;
27             pi = i;
28         }
29
30         public double pH2 { get; set; }
31         public double pCH4 { get; set; }
32         public double pC2H6 { get; set; }
33         public string pColor { get; set; }
34         public int pi { get; set; }
35     }
36
37     struct tri5Point
38     {
39         public tri5Point(double CH4, double C2H4, double
C2H6, string color, int i)
40         {
41             pCH4 = CH4;
42             pC2H4 = C2H4;
43             pC2H6 = C2H6;
44             pColor = color;
45             pi = i;
46         }
47
48         public double pCH4 { get; set; }
49         public double pC2H4 { get; set; }
50         public double pC2H6 { get; set; }
51         public string pColor { get; set; }
52         public int pi { get; set; }
53     }

```

Tutaj mamy struktury *points1*, *points4* i *points5*. Struktury można rozumieć jako obiekty zawierające dane o różnych typach. W tych strukturach przechowujemy potrzebne

dane o naszych punktach, czyli koncentracje gazów, wybrany kolor punktu oraz indeks odpowiadających im transformatorów.

Listing 6.3. Funkcja `init()`

```

1  void init()
2      {
3          radioSome.Checked = true;
4          dataGrid.RowCount = 1;
5          dataGrid.ColumnCount = 8;
6          for(int i = 0; i < 8; i++)
7          {
8              dataGrid.Columns[i].Width = dataGrid.Width / 8;
9          }
10         dataGrid.Columns[0].HeaderText = "Numer [-]";
11         dataGrid.Columns[1].HeaderText = "Typ [Siec/Blok]";
12         dataGrid.Columns[2].HeaderText = "Kolor Punktu [-]";
13         dataGrid.Columns[3].HeaderText = "H2 [ppm]";
14         dataGrid.Columns[4].HeaderText = "CH4 [ppm]";
15         dataGrid.Columns[5].HeaderText = "C2H2 [ppm]";
16         dataGrid.Columns[6].HeaderText = "C2H4 [ppm]";
17         dataGrid.Columns[7].HeaderText = "C2H6 [ppm]";
18         dataGrid[0, 0].Value = 1;
19     }

```

Funkcja `init()`, wywoływana na samym początku pracy programu, odpowiada za inicjalizację podstawowych elementów programu. Nasz program musi mieć pewne wartości początkowe których nie można ustawić ręcznie. Przycisk *radioSome*, który odpowiada za wybranie opcji „Tylko Gazy Trojkatow”, posiada własność *Checked* która pokazuje czy został on zaznaczony. Można zaznaczyć ten przycisk programatycznie ustawiając tą wartość na *true*. Potem definiujemy tabelę danych *dataGrid*. Ustawiamy ilość wierszy *RowCount* na 1 oraz kolumn *ColumnCount* na 8. Potem za pomocą pętli *for* wykonujemy zmianę szerokości dla wszystkich 8 kolumn – ustawiamy wartość *Width* dla *Columns* o indeksie *i* na szerokość tabeli *dataGrid.Width* podzielonej przez 8. Dzięki temu każda kolumna zajmie tyle samo miejsca. Dla kolumn ustawiamy również teksty zawierające się w nagłówkach. Chcemy, aby kolejne kolumny odpowiadały wartościom numeru transformatora, typu, koloru punktu oraz poszczególnych koncentracji gazów.

Listing 6.4. Funkcja `buttonCalc_click()`

```

1  private void buttonCalc_Click(object sender, EventArgs e)
2      {
3          resultBox.Text = @"Legenda:
4  PD - Wyladowania Niezupelne
5  D1 - Wyladowania Niskiej Energii
6  D2 - Wyladowania Wysokiej Energii
7  DT - Wyladowania/Przegrzania
8  T1 - Przegrzanie Temperatura Ponizej 300 C

```

```
9      T2 - Przegrzanie Temperatura Pomiedzy 300 C - 700 C
10     T3 - Przegrzanie Temperatura Powyzej 700 C
11     S - Gazy Pasozytnicze Oleju
12     O - Przegrzanie Oleju/Papieru Temperatura Ponizej 250 C
13     C - Karbonizacja Papieru
14
15     ";
16         int ngas = 8;
17         if (radioAll.Checked)
18         {
19             ngas = 11;
20         }
21         dataRaw = new string[dataGrid.RowCount, ngas];
22         dataConc = new double[dataGrid.RowCount, ngas - 3];
23         for (int i = 0; i < ngas; i++)
24         {
25             for(int j = 0; j < dataGrid.RowCount; j++)
26             {
27                 try
28                 {
29                     dataRaw[j, i] = dataGrid[i,
30 j].Value.ToString();
31                     if (i > 2)
32                     {
33                         dataConc[j, i - 3] =
34 double.Parse(dataRaw[j, i]);
35                     }
36                 }
37                 catch
38                 {
39                     MessageBox.Show("Blad w danych
40 transformatorow. Podaj prawidlowe dane", "Zle dane",
41 MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
42                     return;
43                 }
44             }
45         }
46         tabControl.SelectedIndex = 1;
47         resultBox.Text += "Wyniki Analizy:" + nl;
48         points1.Clear();
49         points4.Clear();
50         points5.Clear();
51         for (int i = 0; i < dataGrid.RowCount; i++)
52         {
53             if (isNecessary(i))
54             {
55                 analyze(i);
56             }
57             else
58             {
59                 resultBox.Text += "Transformator " + (i +
60 1) + " - Koncentracje gazow w normie" + nl;
61             }
62         }
63     }
```

Po naciśnięciu przycisku „Oblicz”, który w kodzie nazywa się *buttonCalc*, wywołane zostaje zdarzenie *buttonCalc_Click()*. Zdarzenia są specjalnymi funkcjami, które są wywoływane automatycznie przez program w specyficznych warunkach. Tutaj funkcja o nazwie *buttonCalc_Click()* przypisana jest naciśnięciu przycisku *buttonCalc*. Kiedy naciśniemy przycisk, wywołane zostają działania w funkcji. Najpierw ustawiamy tekst w sekcji wynikowej *resultBox* tak aby pokazywał legendę do poszczególnych rejonów trójkątów. Działa to jako reset, aby nie nakładały się na siebie teksty z różnych analiz. Następnie pobieramy dane z tabeli *dataGrid*. Zmienna lokalna *ngas* decyduje, czy chcemy wybrać gazy wszystkie czy tylko gazy z trójkątów. Jeśli wybierzemy wszystkie przyciskiem *radioAll*, to przyjmuje wartość 11. Jeśli nie, ustala się na 8. Definiujemy *dataRaw* i *dataConc* tak aby zawierały odpowiednio wszystkie dane transformatorów oraz tylko koncentracje. Podwójną pętlą *for* pobieramy dane z tabeli. Blok *try/catch* wyłapuje jakiegokolwiek błędy przy poborze danych – najpierw program próbuje (*try*) przypisać do *dataRaw* w indeksy *j*, *i* wpisać dane z *dataGrid* o indeksach *i*, *j* (typowa konwersja, ponieważ w C# indeksy kolumn i wierszy w liście są odwrotne niż w tabelach), a potem do *dataConc* jeśli indeks jest większy od 2 (ponieważ indeks 0 to numer transformatora, indeks 1 to typ, indeks 2 to kolor a od 3 wwyż mamy koncentracje gazów). Jeśli wykryje jakiegokolwiek błąd, to go wyłapuje (*catch*) i wyświetla błąd za pomocą *MessageBox.Show()*. Po pobraniu danych przechodzi do zakładki analizy, ustawiając indeks zakładek *tabControl.SelectedIndex* na 1. Do tekstu wynikowego wpisuje „Wyniki Analizy: ” oraz kasuje stare dane punktów *points1*, *points4*, *points5*. Dla kolejnych transformatorów wykonuje się sprawdzenie, czy potrzebna jest dalsza analiza za pomocą funkcji *isNecessary()*. Jeśli tak, to przenosi dane do funkcji *analize()*. Jeśli nie, to wpisuje że dla danego transformatora koncentracje gazów są w normie.

Listing 6.5. Funkcja *isNecessary()*

```

1  bool isNecessary(int i)
2      {
3          bool result = false;
4          if ((dataRaw[i, 1] == "Siec") | (dataRaw[i, 1] ==
"Siec") | (dataRaw[i, 1] == "siec") | (dataRaw[i, 1] == "S") |
(dataRaw[i, 1] == "s"))
5              {
6                  if (dataConc[i, 0] > 350)
7                      result = true;
8                  if (dataConc[i, 1] > 200)
9                      result = true;
10                 if (dataConc[i, 2] > 70)
11                     result = true;
12                 if (dataConc[i, 3] > 260)
13                     result = true;
14                 if (dataConc[i, 4] > 170)
15                     result = true;
16                 if (radioAll.Checked)
17                 {
18                     if (dataConc[i, 5] > 260)
19                         result = true;
20                     if (dataConc[i, 6] > 40)

```

```

21         result = true;
22         if (dataConc[i, 7] > 30)
23             result = true;
24     }
25 }
26     else if ((dataRaw[i, 1] == "Blok") | (dataRaw[i, 1]
== "BLOK") | (dataRaw[i, 1] == "blok") | (dataRaw[i, 1] == "B")
| (dataRaw[i, 1] == "b"))
27     {
28         if (dataConc[i, 0] > 260)
29             result = true;
30         if (dataConc[i, 1] > 250)
31             result = true;
32         if (dataConc[i, 2] > 20)
33             result = true;
34         if (dataConc[i, 3] > 250)
35             result = true;
36         if (dataConc[i, 4] > 160)
37             result = true;
38         if (radioAll.Checked)
39         {
40             if (dataConc[i, 5] > 280)
41                 result = true;
42             if (dataConc[i, 6] > 40)
43                 result = true;
44             if (dataConc[i, 7] > 40)
45                 result = true;
46         }
47     }
48     else
49     {
50         MessageBox.Show("Nieprawidłowy typ
transformatora! Wpisz prawidłowy typ Siec lub Blok", "Zły typ",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
51         return false;
52     }
53     return result;
54 }

```

Funkcja *isNecessary()* sprawdza za pomocą sita zgrubnego czy potrzebne jest wykonanie dalszej analizy danego transformatora. Samo sprawdzenie jest proste, ale pochłania trochę miejsca. Na początek ustawiamy zmienną *result* na *false*, a potem wykonujemy sprawdzenia dla kolejnych gazów. To klasyczna metoda, ponieważ jeśli którykolwiek warunek zostanie spełniony, to wartość *result* zmieni się na *true* i zostanie na końcu przesłana, a jeśli nie to pozostanie jako *false*. Najpierw patrzymy, czy został wybrany transformator sieciowy czy blokowy odnosząc się do tekstu wpisanego w kolumnę typu. Potem kolejne gazy sprawdza się warunkiem *if*. Jeśli została przekroczona koncentracja danego gazu to *result* zmienia się na *true*. Jeśli wybraliśmy wszystkie gazy przyciskiem *radioAll*, to sprawdza się też koncentracje dla gazów spoza trójkątów. Jeśli po drodze nastąpi jakikolwiek błąd, to informujemy o nim użytkownika za pomocą *MessageBox.Show()*.

Listing 6.5. Funkcja analize()

```

1  void analize(int i)
2      {
3          double pH2, pCH4, pC2H2, pC2H4, pC2H6;
4          pCH4 = dataConc[i, 1] / (dataConc[i, 1] +
dataConc[i, 2] + dataConc[i, 3]);
5          pC2H2 = dataConc[i, 2] / (dataConc[i, 1] +
dataConc[i, 2] + dataConc[i, 3]);
6          pC2H4 = dataConc[i, 3] / (dataConc[i, 1] +
dataConc[i, 2] + dataConc[i, 3]);
7          if (pC2H4 <= 0.23 & pC2H2 > 0.13)
8              {
9                  resultBox.Text += "Transformator " + (i + 1) +
" " + dataRaw[i,2] + " - Wyladowania Niskiej Energii (Trojkat 1
Pole D1)";
10                 points1.Add(new tri1Point(pCH4, pC2H2, pC2H4,
dataRaw[i, 2], i));
11             }
12             else if ((pC2H4 > 0.23 & pC2H4 <= 0.4 & pC2H2 >
0.13) | (pC2H4 > 0.4 & pC2H2 > 0.29))
13                 {
14                     resultBox.Text += "Transformator " + (i + 1) +
" " + dataRaw[i, 2] + " - Wyladowania Wysokiej Energii (Trojkat
1 Pole D2)";
15                     points1.Add(new tri1Point(pCH4, pC2H2, pC2H4,
dataRaw[i, 2], i));
16                 }
17                 else if (pC2H2 <= 0.04 & pC2H4 <= 0.2 & pCH4 <=
0.98)
18                     {
19                         resultBox.Text += "Transformator " + (i + 1) +
" " + dataRaw[i, 2] + " - Przegrzanie Temperatura Ponizej 300 C
(Trojkat 1 Pole T1)";
20                         points1.Add(new tri1Point(pCH4, pC2H2, pC2H4,
dataRaw[i, 2], i));
21                     }
22                     else if (pCH4 > 0.98)
23                         {
24                             points1.Add(new tri1Point(pCH4, pC2H2, pC2H4,
dataRaw[i, 2], i));
25                             pH2 = dataConc[i, 0] / (dataConc[i, 0] +
dataConc[i, 1] + dataConc[i, 4]);
26                             pCH4 = dataConc[i, 1] / (dataConc[i, 0] +
dataConc[i, 1] + dataConc[i, 4]);
27                             pC2H6 = dataConc[i, 4] / (dataConc[i, 0] +
dataConc[i, 1] + dataConc[i, 4]);
28                             if (pH2 <= 0.09 & pC2H6 > 0.3)
29                                 {
30                                     resultBox.Text += "Transformator " + (i +
1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Przegrzanie Oleju/Papieru
Temperatura Ponizej 250 C (Trojkat 1 Pole PD, Trojkat 4 Pole
O)";
31                                     points4.Add(new tri4Point(pH2, pCH4, pC2H6,
dataRaw[i, 2], i));
32                                 }

```

```

33         else if ((pH2 <= 0.15 & pC2H6 <= 0.3 & pC2H6 >
34             0.24) | (pC2H6 <= 0.24 & pCH4 > 0.36))
35             {
36                 resultBox.Text += "Transformator " + (i +
37                     1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Karbonizacja Papieru (Trojkat 1
38                     Pole PD, Trojkat 4 Pole C)";
39                 points4.Add(new tri4Point(pH2, pCH4, pC2H6,
40                     dataRaw[i, 2], i));
41             }
42             else if (pC2H6 <= 0.01 & pCH4 > 0.04 & pCH4 <=
43                 0.15)
44             {
45                 resultBox.Text += "Transformator " + (i +
46                     1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Wyladowania Niezupelne (Trojkat
47                     1 Pole PD, Trojkat 4 Pole PD)";
48                 points4.Add(new tri4Point(pH2, pCH4, pC2H6,
49                     dataRaw[i, 2], i));
50             }
51             else if (pC2H6 > 0.46)
52             {
53                 resultBox.Text += "Transformator " + (i +
54                     1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Gazy Pasozytnicze Oleju (Trojkat
55                     1 Pole PD, Trojkat 4 Pole S)";
56                 points4.Add(new tri4Point(pH2, pCH4, pC2H6,
57                     dataRaw[i, 2], i));
58             }
59             else
60             {
61                 resultBox.Text += "Transformator " + (i +
62                     1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Wyladowania Niezupelne (Trojkat
63                     1 Pole PD)";
64             }
65             else if (pC2H2 <= 0.04 & pC2H4 > 0.2 & pC2H4 < 0.5)
66             {
67                 points1.Add(new tri1Point(pCH4, pC2H2, pC2H4,
68                     dataRaw[i, 2], i));
69                 pCH4 = dataConc[i, 1] / (dataConc[i, 1] +
70                     dataConc[i, 3] + dataConc[i, 4]);
71                 pC2H2 = dataConc[i, 3] / (dataConc[i, 1] +
72                     dataConc[i, 3] + dataConc[i, 4]);
73                 pC2H6 = dataConc[i, 4] / (dataConc[i, 1] +
74                     dataConc[i, 3] + dataConc[i, 4]);
75                 if (pC2H6 > 0.15 & pC2H6 <= 0.54 & pC2H2 <=
76                     0.1)
77                 {
78                     resultBox.Text += "Transformator " + (i +
79                         1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Gazy Pasozytnicze Oleju (Trojkat
80                         1 Pole T2, Trojkat 5 Pole S)";
81                     points5.Add(new tri5Point(pCH4, pC2H2,
82                         pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
83                 }
84                 else if (pC2H2 <= 0.1 & ((pC2H6 > 0.54) |
85                     (pC2H6 <= 0.15 & pC2H2 > 0.01)))
86                 {
87                     resultBox.Text += "Transformator " + (i +
88                         1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Przegrzanie Oleju/Papieru

```

```

Temperatura Ponizej 250 C (Trojkat 1 Pole T2, Trojkat 5 Pole
O)";
67         points5.Add(new    tri5Point(pCH4,    pC2H2,
pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
68     }
69     else if (pC2H2 > 0.1 & pC2H2 <= 0.35 & pC2H6 <=
0.13)
70     {
71         resultBox.Text += "Transformator " + (i +
1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Przegrzanie Temperatura Pomiedzy
300 C - 700 C (Trojkat 1 Pole T2, Trojkat 5 Pole T2)";
72         points5.Add(new    tri5Point(pCH4,    pC2H2,
pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
73     }
74     else if ((pC2H2 > 0.35 & pC2H6 > 0.3) | ((pC2H2
> 0.7 & pC2H6 > 0.13) | (pC2H6 <= 0.13 & pC2H2 > 0.35)))
75     {
76         resultBox.Text += "Transformator " + (i +
1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Przegrzanie Temperatura Powyzej
700 C (Trojkat 1 Pole T2, Trojkat 5 Pole T3)";
77         points5.Add(new    tri5Point(pCH4,    pC2H2,
pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
78     }
79     else if (pC2H6 <= 0.3)
80     {
81         resultBox.Text += "Transformator " + (i +
1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Karbonizacja Papieru (Trojkat 1
Pole T2, Trojkat 5 Pole C)";
82         points5.Add(new    tri5Point(pCH4,    pC2H2,
pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
83     }
84     }
85     else if (pC2H2 <= 0.15 & pC2H4 > 0.5)
86     {
87         points1.Add(new    tri1Point(pCH4, pC2H2, pC2H4,
dataRaw[i, 2], i));
88         pCH4 = dataConc[i, 1] / (dataConc[i, 1] +
dataConc[i, 3] + dataConc[i, 4]);
89         pC2H2 = dataConc[i, 3] / (dataConc[i, 1] +
dataConc[i, 3] + dataConc[i, 4]);
90         pC2H6 = dataConc[i, 4] / (dataConc[i, 1] +
dataConc[i, 3] + dataConc[i, 4]);
91         if (pC2H6 > 0.15 & pC2H6 <= 0.54 & pC2H2 <=
0.1)
92         {
93             resultBox.Text += "Transformator " + (i +
1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Gazy Pasozytnicze Oleju (Trojkat
1 Pole T3, Trojkat 5 Pole S)";
94             points5.Add(new    tri5Point(pCH4,    pC2H2,
pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
95         }
96         else if (pC2H2 <= 0.1 & ((pC2H6 > 0.54) |
(pC2H6 <= 0.15 & pC2H2 > 0.01)))
97         {
98             resultBox.Text += "Transformator " + (i +
1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Przegrzanie Oleju/Papieru

```

```

Temperatura Ponizej 250 C (Trojkat 1 Pole T3, Trojkat 5 Pole
O)";
99         points5.Add(new    tri5Point(pCH4,    pC2H2,
pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
100     }
101     else if (pC2H2 > 0.1 & pC2H2 <= 0.35 & pC2H6 <=
0.13)
102     {
103         resultBox.Text += "Transformator " + (i +
1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Przegrzanie Temperatura Pomiedzy
300 C - 700 C (Trojkat 1 Pole T3, Trojkat 5 Pole T2)";
104         points5.Add(new    tri5Point(pCH4,    pC2H2,
pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
105     }
106     else if ((pC2H2 > 0.35 & pC2H6 > 0.3) | ((pC2H2
> 0.7 & pC2H6 > 0.13) | (pC2H6 <= 0.13 & pC2H2 > 0.35)))
107     {
108         resultBox.Text += "Transformator " + (i +
1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Przegrzanie Temperatura Powyzej
700 C (Trojkat 1 Pole T3, Trojkat 5 Pole T3)";
109         points5.Add(new    tri5Point(pCH4,    pC2H2,
pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
110     }
111     else if (pC2H6 <= 0.3)
112     {
113         resultBox.Text += "Transformator " + (i +
1) + " " + dataRaw[i, 2] + " - Karbonizacja Papieru (Trojkat 1
Pole T3, Trojkat 5 Pole C)";
114         points5.Add(new    tri5Point(pCH4,    pC2H2,
pC2H6, dataRaw[i, 2], i));
115     }
116     }
117     else
118     {
119         resultBox.Text += "Transformator " + (i + 1) +
" " + dataRaw[i, 2] + " - Wyladowania/Przegrzania (Trojkat 1
Pole DT)";
120         points1.Add(new    tri1Point(pCH4, pC2H2, pC2H4,
dataRaw[i, 2], i));
121     }
122     if (radioAll.Checked)
123     {
124         if (dataConc[i, 5] > 260 | dataConc[i, 6] > 40
| dataConc[i, 7] > 30)
125         {
126             resultBox.Text += " (Uwaga, Przekroczone
Koncentracje ";
127             if (dataConc[i, 5] > 260)
128             {
129                 resultBox.Text += "CO, ";
130             }
131             if (dataConc[i, 6] > 40)
132             {
133                 resultBox.Text += "C3H6, ";
134             }
135             if (dataConc[i, 7] > 30)
136             {

```

```

137         resultBox.Text += "C3H8, ";
138     }
139     resultBox.Text += "Sprawdzic Przyczyny)";
140 }
141 }
142     resultBox.Text += nl;
143 }
```

Funkcja *analize()* to główna i najważniejsza część całego programu, ponieważ ona odpowiada za stwierdzenie, które uszkodzenie jest najbardziej prawdopodobne dla danego zestawu koncentracji. Jednakże mimo swojego ogromnego rozmiaru (grubo ponad 100 linii kodu dla jednej funkcji jest dość imponujące) to jej działanie łatwo zrozumieć jeśli przyjrzymy się jednemu z warunków które ona stosuje. Na początku tworzą się lokalne zmienne *pH2*, *pCH4*, *pC2H2*, *pC2H4*, *pC2H6*, które odpowiadają za utrzymywanie w sobie wartości koncentracji względnych dla pięciu gazów podstawowych trójkątów Duvala. Następnie obliczamy wartości *pCH4*, *pC2H2* oraz *pC2H4*. Są to koncentracje gazów dla pierwszego trójkąta Duvala. Obliczenie jest łatwe, bo koncentracje względne to dosłownie odniesienie zawartości bezwzględnej jednego gazu do sumy koncentracji gazów pozostałych. Po tym obliczeniu wykonuje się sprawdzenie kolejnymi warunkami *if* wartości owych koncentracji. Tutaj można zaobserwować, co program tak naprawdę analizuje. W pierwszym warunku sprawdza, czy koncentracja *pC2H4* jest poniżej 0.23 oraz czy *pC2H2* jest powyżej 0.13. To odpowiada sprawdzeniu, czy punkt znajduje się w rejonie D1 trójkąta 1. Jeśli tak, to do tekstu wynikowego wpisujemy, że punkt odpowiada wyładowaniom niskiej energii oraz wysyłamy dane do listy *points1*. Po tym ignorujemy prawie wszystkie pozostałe warunki, oprócz ostatniego. Jeśli bowiem wybraliśmy wszystkie gazy poprzez *radioAll*, to musimy też zdecydować, czy gazy spoza trójkąta są w granicach sita. Jeśli nie, to dodajemy do tekstu wynikowego które z tych gazów mają przekroczone koncentracje i informujemy użytkownika o potrzebie sprawdzenia. Tak kończy się wykonywanie funkcji dla tego transformatora.

Pozostałe warunki *if* działają identycznie, sprawdzając i eliminując kolejne rejony trójkątów w których znajduje się punkt. Jeśli koncentracja *pCH4* przekracza 0.98, to przechodzimy do trójkąta 4 – wykonujemy obliczenia koncentracji względnych dla *pH2*, *pCH4*, *pC2H6* oraz sprawdzamy rejony dla tego trójkąta, wysyłając dane do *points4*. Jeśli punkt znajdzie się w rejonach wysokich temperatur (*pC2H4* < 0.04, *pC2H4* > 0.2 oraz *pC2H4* < 0.5) to przechodzimy do trójkąta 5 i dla niego wykonujemy obliczenia oraz wysłanie do *points5*.

Listing 6.6. Funkcja *tabRes_Paint0*

```

1     private void tabRes_Paint(object sender, PaintEventArgs e)
2     {
3         Graphics g = e.Graphics;
4         Point p1 = new Point(10, 130);
5         Point p2 = new Point(390, 130);
6         Point p3 = new Point(770, 130);
```

```

7      g.DrawImage(Properties.Resources.t1,    p1.X,    p1.Y,
      330, 270);
8      g.DrawImage(Properties.Resources.t2,    p2.X,    p2.Y,
      330, 270);
9      g.DrawImage(Properties.Resources.t3,    p3.X,    p3.Y,
      330, 270);
10     p1 = new Point(20, 384);
11     p2 = new Point(400, 384);
12     p3 = new Point(780, 384);
13     foreach (tri1Point point in points1)
14     {
15         int y = -(int)Math.Round(point.pCH4 * 250);
16         int x = 150 + (int)Math.Round(150 * point.pC2H4
- Math.Sqrt(3) * (250 + y - 250 * point.pC2H4) / 3);
17         Pen p = new Pen(colorSelect(point.pColor), 2);
18         g.DrawEllipse(p, p1.X + x, p1.Y + y, (point.pi
% 5) + 2, (point.pi % 5) + 2);
19     }
20     foreach (tri4Point point in points4)
21     {
22         int y = -(int)Math.Round(point.pH2 * 250);
23         int x = 150 + (int)Math.Round(150 * point.pCH4
- Math.Sqrt(3) * (250 + y - 250 * point.pCH4) / 3);
24         Pen p = new Pen(colorSelect(point.pColor), 2);
25         g.DrawEllipse(p, p2.X + x, p2.Y + y, (point.pi
% 5) + 2, (point.pi % 5) + 2);
26     }
27     foreach (tri5Point point in points5)
28     {
29         int y = -(int)Math.Round(point.pCH4 * 250);
30         int x = 150 + (int)Math.Round(150 * point.pC2H4
- Math.Sqrt(3) * (250 + y - 250 * point.pC2H4) / 3);
31         Pen p = new Pen(colorSelect(point.pColor), 2);
32         g.DrawEllipse(p, p3.X + x, p3.Y + y, (point.pi
% 5) + 2, (point.pi % 5) + 2);
33     }
34 }

```

Wysłane dane do list *points1*, *points4* i *points5* same z siebie nic nie robią. Muszą one zostać wykorzystane przez funkcję, która je zamieni na punkty na trójkątach. Do tego właśnie służy wydarzenie *tabRes_Paint()*. To wydarzenie jest przypisane do warunku wyświetlania zakładki drugiej, „Analiza Koncentracji”. W każdej milisekundzie wyświetlania zakładki wywoływana jest ta funkcja. Wyświetlanie czegokolwiek w oknie programu wymaga wykorzystania specjalnej klasy *Graphics*. Za jej pomocą tworzymy obiekt graficzny *g*. Tworzymy trzy punkty, *p1*, *p2*, *p3*, odpowiadające kolejno lewym górnym rogom obrazów trójkątów Duwala. Są to punkty odniesienia do rysowania. Za pomocą obiektu *g* rysujemy na naszej zakładce trójkąty Duwala zapisane jako obrazy w pamięci programu *Resources*. Potem trochę zmieniamy wartości trzech punktów, tak aby odpowiadały lewym górnym rogom trójkątów Duwala wewnątrz obrazu (są to punkty odpowiadające niemożliwym koncentracjom przykładowo 100% C₂H₂ oraz 100% CH₄ w trójkącie 1). To też są punkty odniesienia, ale tym razem do rysowania punktów. Następnie, pętlami *foreach* rysujemy kolejne punkty dla

list *points1*, *points4* i *points5*. Matematycznie możemy obliczyć ile muszą wynosić poszczególne wielkości które musimy dodać do punktów odniesienia aby przenieść się ze współrzędnych trójkątnych do współrzędnych katrezjańskich [7]. Wybieramy kolor punktu za pomocą funkcji *colorSelect()* oraz tworzymy tymczasowy obiekt typu *Pen*. Dla obliczonych wartości *x*, *y* rysujemy punkty na odpowiednich trójkątach za pomocą funkcji wbudowanej *g.DrawEllipse()*.

Listing 6.7. Funkcja *colorSelect()*

```
1  Color colorSelect(string pColor)
2      {
3          switch (pColor)
4          {
5              case "Czarny":
6                  return Color.Black;
7                  break;
8              case "Czerwony":
9                  return Color.Red;
10                 break;
11                 case "Rozowy":
12                     return Color.Pink;
13                     break;
14                     case "Zolty":
15                         return Color.Yellow;
16                         break;
17                         case "Pomaranczowy":
18                             return Color.Orange;
19                             break;
20                             case "Brazowy":
21                                 return Color.Brown;
22                                 break;
23                                 case "Szary":
24                                     return Color.Gray;
25                                     break;
26                                     case "Zielony":
27                                         return Color.Green;
28                                         break;
29                                         case "Niebieski":
30                                             return Color.Blue;
31                                             break;
32                                             case "Fioletowy":
33                                                 return Color.Violet;
34                                                 break;
35                                                 default:
36                                                     return Color.Black;
37                                                     break;
38                     }
39             }
```

Funkcja *colorSelect()* jest prostym sposobem zamiany polskiej wartości tekstu koloru na faktyczne kolory systemowe. Za pomocą stwierdzenia *switch* sprawdzamy kolejne możliwe wartości koloru danego punktu. Jeśli jego wartość to np. „Czarny”, wybiera się

systemowy kolor *Color.Black*. Jeśli „Czerwony”, to wybieramy *Color.Red* itp. Teoretycznie możliwe byłoby to wykonania innymi praktykami, takimi jak warunki *if* albo odniesienie się do obiektu typu Dictionary, ale ta metoda jest bardziej przejrzysta.

Listing 6.8. Funkcja *numericData_ValueChanged()*

```

1  private void numericData_ValueChanged(object sender, EventArgs
    e)
2      {
3          int prev = dataGrid.RowCount;
4          dataGrid.RowCount = (int)numericData.Value;
5          if (dataGrid.RowCount > prev)
6          {
7              for (int i = prev; i < dataGrid.RowCount; i++)
8              {
9                  dataGrid[0, i].Value = (i + 1);
10                 if (checkQuick.Checked)
11                 {
12                     Random r = new Random();
13                     int ci = r.Next(0, colors.Length - 1);
14                     dataGrid[2, i].Value = colors[ci];
15                 }
16             }
17         }
18     }

```

Przeglądnięte zostały wszystkie funkcje odnoszące się do samej analizy, ale w kodzie znajdują się również wydarzenia związane z interfejsem użytkownika. Przykładowo, wydarzenie *numericData_ValueChanged()* odpowiada zmianie ilości transformatorów wybranych na początku wpisywania danych. Kiedy ta wielkość się zmieni, należy zapamiętać poprzednią wartość ilości kolumn a następnie ustawić na nową. Jeśli nowa wartość jest większa od starej, to warto jest w kolejne dodane wiersze wpisać numery transformatorów oraz, jeśli wybrano opcję „Szybkie Kolory”, dodać do nich losowo wybrane kolory. Losowanie kolorów polega na zastosowaniu klasy *Random*, wybraniu losowej wartości od 0 do długości listy kolorów a następnie wpisaniu koloru o tym indeksie.

Listing 6.9. Funkcja *checkQuick_CheckedChanged()*

```

1  private void checkQuick_CheckedChanged(object sender, EventArgs
    e)
2      {
3          for (int i = 0; i < dataGrid.RowCount; i++)
4          {
5              dataGrid[0, i].Value = (i + 1);
6              if (checkQuick.Checked)
7              {
8                  Random r = new Random();
9                  int ci = r.Next(0, colors.Length - 1);
10                 dataGrid[2, i].Value = colors[ci];
11             }

```

```
12         }
13     }
```

Wydarzenie *checkQuick_CheckedChanged()* sprawdza czy została wybrana opcja szybkich kolorów. Jeśli tak, losuje kolory do wierszy tak jak powyżej.

Listing 6.10. Funkcje *radioSome_CheckedChanged()*, *radioAll_CheckedChanged()*

```
1  private void radioSome_CheckedChanged(object sender, EventArgs
   e)
2      {
3          if (radioSome.Checked)
4          {
5              dataGrid.ColumnCount = 8;
6              for (int i = 0; i < 8; i++)
7              {
8                  dataGrid.Columns[i].Width = dataGrid.Width
9                  / 8;
10             }
11             dataGrid.Columns[0].HeaderText = "Numer [-]";
12             dataGrid.Columns[1].HeaderText = "Typ
13             [Siec/Blok]";
14             dataGrid.Columns[2].HeaderText = "Kolor Punktu
15             [-]";
16             dataGrid.Columns[3].HeaderText = "H2 [ppm]";
17             dataGrid.Columns[4].HeaderText = "CH4 [ppm]";
18             dataGrid.Columns[5].HeaderText = "C2H2 [ppm]";
19             dataGrid.Columns[6].HeaderText = "C2H4 [ppm]";
20             dataGrid.Columns[7].HeaderText = "C2H6 [ppm]";
21         }
22     }
23
24     private void radioAll_CheckedChanged(object sender,
25     EventArgs e)
26     {
27         if (radioAll.Checked)
28         {
29             dataGrid.ColumnCount = 11;
30             for (int i = 0; i < 11; i++)
31             {
32                 dataGrid.Columns[i].Width = dataGrid.Width
33                 / 11;
34             }
35             dataGrid.Columns[0].HeaderText = "Numer [-]";
36             dataGrid.Columns[1].HeaderText = "Typ
37             [Siec/Blok]";
38             dataGrid.Columns[2].HeaderText = "Kolor Punktu
39             [-]";
40             dataGrid.Columns[3].HeaderText = "H2 [ppm]";
41             dataGrid.Columns[4].HeaderText = "CH4 [ppm]";
42             dataGrid.Columns[5].HeaderText = "C2H2 [ppm]";
43             dataGrid.Columns[6].HeaderText = "C2H4 [ppm]";
44             dataGrid.Columns[7].HeaderText = "C2H6 [ppm]";
45             dataGrid.Columns[8].HeaderText = "CO [ppm]";
```

```

39         dataGrid.Columns[9].HeaderText = "C3H6 [ppm]";
40         dataGrid.Columns[10].HeaderText = "C3H8 [ppm]";
41     }
42 }

```

Funkcje *radioSome_CheckedChanged()* oraz *radioAll_CheckedChanged()* to dwa wydarzenia odnoszące się do przycisków odpowiednio „Tylko Gazy Trójkątów” oraz „Wszystkie Gazy”. Jeśli wybierzemy tylko gazy trójkątów, to musimy ustawić ilość kolumn na 8, szerokość kolumn na szerokość tabeli podzieloną przez 8 a na koniec do kolejnych nagłówek wpisać teksty odpowiadające numerowi, typowi, kolorowi oraz pięciu gazom z trójkątów. W przypadku wszystkich gazów musimy zwiększyć ilość do 11, a na koniec dodać nagłówki do koncentracji CO, C3H6 i C3H8.

Listing 6.11. Funkcje buttonInfo_Click()

```

1  private void buttonInfo1_Click(object sender, EventArgs e)
2  {
3      InfoBox1.BringToFront();
4      pictureBox1.BringToFront();
5  }
6
7  private void buttonInfo2_Click(object sender, EventArgs
8  e)
9  {
10     InfoBox2.BringToFront();
11     pictureBox2.BringToFront();
12 }
13 private void buttonInfo3_Click(object sender, EventArgs
14 e)
15 {
16     InfoBox3.BringToFront();
17     pictureBox3.BringToFront();
18 }

```

Na samym końcu są bardzo krótkie wydarzenia odpowiadające za obsługę zakładki „Opis Teoretyczny”. Jeśli naciśniemy któryś z przycisków, to musimy na from przenieść obrazek oraz tekst odnoszący się do tego działu. Jest to spowodowane tym, że w praktyce te obrazki i teksty są na siebie nałożone, a nieużywane są ukryte pod używanymi. Jest to łatwy sposób wykonania zakładki informacyjnej, ponieważ nie trzeba ich wywoływać spoza programu.

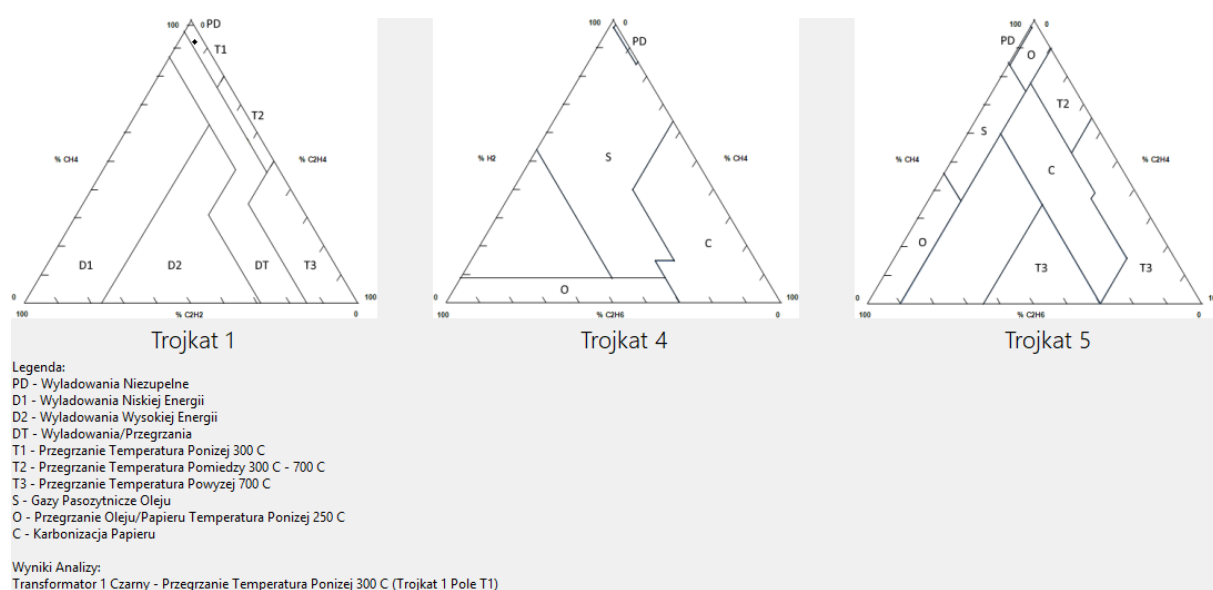
7 Analiza zestawu danych transformatorów

Przeprowadzenie analizy danego wybranego zestawu danych transformatorów jest jednocześnie testem potwierdzającym działanie programu. Na cele pracy zdobyte zostały karty z badań stanu oleju dla 20 transformatorów różnych typów i konstrukcji. Każde badanie polegało na pobraniu pewnej próbki oleju z wybranego miejsca transformatora a następnie poddaniu jej analizie chromatograficznej. Na podstawie uzyskanych wyników chromatografii wykonano pewną czynność poprawczą, np. przyspieszony termin kolejnego badania stanu transformatora [2].

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 445	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 17.08.2016	
Zlecienniodawca:			Zlecenie:	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.		Temp. oleju [°C]	44	
Nr fabryczny		Pobrał		
Typ	TJRc 40000/115	Data pobrania	08.08.2016	
Moc [MVA]	40	Data otrzymania	16.08.2016	
Napięcie [kV]	115/22	Data analizy	16.08.2016	
Producent	Polimex Z-d ZREW	Uwagi	brak	
Rok produkcji	2010			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	526,7	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	0,7	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	1,8	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	35,5	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	0,0	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	0,0	40	30
7	CH ₄ - metan	42,8	250	200
8	CO - tlenek węgla	104,3	260*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	844,8	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,12	0,3	
10	O ₂ tlen	2088	*) w praktyce spotykane są również znaczenie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
11	N ₂ azot	25832		
12	powietrze	27920		
13	Suma gazów palnych	711,8		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		2,9		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenie granicznej koncentracji wodoru przyjętej za dopuszczalną. Wynik analizy wskazuje na występowanie wylądowań niezupełnych. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.				

Rys. 7.1: Przykładowy raport z badania chromatograficznego stanu oleju (dane osobowe usunięte)

Z przykładowego raportu widać, że w roku 2016 zbadany został transformator typu TJRc 40000/115 firmy Polimex Z-d ZREW wyprodukowany w roku 2010. Z góry transformatora pobrano próbkę oleju o temperaturze 44 °C. Po wykonaniu analizy chromatograficznej stwierdzono przekroczenie dopuszczalnej koncentracji wodoru, w związku z czym należało później wykonać bardziej szczegółowy test trójkątami Duvala. W wyniku tego testu (który nie został przedstawiony w ramach raportu) stwierdzono występowanie wyładowań niezupełnych. W związku z niezbyt wielką ilością wodoru w oleju określono że transformator może nadal pracować, ale za to termin kolejnego badania przyspieszono do 6 miesięcy [2]. Raport wykonany przez osobę wykonującą badanie chromatograficzne możemy sprawdzić wykonując to badanie za pomocą stworzonego programu. Ten proces powinien dać wynik albo taki sam albo przynajmniej zbliżony. Istnieją oczywiście możliwości różnic wynikające z tego, że badanie powyższe niekoniecznie było wykonane zgodnie z trójkątami. Wielu inżynierów zajmujących się chromatografią oleju tworzy w swoim umyśle model uproszczony, aby szybciej dojść do wyniku prawdopodobnego. Wykonanie analizy programem z kolei pozwala na sprawdzenie czy wynik intuicyjny faktycznie ma sens względem teorii. Po wprowadzeniu danych oraz przeliczeniu koncentracji uzyskujemy następujący obraz punktu koncentracji na trójkątach:

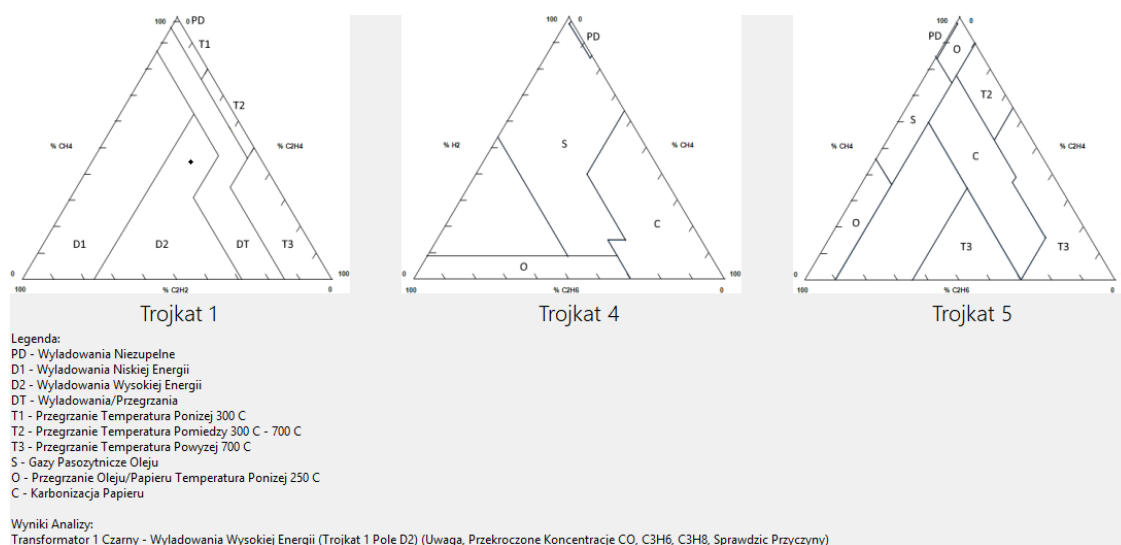


Rys. 7.2: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 1 programem

W transformatorze 1 wykryto przegrzanie niskotemperaturowe w rejonie T1. Badanie jednak wynikało z nadmiernej koncentracji wodoru, a gazy trójkąta 1 były w normie. Według raportu po badaniu wykryto wyladowania niezupełne. Jest to nawet zbliżone do naszego wyniku, ponieważ punkt transformatora znajduje się wysoko, w pobliżu rejonu PD. Możliwe że te wyladowania były nowe i nie wytworzyło się jeszcze tak dużo metanu. Może również tak być że wskazanie na wyladowania wynikało z praktycznych doświadczeń badającego.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 450	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 17.08.2016	
Zlecienniodawca: [REDACTED]		Zlecenie: [REDACTED]		
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	36	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TDR3b 25000/110	Data pobrania	11.08.2016	
Moc [MVA]	25/16/16	Data otrzymania	16.08.2016	
Napięcia [kV]	115/22/11	Data analizy	16.08.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1984			
Rodzaj oleju	eksploatacja			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	41,8	250	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	25,2	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	33,8	250	280
4	C ₂ H ₆ - etan	62,9	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	64,8	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	57,6	40	30
7	CH ₄ - metan	48,7	250	200
8	CO - tlenek węgla	598,9	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	3367,6	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,18	0,3	
11	O ₂ tlen	3102		
12	N ₂ azot	31690	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla, wartość stosunku CO ₂ /CO powinna być 3 może wskazywać na nadmiernej degradacji papieru.	
13	Suma gazów palnych	933,7		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,8		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propanu, propylenu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym bądź elektrycznym rozkładem celulozy. Następną badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.				

Rys. 7.3: Raport z badania chromatograficznego transformatora 2 (dane osobowe usunięte)

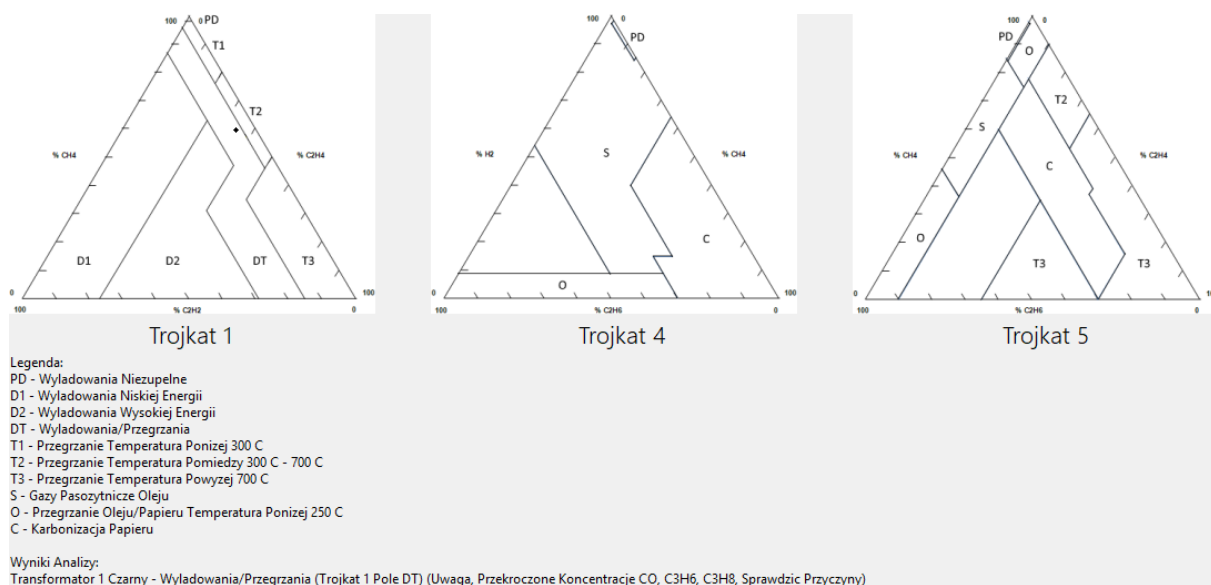


Rys. 7.4: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 2 programem

Dla punktu 2 badanie wykonano ze względu na przekroczenie koncentracji tlenu węgla, propylenu i propanu. Program stwierdził występowanie wyładowań wysokiej energii. Wykonujący badanie stwierdził jednak, że przyczyną jest lokalne przegrzanie z rozkładem celulozy. W tym punkcie, jak i w następnych, pokazuje się wada trójkątów Duvala. Ponieważ nie badamy gazów CO, C₃H₆, C₃H₈ to nie jesteśmy w stanie stwierdzić dokładnej przyczyny ich koncentracji. Występowanie nadmiernych koncentracji owych gazów może być teoretycznie wywołane niejednorodnymi przegrzaniem lub rozkładami materiałów w samym transformatorze, ale niekoniecznie rozkładem oleju. Tutaj powinniśmy zwracać się do wiedzy praktycznej o częstych przyczynach tych uszkodzeń.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 495	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 30.08.2016	
Zleciłodawca:			Zlecenie	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.		Temp. oleju [°C]	28	
Nr fabryczny		Pobrał		
Typ	TORb 16000/110	Data pobrania	22.08.2016	
Moc [MVA]	16	Data otrzymania	29.08.2016	
Napięcie [kV]	115/22	Data analizy	29.08.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1985			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	18,1	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	3,2	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	17,7	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	42,6	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	66,6	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	44,7	40	30
7	CH ₄ - metan	32,1	250	200
8	CO - tlenek węgla	499,8	260*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	1970,9	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,25	0,3	
11	O ₂ tlen	3569	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
12	N ₂ azot	26611		
13	Suma gazów palnych	724,8		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,2		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenie granicznych koncentracji propanu, propylenu i tlenu węgla przyjętych za dopuszczalne. Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym rozkładem celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.				

Rys. 7.5: Raport z badania chromatograficznego transformatora 3 (dane osobowe usunięte)

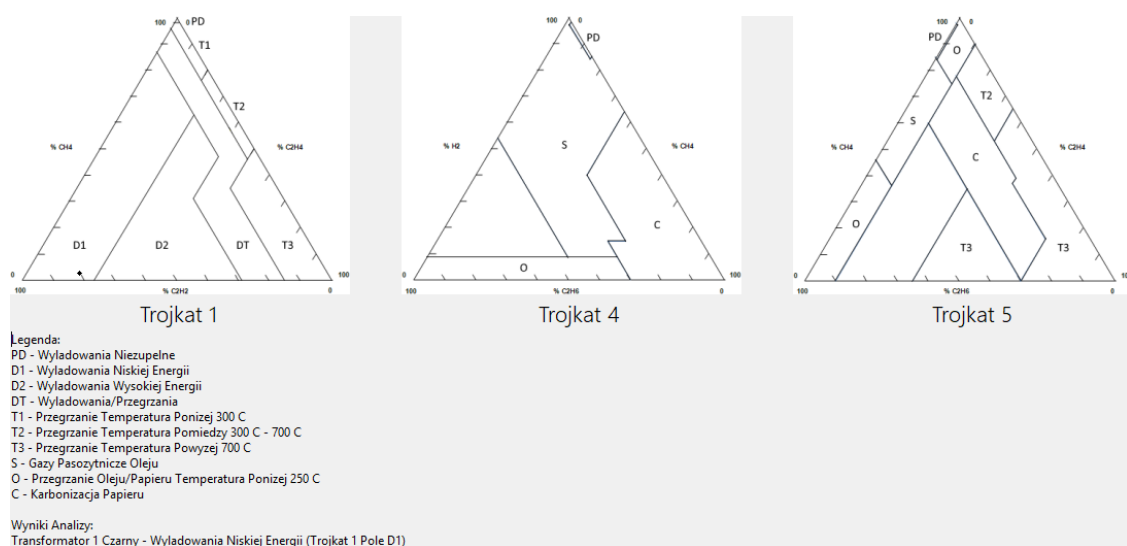


Rys. 7.6: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 3 programem

Punkt 3 również wykonany przez nadmiar zawartości tlenu węgla, propylenu oraz propanu. Program wykrył wyladowania z przegrzaniem. Badanie stwierdziło z kolei lokalne przegrzanie z rozkładem celulozy. W tym przypadku możemy jednak porównać ze sobą te dwa wyniki. Mimo że same gazy trójkątów są w granicach wyznaczonych w instrukcji ramowej, to niekoniecznie oznacza że należy je ignorować. Jak przedstawiono wcześniej w mechanice rozkładu oleju, koncentracje są proporcjonalne do temperatury oleju oraz wyladowań (jeśli występują) bez względu na to ile tych gazów jest. To oznacza, że nawet jeśli gazów w oleju jest niewiele, to ich koncentracje względne mogą być zbliżone do faktycznego rejonu prawidłowego. Z punktu w trójkącie 1 widzimy, że znajduje się on na granicy rejonów DT oraz T2. Gdyby wystąpiła trochę wyższa zawartość metanu, znalazłby się w rejonie T2, co pozwoliłoby na przejście do trójkąta 5 oraz wykrycie karbonizacji papieru. To pokazuje że nawet w warunkach niepewnych własności trójkątów są przydatne.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 494	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 30.08.2016	
Zlecienniodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	32	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TNARBA 25000/110PNPN	Data pobrania	26.08.2016	
Moc [MVA]	25	Data otrzymania	29.08.2016	
Napiecia [kV]	115/22	Data analizy	29.08.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1990			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	7,3	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	107,8	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	20,5	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	1,2	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	1,8	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	13,4	40	30
7	CH ₄ - metan	3,1	250	200
8	CO - tlenek węgla	160,1	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	1169,9	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,14	0,3	
10	O ₂ tlen	7801	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji paliwa.	
11	N ₂ azot	21652		
12	powietrze	29453		
13	Suma gazów palnych	315,0		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3		
<p>Ocena wyników:</p> <p>Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenie granicznej koncentracji acetyleny przyjętej za dopuszczalną.</p> <p>Wynik analizy wskazuje na występowanie wylądowań zupełnych o niskiej energii.</p> <p>Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.</p>				

Rys. 7.7: Raport z badania chromatograficznego transformatora 4 (dane osobowe usunięte)

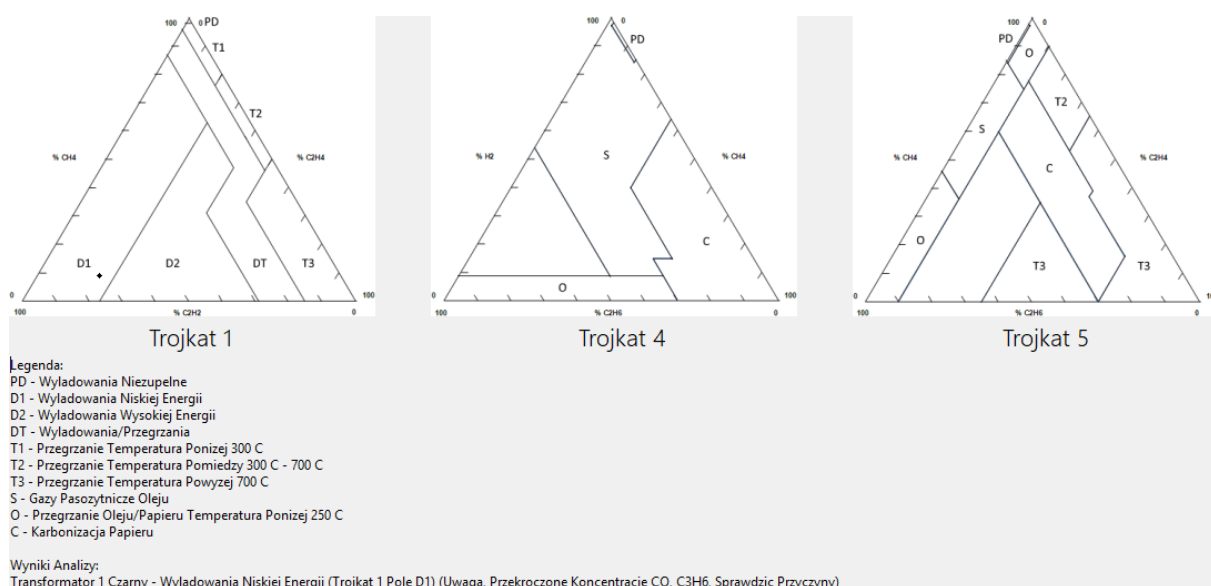


Rys. 7.8: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 4 programem

W czwartym transformatorze program wykrył wyladowania niskiej energii. Badanie laboratoryjne potwierdziło, że wyladowania niskiej energii faktycznie występują. To jest przypadek, w którym występują przekroczenia tylko gazu z trójkątów Duvala i umożliwia sprawdzenie prawidłowości algorytmu. Dodatkowo obraz trójkąta pozwala na analizę potencjalnej ewolucji uszkodzenia. Punkt koncentracji znajduje się w pobliżu granicy rejonów D1 i D2. To oznacza, że gdyby uszkodzenie nie zostało naprawione, wyladowania niskiej energii wydzieliłyby w oleju więcej zanieczyszczeń, co zwiększyłoby mocy wyladowań [12].

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 527	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 13.09.2016	
Zlecający:			Zlecenie:	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.		Temp. oleju [°C]	46	
Nr fabryczny		Pobrał		
Typ	TDR3b- 25000/110	Data pobrania	09.09.2016	
Moc [MVA]	25/16/16	Data otrzymania	12.09.2016	
Napięcie [kV]	115/33/16,5	Data analizy	12.09.2016	
Producent	Elta	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1977			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sięciowy
1	H ₂ - wodór	21,5	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	51,3	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	12,1	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	2,6	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	63,4	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	23,6	40	30
7	CH ₄ - metan	5,5	250	200
8	CO - tlenek węgla	313,1	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	3174,5	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,10	0,3	
10	O ₂ tlen	4353		
11	N ₂ azot	28141		
12	powietrze	32494	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
13	Suma gazów palnych	493,1		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,6		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 13.07.2015 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie koncentracja gazów rozpuszczonych w oleju pozostaje na podobnym poziomie z wyjątkiem metanu którego koncentracja jest znacznie niższa. Wynik analizy wskazuje na występowanie wylądowań niezupełnych. Podwyższona zawartość tlenku węgla może wskazywać na termiczny bądź elektryczny rozkład celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.				

Rys. 7.9: Raport z badania chromatograficznego transformatora 5 (dane osobowe usunięte)

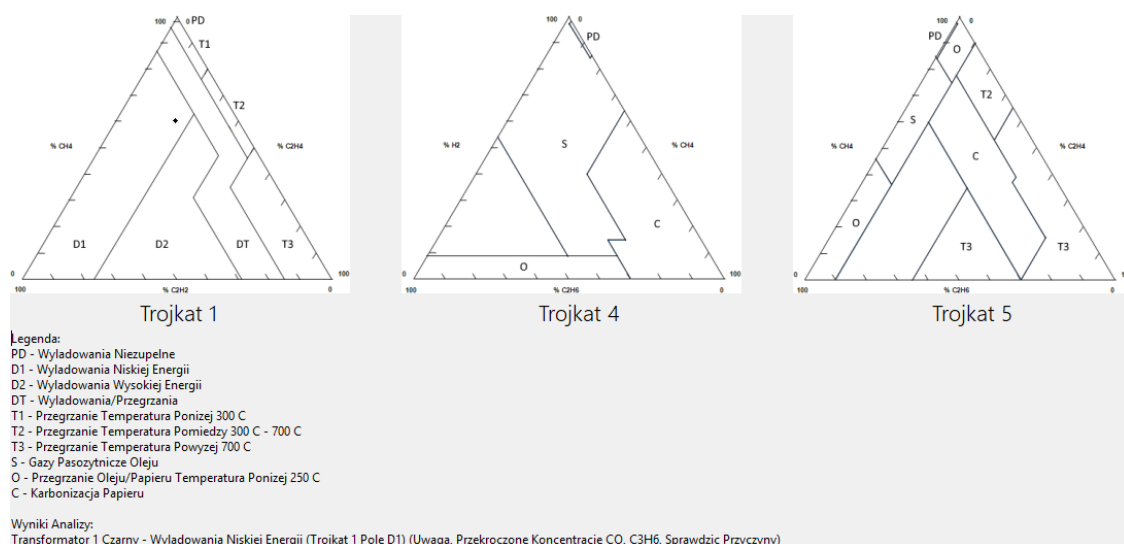


Rys. 7.10: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 5 programem

Dla punktu 5 program wykrył wyladowania niskiej energii. Jednak raport z badania chromatograficznego pokazuje, że stan transformatora jest bardziej skomplikowany niż ten wynik pozwala zrozumieć. Okazuje się, że to badanie jest kolejnym w serii diagnostyk uszkodzeń tego transformatora. Poprzednie badanie wykonane zostało rok wcześniej, gdzie wykryte zostały koncentracje gazów na poziomie zbliżonym do aktualnego, z wyjątkiem metanu. Według raportu poziom koncentracji metanu w oleju spadł. To oznacza, że w międzyczasie doszło do czynności naprawczych, które znacznie zmniejszyły wydzielanie metanu, ale z nieznanych przyczyn nie wpłynęły na gazy spoza trójkątów. Kontekst umożliwia zrozumienie ewolucji uszkodzenia. Jeśli spadła tylko koncentracja metanu, to oznacza że w roku poprzednim punkt koncentracji znajdował się znacznie wyżej niż teraz, potencjalnie w rejonach DT lub PD. To tłumaczy wniosek z raportu o wyladowaniach niezupelnym oraz potencjalnych przegrzaniach – Wyladowania i przegrzania zostały wykryte wcześniej, a więc mogą potencjalnie występować nadal [12].

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 543	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 16.09.2016	
Zlecienniodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	37,9	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobral	[REDACTED]	
Typ	TR- 10000/110	Data pobrania	12.09.2016	
Moc [MVA]	10	Data otrzymania	15.09.2016	
Napięcia [kV]	115/16,5	Data analizy	15.09.2016	
Producent	Elta	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1972			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	292,6	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	11,9	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	10,6	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	60,8	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	61,2	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	15,5	40	30
7	CH ₄ - metan	36,1	250	200
8	CO - tlenek węgla	438,7	260*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	2131,4	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,21	0,3	
10	O ₂ tlen	5936	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
11	N ₂ azot	29936		
12	powietrze	35872		
13	Suma gazów palnych	927,4		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,8		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 20.02.2015 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie stwierdzono niewielki wzrost koncentracji gazów rozpuszczonych w oleju. Wynik analizy wskazuje na występowanie wylądowań niezupełnych. Podwyższona zawartość tlenku węgla może wskazywać na termiczny bądź elektryczny rozkład celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora				

Rys. 7.11: Raport z badania chromatograficznego transformatora 6 (dane osobowe usunięte)

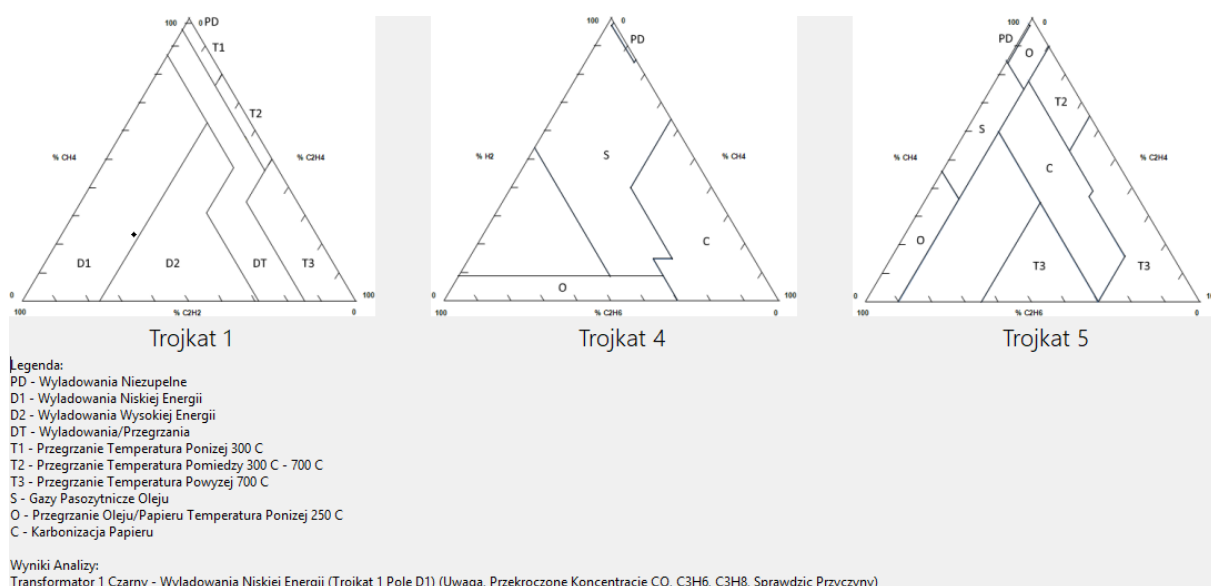


Rys. 7.12: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 6 programem

Punkt 6 został wykryty w rejonie wyładowań niskiej energii. Tu również musimy jednak zwrócić uwagę na wnioski z raportu. To jest kolejne badanie diagnostyczne, porównywane z rokiem poprzednim. Wcześniejsze badanie wykryło uszkodzenie, ale poziom koncentracji gazów był trochę niższy niż teraz. z tego wynika że pozwolono na dalszą pracę transformatora, ponieważ najwyraźniej nie jest on bardzo wrażliwy na takie uszkodzenia, oraz pozwolono na ewolucję uszkodzenia. Wynik analizy chromatograficznej wskazał na występowanie wyładowań niezpełnych. Ten wynik jest trochę nietypowy, ale może wynikać z niedopowiedzenia. Dla badającego, który nie ma przy sobie trójkąta Duvala, wyładowania niskiej energii można pomylić z wyładowaniami niezpełnymi [13].

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 566	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 20.09.2016	
Zlecienniodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	38	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TORb- 25000/110	Data pobrania	13.09.2016	
Moc [MVA]	25	Data otrzymania	19.09.2016	
Napięcia [kV]	115/22	Data analizy	19.09.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1985			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	41,6	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	98,6	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	36,5	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	33,8	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	63,5	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	51,2	40	30
7	CH ₄ - metan	42,4	250	200
8	CO - tlenek węgla	549,7	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	1980,2	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,28	0,3	
10	O ₂ tlen	1029		
11	N ₂ azot	30740	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
12	powietrze	31769		
13	Suma gazów palnych	917,3		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,3		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji acetylenu, propylenu, propanu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 05.07.2013 /prot. 303 / stwierdzono wzrost koncentracji gazów rozpuszczonych w oleju. Wynik analizy wskazuje na występowanie wylądowań niezupełnych. Przekroczona koncentracja tlenku węgla może wskazywać na termiczny bądź elektryczny rozkład celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora				

Rys. 7.13: Raport z badania chromatograficznego transformatora 7 (dane osobowe usunięte)

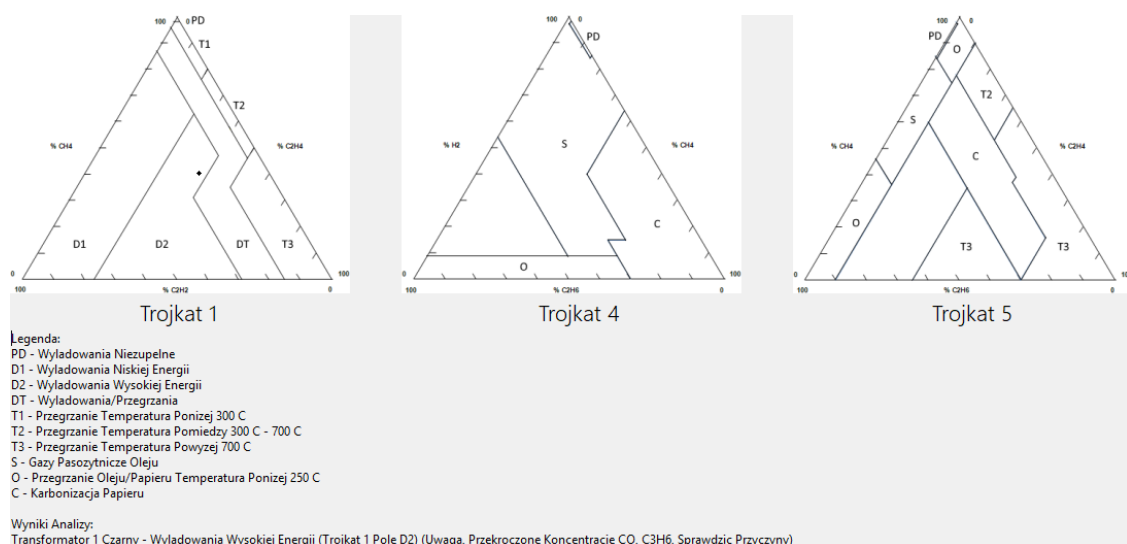


Rys. 7.14: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 7 programem

Program dla punktu 7 przypisał wyładowania niskiej energii. Sytuacja tego transformatora wygląda podobnie do poprzedniego. Wcześniejsze badanie z roku 2013 wskazało na możliwość wyładowań niezupełnych. Od tego czasu koncentracje gazów w oleju wzrosły. Z kontekstu wynika, że mogło dojść do podobnego niezrozumienia jak w transformatorze 6. Wyładowania niskiej energii zostały pomyłone z wyładowaniami niezupełnymi, a transformatorowi pozwolono nadal być eksploatowanym. Jeśli koncentracje gazów od tego czasu wzrosły, to oznacza że prawdopodobnie wcześniej punkt koncentracji znajdował się głębiej w rejonie D1 niż teraz. Teraz z kolei jest tuż na granicy D1 i D2. Gdyby wartości koncentracji gazów wtedy wprowadzono do trójkąta Duvala, możliwe byłoby wykrycie tej ewolucji oraz zapobiegnięcie przejścia z wyładowań niskiej energii do wysokiej energii [12].

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 564	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599			Data: 20.09.2016
Zlecienniodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	brak	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TORb- 16000/110	Data pobrania	15.09.2016	
Moc [MVA]	16	Data otrzymania	19.09.2016	
Napięcia [kV]	115/22	Data analizy	19.09.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1978			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sięciowy
1	H ₂ - wodór	3,3	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	5,0	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	7,5	250	280
4	C ₂ H ₆ - etan	1,9	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	49,3	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	14,9	40	30
7	CH ₄ - metan	8,5	250	200
8	CO - tlenek węgla	603,4	280*	280*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	2034,6	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,30	0,3	
10	O ₂ tlen	2899		
11	N ₂ azot	32243	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stężenia CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
12	powietrze	35142		
13	Suma gazów palnych	693,8		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,8		
<p>Ocena wyników:</p> <p>Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne.</p> <p>W porównaniu do ostatniego badania z dnia 08.12.2014 /prot. 1125 / stwierdzono wzrost koncentracji gazów rozpuszczonych w oleju, głównie propylenu i tlenku węgla.</p> <p>Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym bądź elektrycznym rozkładem celulozy.</p> <p>Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora</p>				

Rys. 7.15: Raport z badania chromatograficznego transformatora 8 (dane osobowe usunięte)

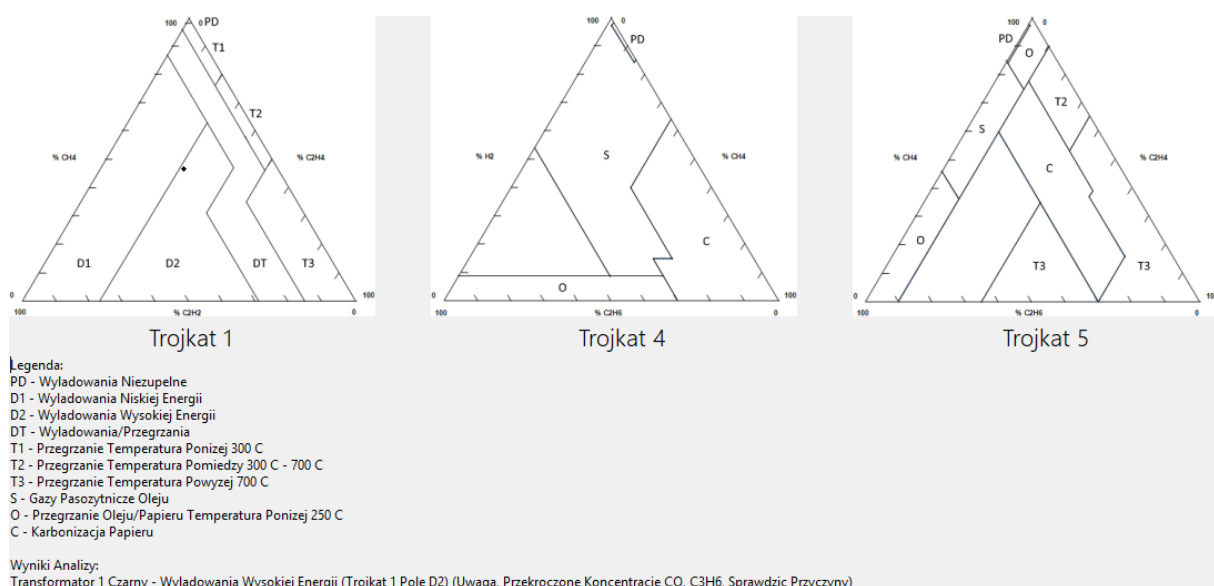


Rys. 7.16: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 8 programem

Dla punktu 8 program wskazał wyładowania wysokiej energii. Raport pokazuje, że to jest badanie kolejne, porównywane do roku 2014. Od tego czasu wykryte zostało zwiększenie się koncentracji propylenu oraz tlenku węgla. Tutaj badanie bazowało na gazach spoza trójkątów Duvala, dlatego wnioski analiz są różne. Werdykt o występowaniu przegrzań z rozkładem celulozy jest sensowny, a wykryte wyładowania wysokiej energii mogą do tego nawiązywać. Rozkład papieru powoduje zanieczyszczenie oleju, co z kolej pozwala na wystąpienie wyładowań wyższej energii niż ‘normalnie’ [14].

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 563	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599			Data: 20.09.2016
Zleciennodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	31	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TORb- 16000/110	Data pobrania	16.09.2016	
Moc [MVA]	16	Data otrzymania	19.09.2016	
Napięcia [kV]	115/22	Data analizy	19.09.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1978			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	53,9	280	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	15,7	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	14,4	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	15,6	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	44,8	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	23,5	40	30
7	CH ₄ - metan	25,8	250	200
8	CO - tlenek węgla	539,7	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	1908,5	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,28	0,3	
10	O ₂ tlen	2274	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
11	N ₂ azot	29407		
12	powietrze	31681		
13	Suma gazów palnych	733,4		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,4		
<p>Ocena wyników:</p> <p>Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 16.10.2014 /prot. 925 / stwierdzono wzrost koncentracji gazów rozpuszczonych w oleju. Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym bądź elektrycznym rozkładem celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora</p>				

Rys. 7.17: Raport z badania chromatograficznego transformatora 9 (dane osobowe usunięte)

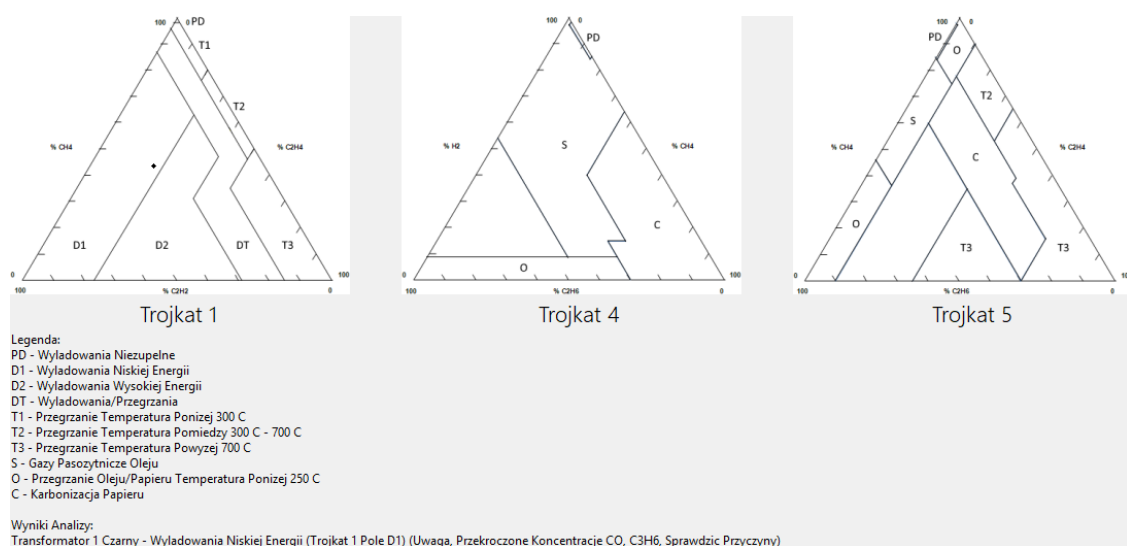


Rys. 7.18: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 9 programem

W punkcie 9 program wykrył wyladowania wysokiej energii. Badanie transformatora wykonano w porównaniu z badaniem poprzednim, zrobionym w roku 2014. To jest kolejny przykład uszkodzenia które nie da się z sukcesem stwierdzić tylko trójkątami Duvala. Przekroczono zostały koncentracje tlenku węgla oraz propylenu. To w praktyce jest zwykle wywoływane rozkładem celulozy. Wynik analizy programem wskazuje na wyladowania wysokiej energii, co też ma pewien sens. Rozkład celulozy zwiększa zanieczyszczenie oleju cząstkami stałymi, co z kolei pozwala na wyladowania wysokiej energii.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 580	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 27.09.2016	
Zleceńiodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. załst.	[REDACTED]	Temp. oleju (°C)	26	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TR- 10000/110	Data pobrania	20.09.2016	
Moc [MVA]	10	Data otrzymania	26.09.2016	
Napięcia [kV]	115/16,5	Data analizy	26.09.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1972			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sięciowy
1	H ₂ - wodór	246,3	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	9,3	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	5,2	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	10,5	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	52,0	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	11,8	40	30
7	CH ₄ - metan	11,3	250	200
8	CO - tlenek węgla	455,2	280*	280*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	2174,4	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,21	0,3	
10	O ₂ tlen	2147	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru	
11	N ₂ azot	27803		
12	powietrze	29950		
13	Suma gazów palnych	801,6		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,2		
<p>Ocena wyników:</p> <p>Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 20.02.2015 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie koncentracja gazów rozpuszczonych w oleju uległy obniżeniu za wyjątkiem tlenku węgla. Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym lub elektrycznym rozkładem celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora</p>				

Rys. 7.19: Raport z badania chromatograficznego transformatora 10 (dane osobowe usunięte)

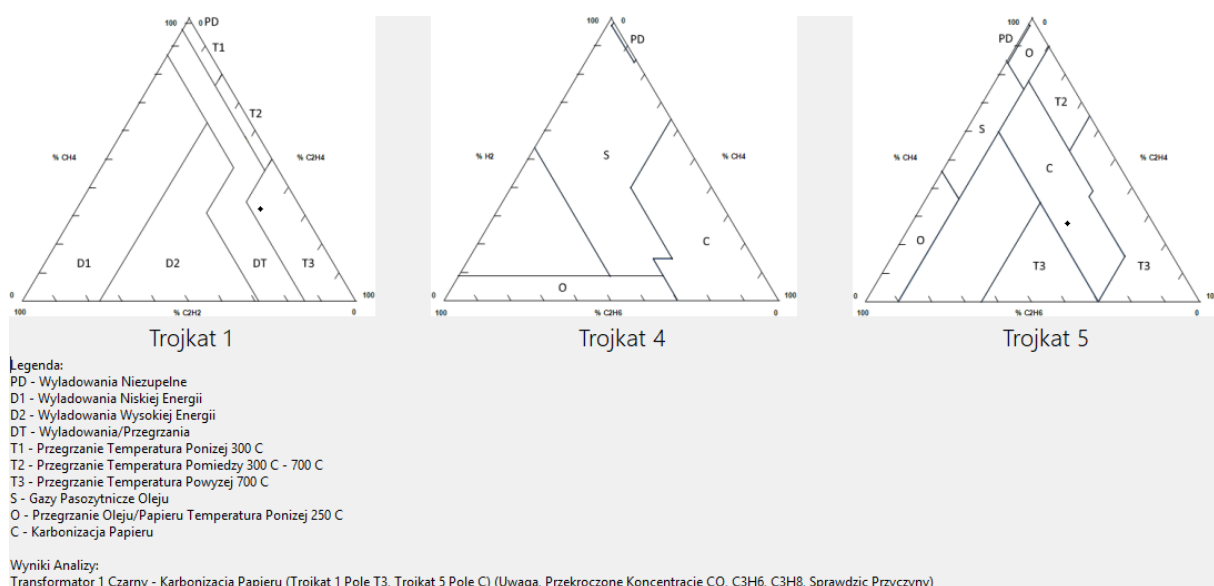


Rys. 7.20: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 10 programem

Punkt 10 pokazuje wyladowania niskiej energii. To badanie porównawcze z rokiem 2015. W porównaniu z poprzednim koncentracje wszystkich gazów oprócz tlenku węgla spadły. To oznacza, że zostały wykonane czynności naprawcze na transformatorze które się powiodły. Dalsze występowanie tlenku węgla może wskazywać na przegrzanie i rozkład celulozy. Rejon punktu to D1, ale na granicy z D2. Jeśli koncentracje gazów spadły, to oznacza że poprzedni punkt znajdował się w D2, co jak wcześniej wytłumaczono zgadza się z wnioskiem o karbonizacji.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 579	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 27.09.2016	
Zleceńiodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	12	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TR- 10000/110	Data pobrania	21.09.2016	
Moc [MVA]	10	Data otrzymania	26.09.2016	
Napiecia [kV]	115/16,5	Data analizy	26.09.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1972			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	238,5	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	12,9	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	58,8	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	32,7	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	50,7	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	72,6	40	30
7	CH ₄ - metan	35,0	250	200
8	CO - tlenek węgla	459,0	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	1869,4	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,25	0,3	
10	O ₂ tlen	2197	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
11	N ₂ azot	26848		
12	powietrze	29045		
13	Suma gazów palnych	960,2		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,3		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu, propanu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 23.02.2015 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie koncentracja gazów rozpuszczonych w oleju utrzymuje się na podobnym poziomie. Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym lub elektrycznym rozkładem celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.				

Rys. 7.21: Raport z badania chromatograficznego transformatora 11 (dane osobowe usunięte)

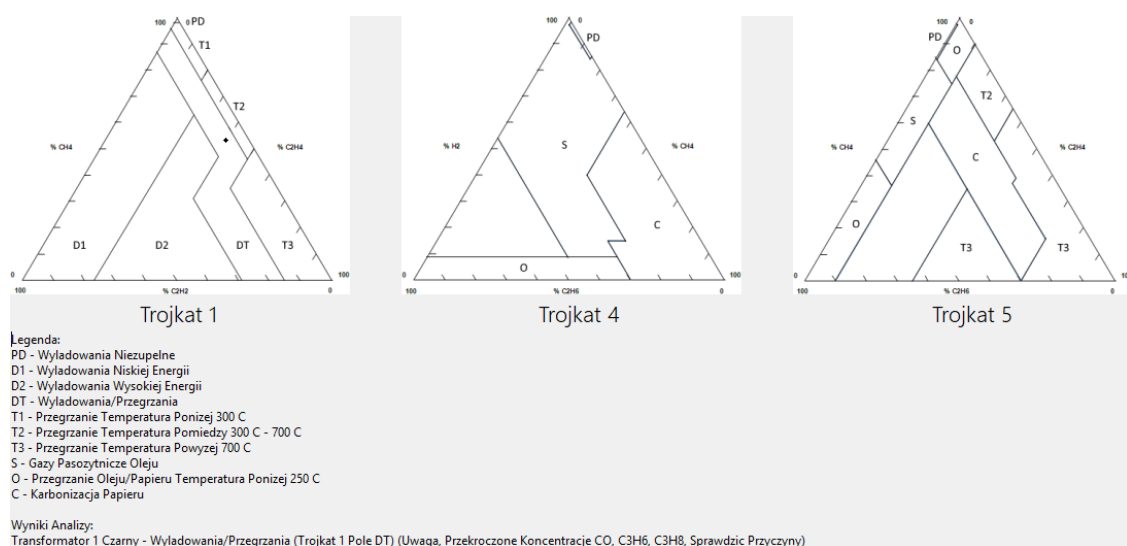


Rys. 7.22: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 11 programem

Koncentracje gazów punktu 11 są na tyle duże, że została stwierdzona karbonizacja papieru. Tutaj badanie potwierdziło występowanie rozkładu celulozy przy przegraniu. Wnioski raportu pokazują, że jest to badanie porównawcze do roku 2015, a koncentracje gazów nadal utrzymują się na stałym poziomie. To jest zły znak, ponieważ oznacza że albo transformator nie został naprawiony albo naprawa się nie powiodła. Dla potwierdzonej karbonizacji papieru powinno się wymienić izolację uzwojeń w trybie natychmiastowym, a brak poprawy stanu sugeruje że tego nie zrobiono. Dalsza eksploatacja tego transformatora mogłaby skutkować całkowitym spalaniem izolacji albo w najgorszym przypadku pożarem oleju.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 582	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 27.09.2016	
Zleciennodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	31	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TDRbz- 25000/110	Data pobrania	22.09.2016	
Moc [MVA]	25	Data otrzymania	26.09.2016	
Napięcia [kV]	115/16,5	Data analizy	26.09.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1987			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	ściełowy
1	H ₂ - wodór	23,7	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	4,5	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	27,5	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	31,1	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	52,8	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	46,1	40	30
7	CH ₄ - metan	38,6	250	200
8	CO - tlenek węgla	534,4	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	2098,6	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,25	0,3	
10	O ₂ tlen	4269	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
11	N ₂ azot	29099		
12	powietrze	33368		
13	Suma gazów palnych	758,5		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,6		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propanu, propylenu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 10.07.2015 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie koncentracja gazów rozpuszczonych w oleju uległa obniżeniu za wyjątkiem tlenku węgla. Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym bądź elektrycznym rozkładem celulozy. Następane badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora				

Rys. 7.23: Raport z badania chromatograficznego transformatora 12 (dane osobowe usunięte)

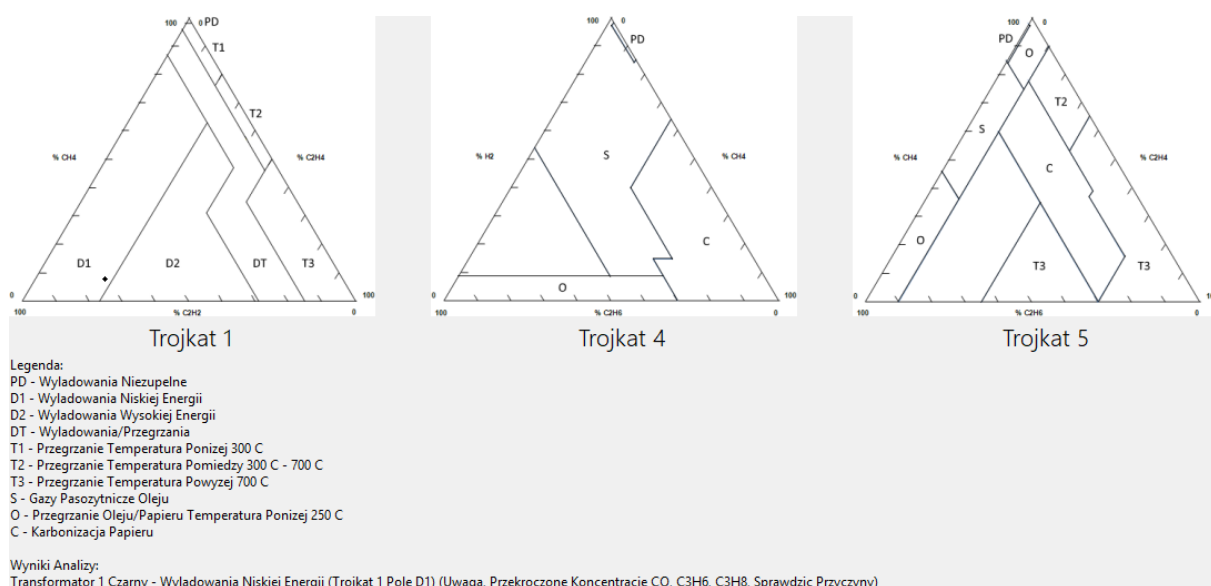


Rys. 7.24: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 12 programem

Dla transformatora 12 stwierdzono występowanie wyladowań z przegrzaniem. Nawet zgadza się to z badaniem laboratoryjnym, które stwierdziło występowanie przegrzań z rozkładem celulozy. Tutaj sytuacja jest zbliżona do transformatora 10. Również wykonano badanie kolejne w celu porównania z rokiem 2015 i tutaj też koncentracje gazów spadły. Wniosek o przegrzaniach i rozkładzie izolacji zgadza się z wynikiem analizy programem. Warto sytuację monitorować dalej, ponieważ punkt koncentracji znajduje się groźnie blisko do rejonu T2. Należy zapobiec ewolucji uszkodzenia do faktycznych przegrzań oleju.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50						
Protokół nr 537	Badanie właściwości fizyko-chemicznych oleju				Data: 05.10.2016	
Zlecienniodawca: [REDACTED]					Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	góra			
Msc. zaist.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	34,8			
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]			
Typ	TDRb 25000/110	Data pobrania	26.09.2016			
Moc [MVA]	25	Data otrzymania	03.10.2016			
Napięcia [kV]	115/16,5	Data analizy	05.10.2016			
Producent	ELTA	Uwagi	brak			
Rok produkcji	1977					
Rodzaj oleju	eksploatacyjny					
WYNIKI ANALIZY						
Poz.	Rodzaj badania	Metoda testu	Jed.	Wartość zmierzona	Wartość dopuszczalna	Uwagi
1	Barwa	skala barw	-	9	nie dotyczy	brak
2	Klarowność	PN -EN 60296	-	klarowny	klarowny	brak
3	Zawartość wody wydzielonej	PN -EN 60296	-	nie zawiera	nie zawiera	brak
4	Zawartość stałych ciał obcych	PN -EN 60296	-	nie zawiera	nie zawiera	brak
5	Temperatura zaplonu	PN-EN ISO 2719	°C	138	≥130	brak
6	Liczba kwasowa	PN-EN 62021-1	mg KOH/g	0,035	≤ 0,25	brak
7	Zawartość wody met. K. Fischera	PN-EN 60814	ppm	10,3 (13,4*)	≤ 25 w temp. 50°C	brak
8	Współczynnik strat dielektrycznych w 50°C	PN-EN 60247	-	0,0138	≤ 0,07	brak
9	Rezystywność w 50°C	PN-EN 60247	Ωm	1,29x10 ¹⁰	≥ 5x10 ⁹	brak
10	Napięcie przebicia	PN-EN 60156	kV	75	≥ 45	brak
11	Względne odchylenie standardowe	PN-EN 60156	%	0,1	≤ 20	brak
12	Napięcie powierzchniowe	PN-90/C-04809	mN/m	28	≥20	brak
<small>*-zawartość wody w 20°C</small> Ocena wyników: Badany olej elektroizolacyjny spełnia wymagania stawiane olejom w eksploatacji wg zaleceń "Ramowej Instrukcji Eksploatacji Transformatorów" Gliwice 2012.						

Rys. 7.25: Raport z badania chromatograficznego transformatora 13 (dane osobowe usunięte)

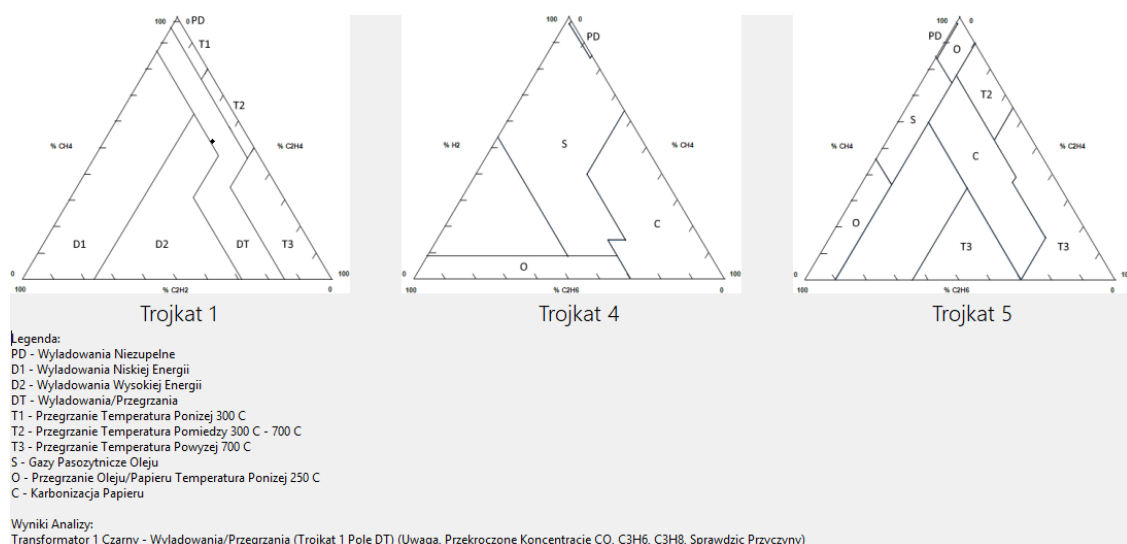


Rys. 7.26: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 13 programem

Transformator 13 pokazuje symptomy wyladowań niskiej energii. Tutaj jednak następuje pewna nierówność jeśli chodzi o raport. Stwierdzone w nim zostało, że mimo przekroczenia wartości granicznej transformator spełnia warunku ramowe, ponieważ stosunek tlenu węgla do dwutlenku węgla jest mniejszy niż 0.3. Ten warunek również się czasami stosuje, ale mimo wszystko należy na ten transformator uważać. Punkt koncentracji gazów oleju znajduje się na granicy pomiędzy rejonami D1 i D2, co oznacza że mogą w nim zacząć występować wyladowania wysokiej energii. Dodatkowo warto upewnić się badaniem przyspieszonym, czy teraz nie występują wyladowania ‘niezupelne’ niskiej energii.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 610	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 04.10.2016	
Zlecienniodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	26	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TDRbz 25000/110	Data pobrania	29.09.2016	
Moc [MVA]	25	Data otrzymania	03.10.2016	
Napiecia [kV]	115/22	Data analizy	03.10.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1978			
Rodzaj oleju	eksploatacja			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	47,3	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	11,3	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	32,3	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	72,3	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	57,4	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	66,5	40	30
7	CH ₄ - metan	49,0	250	200
8	CO - tlenek węgla	614,0	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	2254,6	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,27	0,3	
10	O ₂ tlen	3225	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
11	N ₂ azot	27635		
12	powietrze	30860		
13	Suma gazów palnych	950,1		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,3		
Ocena wyników:				
<p>Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu, propanu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne.</p> <p>W porównaniu do ostatniego badania z dnia 04.12.2014 /prot.1099/ koncentracja gazów rozpuszczonych w oleju uległa obniżeniu z wyjątkiem tlenku węgla którego koncentracja wyraźnie wzrosła.</p> <p>Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym rozkładem celulozy.</p> <p>Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.</p>				

Rys. 7.27: Raport z badania chromatograficznego transformatora 14 (dane osobowe usunięte)

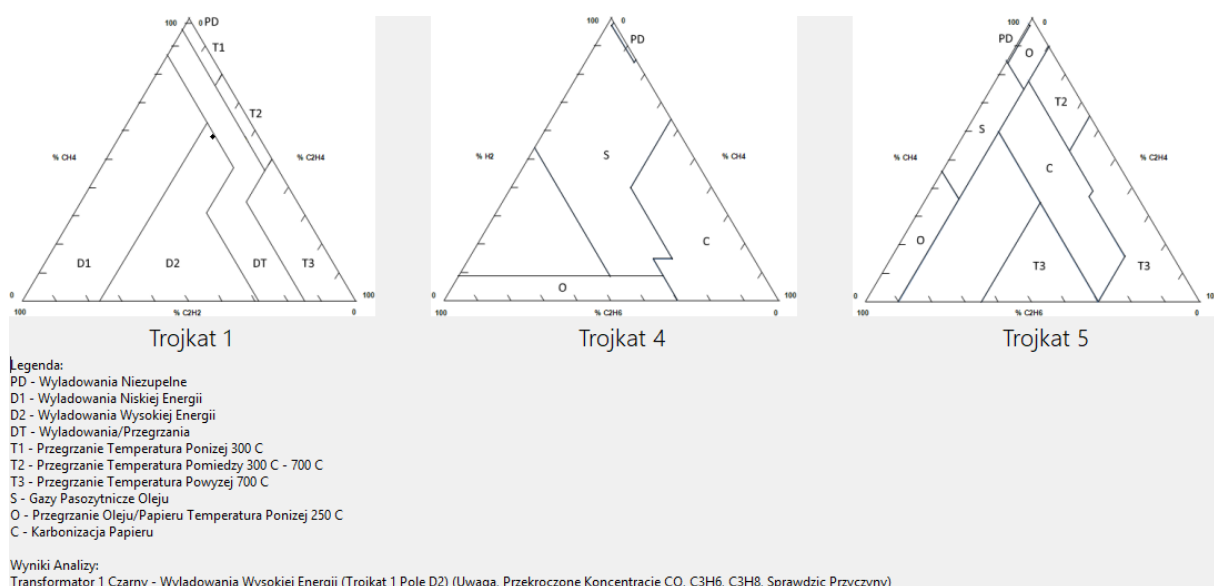


Rys. 7.28: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 14 programem

W punkcie 14 mamy wykryte wyladowania z przegrzaniem. W raporcie jest to potwierdzone wykryciem przegrzania z rozkladem celulozy. Jednak porownanie z badaniem poprzednim wskazuje daje problematyczne wnioski. W porownaniu z rokiem 2014 koncentracje wiekszosci gazow spadly, ale za to koncentracja tlenu węgla znacznie wzrosła. To jest znak ostrzegawczy – Jeśli już wcześniej został wykryty rozkład celulozy, to należy teraz sprawdzic stan izolacji. Możliwe, że jej rozkład spowodował nieszczelności i do oleju dostają się gazy.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 611	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 04.10.2016	
Zlecienniodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. załst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	35	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TDRb 25000/110	Data pobrania	30.09.2016	
Moc [MVA]	25	Data otrzymania	03.10.2016	
Napiecia [kV]	115/22	Data analizy	03.10.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1985			
Rodzaj oleju	eksploatacja			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sielowy
1	H ₂ - wodór	15,1	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	8,2	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	16,0	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	31,1	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	52,9	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	56,1	40	30
7	CH ₄ - metan	33,7	250	200
8	CO - tlenek węgla	519,5	260*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	1746	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,30	0,3	
10	O ₂ tlen	1038	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
11	N ₂ azot	28259		
12	powietrze	29297		
13	Suma gazów palnych	732,6		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,2		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu, propanu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym rozkładem celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.				

Rys. 7.29: Raport z badania chromatograficznego transformatora 15 (dane osobowe usunięte)

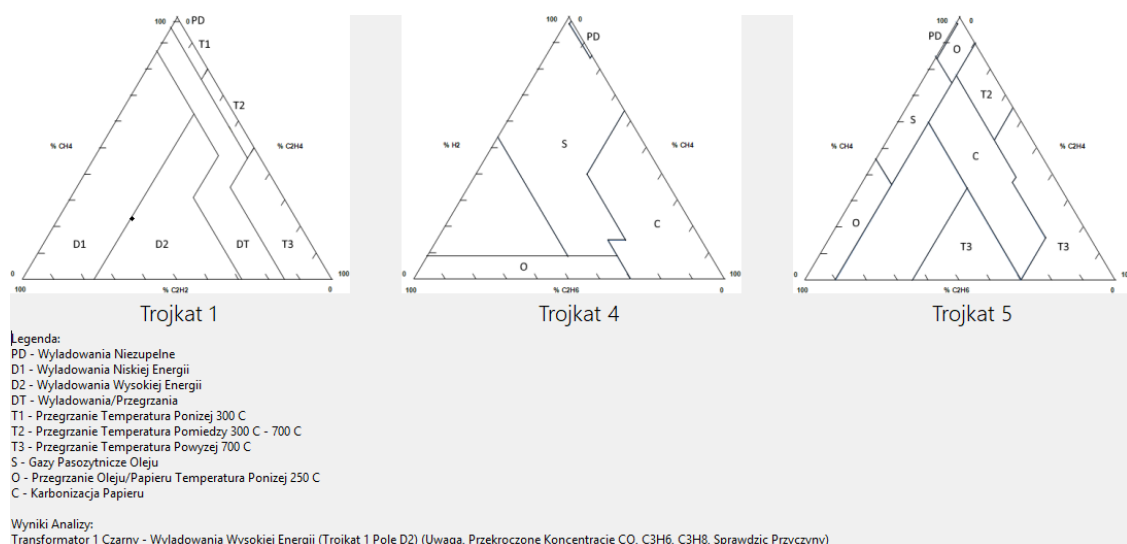


Rys. 7.30: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 15 programem

Dla punktu 15 program wykrył wyladowania wysokiej energii. Jednak ze względu na przekroczone koncentracje tlenu węgla, propylenu i propanu badanie wykazalo występowanie lokalnych przegrzań z rozkładem celulozy. Ten scenariusz kolejny raz się zgadza ze sobą, poniewaz rozkład celulozy może wywołować wyladowania wysokiej energii. Dodatkowo trzeba zwrócić uwagę na rejon punktu. Jest on na granicy D2 i DT, co oznacza, że uszkodzenie może się pogarszać. Jeśli nie zostanie ono naprawione, może dojść do faktycznych przegrzań i wyladowań w oleju.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 637	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 11.10.2016	
Zleceńodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	20	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TDRbz- 25000/110	Data pobrania	04.10.2016	
Moc [MVA]	25	Data otrzymania	10.10.2016	
Napiecia [kV]	115/16,5	Data analizy	10.10.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1987			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	22,2	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	34,6	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	14,5	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	9,2	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	59,6	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	39,8	40	30
7	CH ₄ - metan	15,3	250	200
8	CO - tlenek węgla	464,9	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	1512,3	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,31	0,3	
11	O ₂ tlen	1855	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
12	N ₂ azot	25270		
13	Suma gazów palnych	660,1		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		2,9		
Ocena wyników: <p>Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu, propanu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 22.09.2014 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie koncentracja gazów rozpuszczonych w oleju uległa nieznacznemu obniżeniu. Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie połączone z termicznym rozkładem celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.</p>				

Rys. 7.31: Raport z badania chromatograficznego transformatora 16 (dane osobowe usunięte)

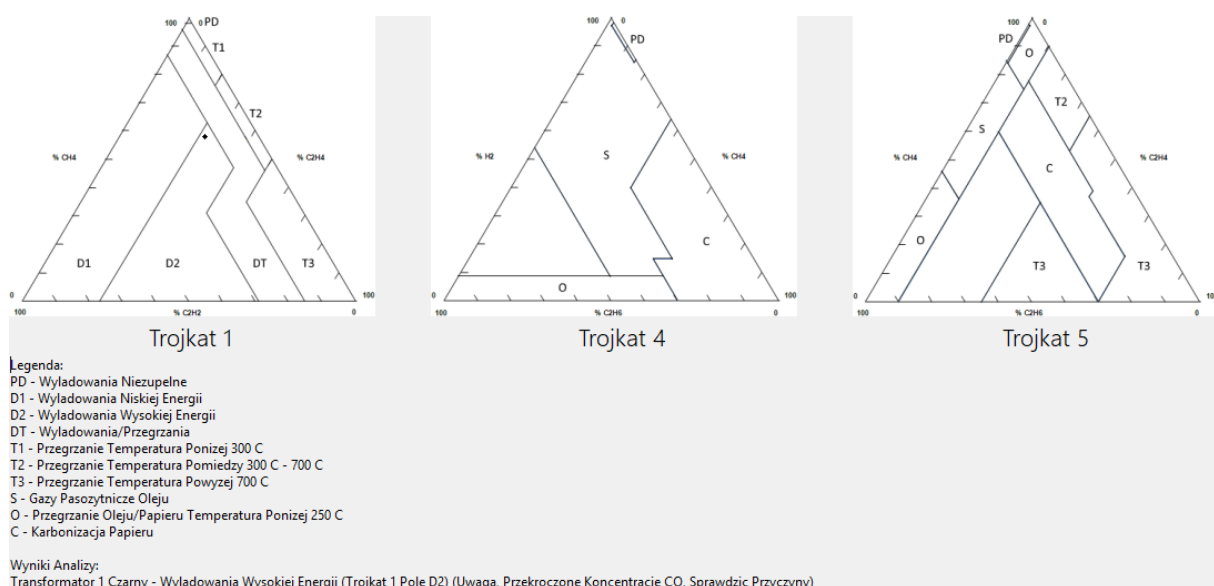


Rys. 7.32: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 16 programem

Program przy punkcie 16 stwierdził występowanie wyladowań wysokiej energii. Tak jak wcześniej ze względu na koncentracje tlenu węgla, propylenu i propanu badanie pokazało przegrzania z rozkładem celulozy. W porównaniu z badaniem poprzednim w roku 2014 koncentracje gazów nieznacznie spadły. To z kontekstu nie wydaje się jednak być efektem napraw. Punkt koncentracji jest w rejonie D2, na granicy D1 i D2. Prawdopodobne, że wcześniej znajdował się on w rejonie D1 i uszkodzenie ewoluowało.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 640	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 11.10.2016	
Zlecienniodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	4	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TDRbz- 25000/110	Data pobrania	07.10.2016	
Moc [MVA]	25	Data otrzymania	10.10.2016	
Napięcie [kV]	115/16,5	Data analizy	10.10.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1980			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	21,4	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	9,6	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	15,6	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	11,9	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	39,9	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	28,3	40	30
7	CH ₄ - metan	36,6	250	200
8	CO - tlenek węgla	580,1	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	2672,9	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,22	0,3	
10	O ₂ tlen	1870	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
11	N ₂ azot	28332		
12	powietrze	30202		
13	Suma gazów palnych	743,4		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,3		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenie granicznej koncentracji tlenku węgla przyjętej za dopuszczalną. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 11.12.2014 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie koncentracja gazów rozpuszczonych w oleju uległa obniżeniu. Wynik analizy wskazuje na termiczny rozkład celulozy. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.				

Rys. 7.33: Raport z badania chromatograficznego transformatora 17 (dane osobowe usunięte)

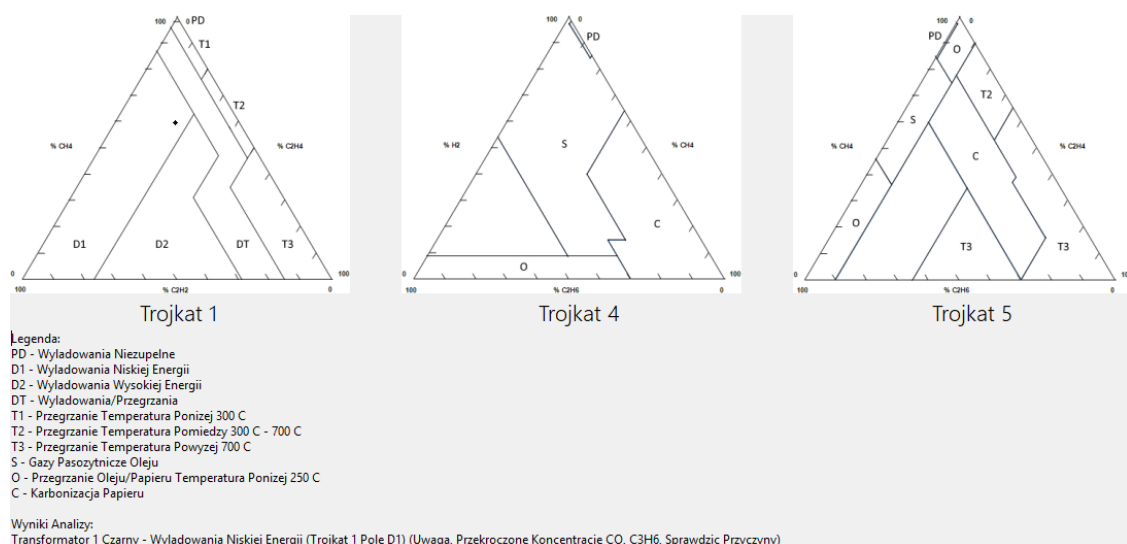


Rys. 7.34: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 17 programem

W punkcie 17 zostały wykryte wyladowania wysokiej energii. Badanie laboratoryjne pokazało jednak, że występuje tak naprawdę termiczny rozkład celulozy. W porównaniu z badaniem w roku 2014 koncentracje gazów się obniżyły. Ponieważ ten spadek był znaczny, możemy podejrzewać że dokonano remontu. Punkt koncentracji znajduje się w rejonie D2, blisko punktu potrójnego D1/D2/DT. Warto jest nadal monitorować stan transformatora, ponieważ nie jesteśmy pewni czy naprawa była wystarczająca. Być może w przyszłości punkt przejdzie do rejonu D1, co sugeruje poprawę stanu, a może do rejonu DT, co oznaczałoby głębsze uszkodzenie transformatora.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 757	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 03.11.2016	
Zleciennodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	28	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TORb 10000/110	Data pobrania	27.10.2016	
Moc [MVA]	10	Data otrzymania	31.10.2016	
Napięcia [kV]	115/16,5	Data analizy	31.10.2016	
Producent	ELTA	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1972			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sięciowy
1	H ₂ - wodór	219,7	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	14,8	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	13,8	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	83,8	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	67,2	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	19,7	40	30
7	CH ₄ - metan	43,8	250	200
8	CO - tlenek węgla	437,9	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	1557	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,28	0,3	
10	O ₂ tlen	2066		
11	N ₂ azot	29158	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
12	powietrze	31224		
13	Suma gazów palnych	881,0		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,3		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych koncentracji propylenu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 20.02.2015 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie stwierdzono znaczne obniżenie koncentracji propanu, koncentracja pozostałych gazów rozpuszczonych w oleju pozostaje na tym samym poziomie. Wynik analizy wskazuje na wylądowania o małej energii. Następne badanie proponujemy po sześciu miesiącach eksploatacji transformatora.				

Rys. 7.35: Raport z badania chromatograficznego transformatora 18 (dane osobowe usunięte)

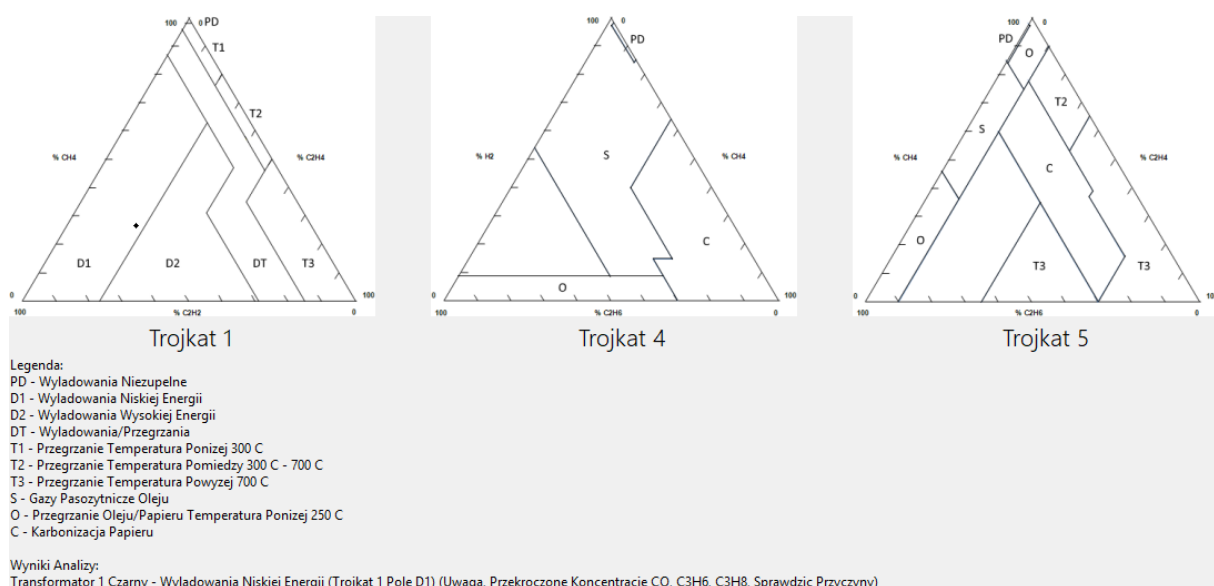


Rys. 7.36: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 18 programem

Transformator 18 pokazuje możliwość występowania wyladowań niskiej energii. Ten fakt został w pełni potwierdzony badaniem laboratoryjnym, które również stwierdziło występowanie wyladowań niezupełnych. Dodatkowo wiemy, że w porównaniu do badania z roku 2015 znacznie spadła koncentracja propanu. To może oznaczać, że nastąpiła próba naprawy izolacji, która niekoniecznie się sprawdziła. Rejon punktu to D1, i nie jest on blisko granicy z pozostałymi rejonami. Należy dalej monitorować stan transformatora, aby się upewnić czy jego stan się pogarsza.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 776	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 08.11.2016	
Zlecienniodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	7	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TORb 10000/110	Data pobrania	07.11.2016	
Moc [MVA]	10	Data otrzymania	08.11.2016	
Napiecie [kV]	115/16,5	Data analizy	08.11.2016	
Producent	FTIAT ELTA Łódź	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1972			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	ściegowy
1	H ₂ - wodór	202,7	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	15,7	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	6,1	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	3,4	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	44,3	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	75,0	40	30
7	CH ₄ - metan	7,5	250	200
8	CO - tlenek węgla	437,0	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	1768	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,25	0,3	
10	O ₂ tlen	2536		
11	N ₂ azot	31277	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
12	powietrze	33813		
13	Suma gazów palnych	791,7		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,4		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne wykazało przekroczenia granicznych wartości; propanu, propylenu i tlenku węgla przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 23.02.2015 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie stwierdzono jedynie wzrost koncentracji tlenku węgla rozpuszczonego w oleju. Wynik analizy wskazuje na lokalne przegrzanie w transformatorze.				

Rys. 7.37: Raport z badania chromatograficznego transformatora 19 (dane osobowe usunięte)

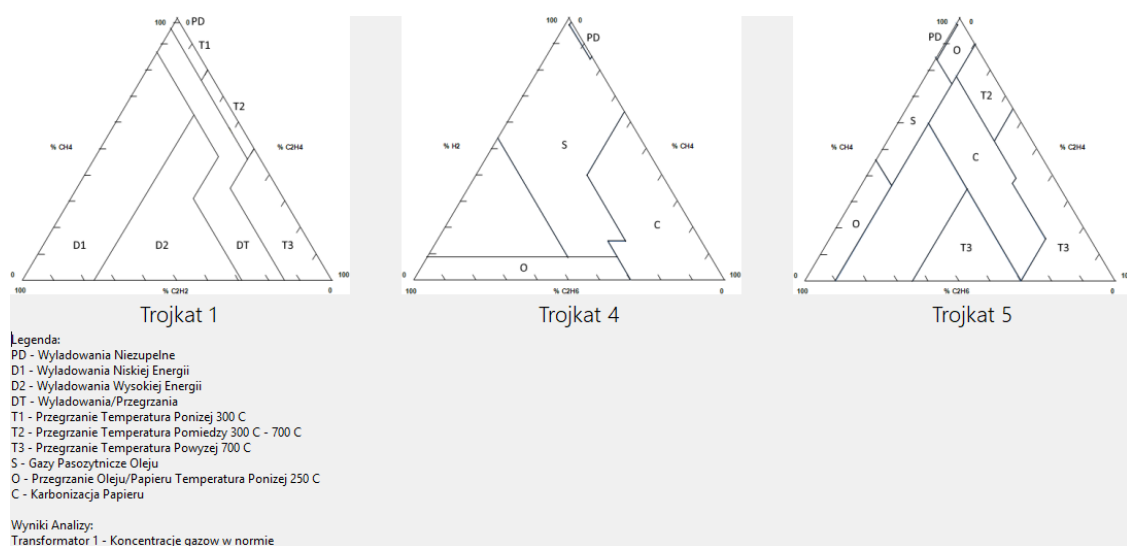


Rys. 7.38: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 19 programem

Dla punktu 19 mamy wykryte wyladowania niskiej energii. W porownaniu z rokiem 2015 wykryto zwiekszenie koncentracji tlenu węgla, a wnioskiem z badania są lokalne przegrzania transformatora. Punkt koncentracji znajduje się w D1 na granicy D1 i D2. Należy z tym transformatorem uważać, ponieważ lokalne przegrzania nie są zgodne z wyladowaniami. Być może w przyszłości jak uszkodzenie ewoluuje koncentracje gazów trójkątów będą na tyle wysokie że prawdziwa przyczyna będzie sprawdzalna.

ZREW Transformatory S.A. 92-412 Łódź ul. Rokicińska 144 tel. (0-42) 671 86 50				
Protokół nr 791	Analiza Chromatograficzna wg IEC 60567 i IEC 60599		Data: 16.11.2016	
Zleciennodawca: [REDACTED]			Zlecenie: [REDACTED]	
Urządzenie	transformator	Msc. pobrania	z góry	
Msc. zainst.	[REDACTED]	Temp. oleju [°C]	19	
Nr fabryczny	[REDACTED]	Pobrał	[REDACTED]	
Typ	TNARBA 25000/110	Data pobrania	14.11.2016	
Moc [MVA]	25	Data otrzymania	16.11.2016	
Napięcia [kV]	115/16,5	Data analizy	16.11.2016	
Producent	FTIAT ELTA Łódź	Uwagi	brak	
Rok produkcji	1991			
Rodzaj oleju	eksploatacyjny			
WYNIKI ANALIZY				
Poz.	Rodzaj gazu	Wartość zmierzona [ppm]	wartości dopuszczalne wg RIET 2012 [ppm]	
			blokowy	sieciowy
1	H ₂ - wodór	10,7	260	350
2	C ₂ H ₂ - acetylen	33,3	20	70
3	C ₂ H ₄ - etylen	5,7	250	260
4	C ₂ H ₆ - etan	1,5	160	170
5	C ₃ H ₆ - propylen	1,2	40	40
6	C ₃ H ₈ - propan	4,9	40	30
7	CH ₄ - metan	5,0	250	200
8	CO - tlenek węgla	127,8	280*	260*
9	CO ₂ - dwutlenek węgla	733,1	3500*	4000*
10	CO/CO ₂	0,17	0,3	
10	O ₂ tlen	5595	*) w praktyce spotykane są również znacznie wyższe koncentracje tlenków węgla; wartość stosunku CO ₂ /CO poniżej 3 może świadczyć o nadmiernej degradacji papieru.	
11	N ₂ azot	37818		
12	powietrze	43413		
13	Suma gazów palnych	190,1		
Procentowa ilość gazów w oleju [%]		3,8		
Ocena wyników: Badanie chromatograficzne nie wykazało przekroczenia żadnej z granic koncentracji gazów przyjętych za dopuszczalne. W porównaniu do ostatniego badania z dnia 27.06.2013 wykonanych w laboratorium Tauron Dystrybucja S.A. Oddział w Krakowie nie stwierdzono wzrost koncentracji gazów rozpuszczonych w oleju. Wynik analizy nie wskazuje na obecność wolnorodzącego się uszkodzenia w transformatorze. Następne badanie proponujemy po rocznej eksploatacji transformatora.				

Rys. 7.39: Raport z badania chromatograficznego transformatora 20 (dane osobowe usunięte)



Rys. 7.40: Wynik analizy koncentracji gazów transformatora 20 programem

Ze względu na to że koncentracje wszystkich gazów w transformatorze 20 są w normie, ani program ani badanie nie wykazały występowania żadnego uszkodzenia. Powyższe przykłady potwierdzają, że wykonywanie analizy trójkątem Duvala jest przydatnym procesem w diagnostyce transformatorów. Dzięki skomasowanej naturze interfejsu użytkownika możemy wprowadzić dane wszystkich 20 transformatorów jednocześnie oraz wykonać ich analizy za pomocą jednego przycisku.

Analiza Duvala

Wpisywanie Danych | Analiza Koncentracji | Opis Teoretyczny

Analiza Gazow Rozpuszczonych - Metoda Duvala

Wpisywanie Danych Transformatorow

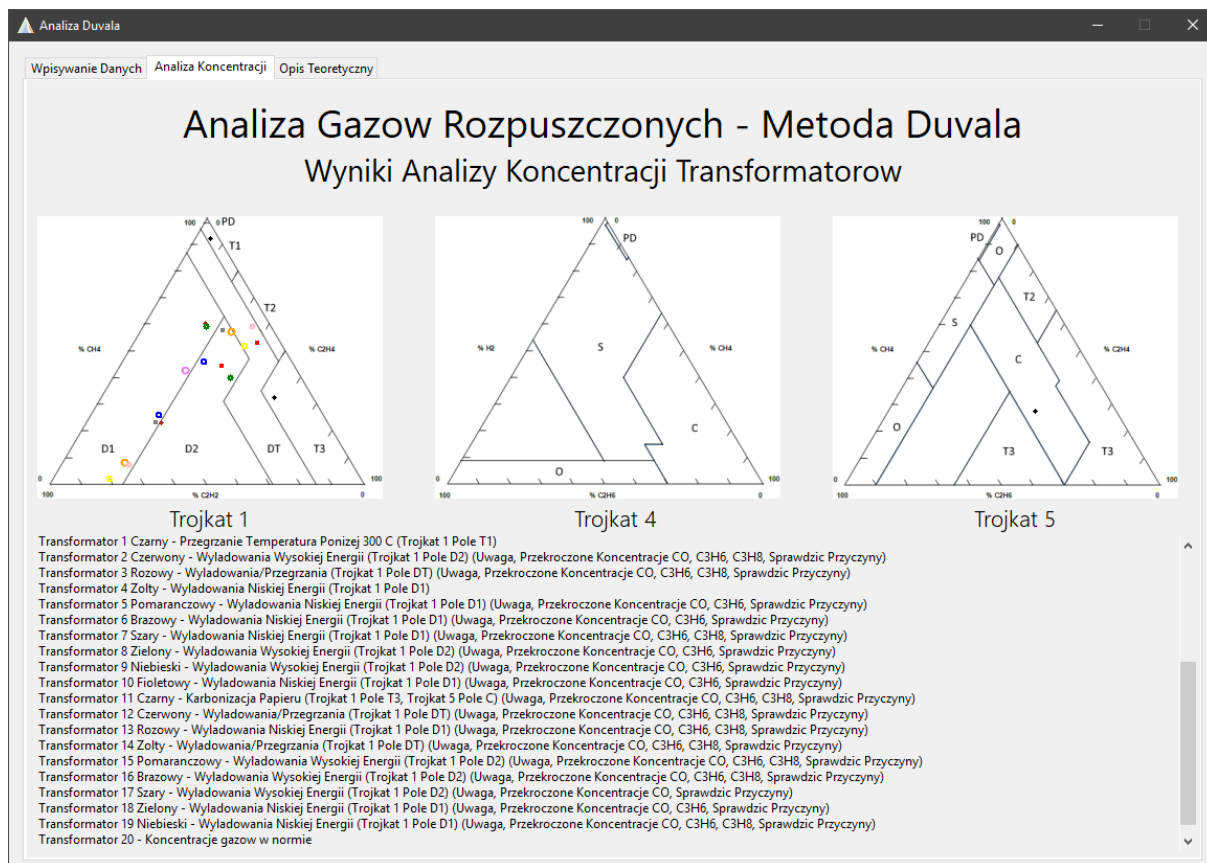
Oblicz

Tryb Pracy: ☐ Tylko Gazy Trojkatow ☐ Szybkie Kolory Ilosc Transformatorow: 20

☒ Wszystkie Gazy

Numer [-]	Typ [Siec/Blok]	Kolor Punktu [-]	H2 [ppm]	CH4 [ppm]	C2H2 [ppm]	C2H4 [ppm]	C2H6 [ppm]	CO [ppm]	C3H6 [ppm]	C3H8 [ppm]
1	Siec	Czarny	527	43	1	2	36	104	0	0
2	Siec	Czerwony	42	49	25	34	63	599	65	58
3	Siec	Rozowy	18	32	3	18	43	500	77	45
4	Siec	Zolty	7	3	108	21	1	160	2	13
5	Siec	Pomarancowy	22	6	51	12	3	313	63	24
6	Siec	Brazowy	293	36	12	11	61	439	61	16
7	Siec	Szary	42	42	99	37	34	550	64	51
8	Siec	Zielony	3	9	5	8	2	603	49	15
9	Siec	Niebieski	54	27	16	14	16	540	45	24
10	Siec	Fioletowy	246	11	9	5	11	455	52	12
11	Siec	Czarny	239	35	13	59	33	459	51	73
12	Siec	Czerwony	24	39	5	28	31	534	53	46
13	Siec	Rozowy	28	7	65	18	4	516	62	48
14	Siec	Zolty	47	49	11	32	72	614	57	67
15	Siec	Pomarancowy	15	34	8	16	31	520	53	56
16	Siec	Brazowy	22	15	35	15	9	465	60	40
17	Siec	Szary	21	37	10	16	12	580	40	28
18	Siec	Zielony	220	44	15	14	84	438	67	20
19	Siec	Niebieski	203	8	16	6	3	437	44	75
20	Siec	Fioletowy	11	5	33	6	2	128	1	5

Rys. 7.2: Wpisane dane wszystkich transformatorów do programu



Rys. 7.3: Wykonana analiza wprowadzonych danych transformatorów

Po wykonaniu analizy wyników dla raportu i programu możemy stwierdzić, że program mimo wszystko funkcjonuje dosyć dobrze. We wszystkich przypadkach, gdzie podwyższone były koncentracje gazów z trójkątów Duvala program stwierdził prawidłowo jaki rodzaj uszkodzenia nastąpił. Jedynym problemem jest analiza przypadków, w których koncentracje gazów Duvala są w normie, ale zostały przekroczone koncentracje tlenu węgla, propylenu i propanu. Z tego względu wyniki badań dla przekroczenia koncentracji tych gazów musi być wykorzystana uwaga wpisana obok wyniku analizy. Przyczyna takich koncentracji musi zostać sprawdzona laboratoryjnie, ponieważ trójkąty Duvala nie są przygotowane do obsługi takich przypadków.

8 Wnioski

Wykonany w ramach pracy program spełnia założone wymagania. Zgodnie z zasadami analizy koncentracji gazów rozpuszczonych w oleju transformatora obliczane są koncentracje względne a następnie porównywane z rejonami trójkątów Duvala. Przeprowadzone w rozdziale 5 obliczenia przykładowe pokazują, że program prawidłowo określa rodzaj uszkodzenia w transformatorze, jeśli przekroczone zostały wartości graniczne gazów wchodzących w skład trójkątów. Mimo tego przedstawiona została również wada tego podejścia. Analiza trójkątami Duvala jest w stanie pokazać przyczyny bazujące na pięciu z ośmiu gazów składowych oleju. Kiedy koncentracje gazów spoza trójkątów zostaną przekroczone, następuje problem identyfikacji.

Ze względu na to że trójkąty Duvala nie posiadają rejonów odpowiadających tlenkowi węgla, propanowi oraz propylenowi nie są one w stanie prawidłowo zdeterminować przyczynę uszkodzenia. Zwłaszcza jest to widoczne wtedy, kiedy przekroczone są tylko te trzy gazy, a pozostałe są w normie. W takim przypadku pokazane uszkodzenie nie może być prawidłowe, skoro gazy trójkątów nie zostały przekroczone. Stworzony program potwierdza, jak ważny jest etap sprawdzania wyniku analizy. Słabości programu nie są przyczyną błędu programistycznego – wykonanie ręcznych obliczeń dałoby identyczne wyniki. Stwierdzenie ograniczeń metody Duvala to przygotowanie do praktycznych wniosków w badaniach eksploatacyjnych. Porównując wyniki obliczeń programu z kartami analizy chromatograficznej widzimy, że często przekroczone koncentracje gazów nie da się poddać zwykłej analizie trójkątami. W przypadkach tych wymagane są dokładniejsze badania stanu transformatora.

Pomimo tego, że metoda Duvala nie jest uniwersalna, nadal można ją skutecznie wykorzystywać w przychylnych warunkach. Pozwala ona na prawidłowe wykrycie uszkodzeń jeśli przekroczone są tylko gazy z trójkątów. Dodatkowo, umożliwia ona przeprowadzenie badań czasowych. Jeśli zamiast danych wielu transformatorów wpiszemy dane jednego transformatora wykonane wielokrotnie w różnych dniach, możemy badać ewolucję uszkodzenia. To samo z siebie pozwala nam optymistycznie stwierdzić że program swoją rolę w kategorii zabezpieczenia prewencyjnego i pouszkodzeniowego spełnia prawidłowo.

9 Literatura

- [1] Kaszowska B., Kucharska B., „*Laboratorium sieci i systemów elektroenergetycznych*”, Politechnika Opolska, Skrypt 190, Opole 1996
- [2] Kapinos J., „*Uszkodzenia eksploatacyjne transformatorów elektroenergetycznych*”, Politechnika Śląska, Maszyny Elektryczne Nr. 88, Gliwice 2010
- [3] Bluszcz R., „*Zabezpieczenia typu Buchholz w transformatorach energetycznych*”, ZPBE Energopomiar – Elektryka Sp. z o.o., Artykuł 1, Gliwice 2008
- [4] DiGiorgio J. B., „*Dissolved Gas Analysis of Mineral Oil Insulating Fluids*”, Northern Technology & Testing, Seminarium, Sacramento California 2013
- [5] Duval M., „*Dissolved Gas Analysis and the Duval Triangle*”, TechCon North America Conference, Albuquerque New Mexico 2016
- [6] Beauchemin C., „*DGA Tools: Duval Triangles and Pentagons*”, TJH2b Analytical Seviles, Międzynarodowa Konferencja Transformatorowa TRANSFORMATOR'17, TechCon SE Asia, Kuala Lumpur 2017
- [7] Dukarm J., Draper Z., Piotrowski T., „*Diagnostic Simplexes for Dissolved Gas Analysis*”, Delta-X Research Inc., Miesięcznik Energies, Łódź 2020
- [8] Bagiński A., „*Ramowa Instrukcja Eksploatacji Transformatorów*”, Energopomiar Gliwice, Gliwice 2016
- [9] Duval M., „*Stray Gassing of Oil in HV Transformers*”, Institute of Electrical and Electronic Engineers, Wydanie 28, Numer 5, 2021
- [10] Duval M., „*Investigations into the Stray Gassing of Oils in the Fault Diagnosis of Transformers*”, Institute of Electrical and Electronic Engineers, Wydanie 29, Numer 5, 2014
- [11] Duval M., „*Calculation of DGA Limit Values and Sampling Intervals in Transformers in Sevice*”, Institute of Electrical and Electronic Engineers, Wydanie 24, Numer 5, 208
- [12] Loiselle, L., Rao, U.M., Fofana, I.: „*Influence of Aging on Oil Degradation and Gassing Tendency for Mineral oil and Synthetic Ester under Low Energy Discharge Electrical Faults.*” Energies 2020, Wydanie 13, 595
- [13] Irungu, G.K. Akumu, A.O.: „*Application of Dissolved Gas Analysis in Assessing Degree of Healthiness or Faultiness with Fault Identification in Oil-Immersed Equipment.*” Energies 2020, 13, 4770
- [14] Aciu, A.-M. Nicola, C.-I. Nicola, M. Nițu, M.-C.: „*Complementary Analysis for DGA Based on Duval Methods and Furan Compounds Using Artificial Neural Networks.*” Energies 2021, 14, 588