

Dave Hanson, Kevin Li, Jorge Plascencia,

TJ|H2b Analytical Services

Clair Claiborne, Donald Cherry, George Frimpong

ABB Inc.

## Znaczenie analizy gazów rozpuszczonych (DGA) w badaniu płynów estrowych (rozkład termiczny płynów estrowych)

### Understanding dissolved gas analysis of ester fluids (thermal decomposition of ester fluids)

Rozkład elektroizolacyjnych płynów na bazie estrów przy występowaniu usterek termicznych powoduje powstawanie związków chemicznych, które mogą być wykorzystane do identyfikacji i określenia charakteru usterek. Powszechnie stosowane charakterystyki takich uszkodzeń uwzględniają względną temperaturę, ilość energii i rodzaj materiału dotyczącego źródła usterek lub będącego w pobliżu tego źródła.

Nasza wiedza dotycząca produktów rozkładu termicznego w dużej mierze opiera się na licznych badaniach procesów pirolizy prowadzonych w różnorodnych warunkach. Precyzyjność stosowanego w tych badaniach sprzętu oraz wybrane warunki analiz wpływają na otrzymane wyniki. Należy wziąć pod uwagę, że wiele z tych badań nie było opracowywanych w celu dokładnego modelowania lub symulacji danej usterek. Niemniej jednak uzyskane w nich wyniki mogą służyć jako dodatkowe źródło informacji i poszerzać naszą wiedzę na temat procesów termicznego rozkładu.

Różnice w składzie chemicznym różnych płynów izolacyjnych mogą, lecz nie muszą prowadzić do występowania reakcji chemicznych i powstawania produktów w wyniku termicznych uszkodzeń.

Badania nad procesami pirolizy są z pewnością pomocne w zrozumieniu znaczenia powstających związków chemicznych o zróżnicowanej budowie.

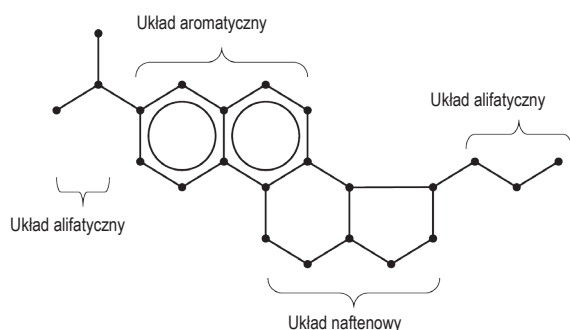
Naturalne płyny estrowe wykazują znaczne różnice w składzie chemicznym w porównaniu ze składem olejów mineralnych. Rysunek 1 przedstawia podstawowe struktury węglowe występujące w olejach mineralnych: szkielet parafinowy (alifatyczny), naftenowy i aromatyczny. Typowy alifatyczny szkielet węglowy składa się z ok. trzech węgli. Poza układami węgla aromatycznych w olejach mineralnych podwójne wiązania węglowe często

nie występują. Heteroatomy, takie jak tlen, azot czy siarka występują również w bardzo małych ilościach.

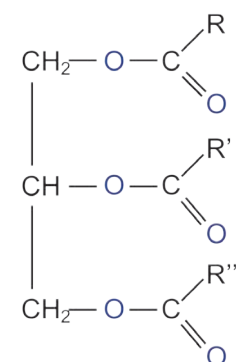
Rysunki 2 i 3 przedstawiają budowę chemiczną naturalnych płynów estrowych. Główną cechą naturalnych płynów estrowych jest obecność grup estrowych (rys. 2), łańcuchów alifatycznych zwierających do 17 atomów węgla oraz licznych podwójnych wiązań węgiel-węgiel (rys. 3). W szczególności to właśnie grupy estrowe zapewniają wysokie stężenie heteroatomów tlenu i reszt węglowodorowych wchodzących w skład tych kwasów tłuszczowych i nieposiadających grup aromatycznych i naftenowych, które można znaleźć w strukturach olejów mineralnych.

Przeglądając dostępne piśmiennictwo można odnotować liczne badania wykonywane dla innych gałęzi przemysłu, a dotyczące procesów pirolizy płynów estrowych. Wiele z tych badań skupiło się na zgłębianiu wiedzy na temat reakcji rozkładu, badaniu powstających produktów i samych mechanizmów danych procesów. Wczesniejsze badania wykazują, że w przypadku mechanizmów podobnych do tych charakterystycznych dla olejów mineralnych, podczas których powstają wodór, metan, etan i etylen, występuje również wiele innych, specyficznych struktur chemicznych obecnych w płynach estrowych. Ważnym elementem tych badań jest podkreślenie znaczenia składu poszczególnych kwasów tłuszczowych oraz budowy triglicerydów poddawanych pirolizie.

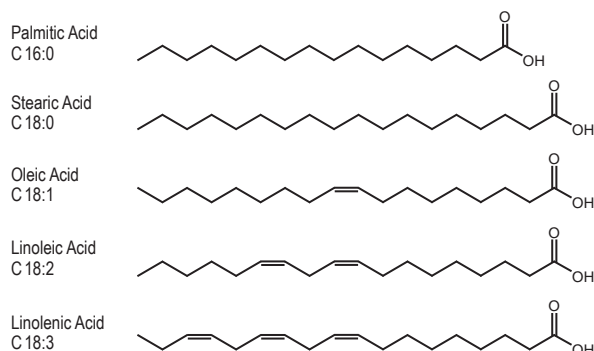
Przedstawiany artykuł omawia nowe badania dotyczące ścieżek i mechanizmów występujących w poszczególnych płynach estrowych stosowanych jako płyny elektroizolacyjne. Prezentowane badania są w trakcie realizacji. W artykule omawiane są kolejne dodatkowe naturalne płyny estrowe oraz syntetyczne płyny estrowe. Jak tylko będzie to możliwe zostaną przedstawione dalsze, nowe wyniki badań.



Rys. 1. Budowa chemiczna struktur węglowych cząsteczek oleju mineralnego



Rys. 2. Budowa chemiczna naturalnych płynów estrowych, grupy estrowe

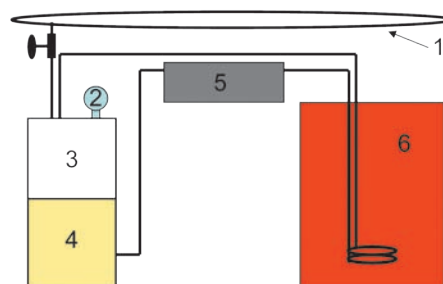


Rys. 3. Budowa chemiczna naturalnych płynów estrowych, struktury najczęściej występujących kwasów tłuszczowych

## Badania procesów pirolizy

Badania przeprowadzono na eksperymentalnym układzie przedstawionym na rysunku 4. Wybrano sprzęt i konfigurację, które:

- umożliwią obserwacje i pomiary powstających gazów w płynach izolacyjnych w temperaturach od 250°C do 700°C,
- pozwolą na przeprowadzenie badań w układzie o stałej objętości w celu pomiarów ciśnienia gazu,
- pozwolą na przeprowadzenie badań w komorach rozprężających pod ciśnieniem atmosferycznym,
- umożliwią zbieranie i analizę próbek ciekłych i gazowych.



Rys. 4. Układ sprzętu do badań procesu pirolizy.

Zestaw zawiera: 1 – komorę rozprężeniową pod ciśnieniem atmosferycznym; komora ta posiada zawór izolujący, 2 – manometr, 3 – stałą przestrzeń gazową, którą można uszczelniać przy pomocy zaworu izolującego komory rozprężeniowej, 4 – zbiornik na ciecz, 5 – pompę do cyrkulacji cieczy przez przewody od zbiornika do pieca i z powrotem, 6 – piec

Wyniki badań oleju sojowego i słonecznikowego o wysokiej zawartości kwasu oleinowego oraz oleju mineralnego zostały przedstawione w tabelach 1, 2 i 3. Dane te opisują całkowitą ilość produktów gazowych powstałych w każdym z doświadczeń. Wartość całkowita to łączna ilość gazów w fazie gazowej oraz tych rozpuszczonych w olejach.

Doświadczenia trwały 8 godzin, a wybrany przedział czasowy pozwolił na wykrywanie i analizę gazów w temperaturze 250°C i 700°C. Objętość płynu izolującego wynosiła 1,5 litra. Warto zauważyć, że w temperaturze 700°C, w przypadku płynów estrowych, obserwowano intensywne wydzielanie dodatkowych 100 litrów gazów.

Tabela 1

Wyniki pirolizy próbki oleju sojowego

Temperatura, °C	250°	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
Czas, h	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Wodór	183	242	453	448	14 578	92 064	449 630	951 663	1 898 615	5 336 773
Metan	9	18	36	163	5 427	32 265	426 389	2555 117	5 176 221	15591 740
Etan	321	404	495	896	12 584	46 790	51 8002	2666 376	5 163 518	11721 018
Etylen	2	3	9	59	12 620	66 570	549 371	6377 429	13599 997	37426 253
Acetylen	0	0	0	0	0	0	0	3 573	8 213	33 494
Tlenek węgla	138	250	388	1 267	159 834	846 321	4476 588	8535 474	9 782 953	15715 859
Ditlenek węgla	528	565	660	1 324	150 631	663 328	3110 067	5863 817	6 839 063	9 506 162
Liczba kwasowa	0,026	0,049	0,084	0,328	9,035	>10	>10	>10	>10	>10
Objętość (Litry)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	4,3	13,4	25,5	48,7	126,9

Wyniki pirolizy próbki oleju słonecznikowego o wysokiej zawartości kwasu oleinowego

Temperatura, °C	250°	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
Czas, h	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Wodór	0	0	0	18	567	23 687	240 787	365 305	1 338 912	3614 829
Metan	3	9	8	20	1 287	18 503	314 820	1365 578	6 801 996	16016 581
Etan	0	3	3	8	360	19 455	325 411	1469 350	5 269 037	9183 573
Etylen	0	0	0	5	807	45 684	461 567	3456 086	16687 658	35155 966
Acetylen	0	0	0	0	0	0	0	1 580	20 197	52 615
Tlenek węgla	54	60	77	224	23 192	550 591	4251 527	4052 783	7 611 417	12554 248
Ditlenek węgla	1 003	1 346	1 281	1 822	13 839	489 273	3195 203	3181 084	4 581 705	7 989 692
Liczba kwasowa	0,043	0,061	0,066	0,150	0,262	8,762	>10	>10	>10	>10
Objętość (Litry)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	3,7	11	15,7	53,4	114,5

Tabela 3

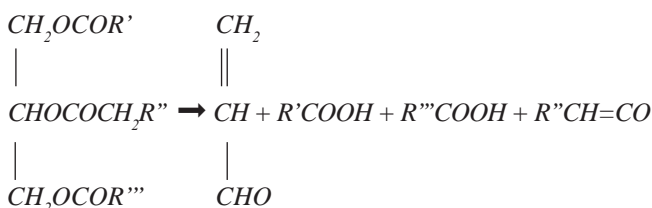
Wyniki pirolizy próbki oleju mineralnego

Temperatura, °C	250°	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
Czas, h	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Wodór	0	61	65	66	308	635	3 415	112 760	1349 634	7248 321
Metan	15	32	77	82	281	1 135	14 060	525 596	5562 060	18288865
Etan	0	9	9	17	181	606	7 688	403 924	2989 009	7 135 061
Etylen	0	0	2	3	26	502	8 254	528 885	5156 563	15505831
Acetylen	0	0	0	0	0	0	0	0	1 506	4 140
Tlenek węgla	23	89	156	173	220	256	166	478	5 458	12 096
Ditlenek węgla	392	451	540	553	699	653	866	4 524	51 091	121 840
Liczba kwasowa	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,010	0,010	0,047	0,048	0,048
Objętość (Litry)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,8	26,2	67,7

## Powstawanie kwasów

Jedną z głównych reakcji pirolizy płynów estrowych jest reakcja rozkładu triglicerydów do dwóch wolnych cząsteczek kwasów tłuszczowych, propenalu (akroleiny) oraz ketenu powstającego z trzeciej reszty kwasu tłuszczowego. Schemat reakcji przedstawia rysunek 5.

Wyniki w tabelach 1 i 2 przedstawiają wzrost i/lub drastyczne zwiększenie ilości kwasów dla znacznej części zakresu badanych temperatur. Dla porównania, wyniki w tabeli 3 nie przedstawiają podobnego wpływu w przypadku badań oleju mineralnego. Dane dotyczące liczby kwasowej oraz analizy GC MS potwierdzają tę obserwację. W szczególności analiza GC MS ujawnia obecność licznych kwasów tłuszczowych, ketenów czy propenalu.



Rys. 5. Termiczny rozkład triglicerydów prowadzący do powstania wolnych kwasów tłuszczowych, ketenu i propenalu

W reakcji tej nie powstają produkty gazowe, jednak każdy z jej produktów ulega dalszym przemianom, w wyniku których wytwarzane są gazy.

## Powstawanie tlenków węgla i etylenu

Podstawowe badania dotyczące reakcji przedstawionych na rysunku 5 wskazują, że powstające w tym procesie produkty ulegają dalszym reakcjom, zgodnie ze schematami przedstawionymi na rysunkach od 6 do 10.



Rys. 6. Rozkład termalny kwasów tłuszczowych z wydzieleniem ditlenku węgla



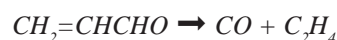
Rys. 7. Rozkład termalny kwasów tłuszczowych z wydzieleniem tlenku węgla



Rys. 8. Rozkład termalny kwasów tłuszczowych z wydzieleniem ditlenku węgla, tlenku węgla i etylenu



Rys. 9. Rozkład termiczny ketenów z wydzieleniem tlenku węgla



Rys. 10. Rozkład termiczny propenalu z wydzieleniem tlenku węgla i etylenu

Analizując dane z tabeli 1 i 2 widać znaczny wzrost stężenia tlenków węgla, czemu towarzyszy wzrost zawartości kwasów. Porównując dane te z ilością tlenków węgla powstających z oleju mineralnego widać, jak znamienne są obserwowane wzrosty w przypadku płynów estrowych. W przypadku rozkładu termicznego triglicerydów wyniki analiz gazów rozpuszczonych w oleju (metoda DGA) i analiz GC MS potwierdzają aktywność tych właśnie szlaków przemian.

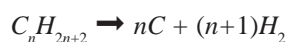
Analizując rysunki 6-10 można zauważyć, że w większości ścieżek reakcji jednym z produktów jest tlenek węgla. To stwarza możliwość wytwarzania większej ilości tlenku węgla od ditlenku węgla w całym procesie. Dane doświadczenia zebrane w tabelach 1 i 2 wyraźnie wskazują na wyższe stężenia tlenku węgla w porównaniu z ditlenkiem węgla.

Analizując rysunki 6-10 można również zauważyć wydzielanie znacznych ilości etylenu przy równoczesnym powstawaniu tlenku węgla. Ponieważ ilości wytwarzanego etylenu w olejach mineralnych przy najwyższych temperaturach są bardzo zbliżone do ilości etylenu powstającego z naturalnych płynów estrowych, trudno jest jednoznacznie stwierdzić, jaki udział w powstawaniu etylenu mają te reakcje (rys. 8 i 10). Ilości powstającego gazu przy temperaturach 450°C, 500°C i 550°C mogą dostarczyć najbardziej jednoznacznych odpowiedzi.

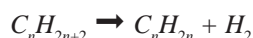
## Powstawanie wodoru i węglowodorów

Fragmenty węglowodorowe cząsteczek kwasów tłuszczowych są podobne w budowie do struktur obecnych w olejach mineralnych i tym samym ulegają podobnym reakcjom.

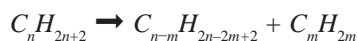
Reakcje te przedstawiono na rysunkach 11-15.



Rys. 11. Reakcja rozkładu do pierwiastków składowych z wydzielaniem wodoru



Rys. 12. Odwodornienie alkanów do alkenów prowadzące do powstania wodoru i etylenu



Rys. 13. Rozkład alkanów może prowadzić do powstania metanu, etanu i etylenu



Rys. 14. Reakcja cyklizacji alkanów prowadząca do powstania struktur aromatycznych z wydzielaniem wodoru



Rys. 15. Odwodornienie alkenów do alkinów z wydzielaniem wodoru, w reakcji tej może również powstać acetylen

Istnieją trzy godne uwagi obserwacje związane z przedstawionymi powyżej ścieżkami reakcji.

Po pierwsze, wodór jest wytwarzany we wszystkich czterech reakcjach. Jednak ilość powstającego wodoru jest mniejsza w porównaniu z ilością innych gazów węglowodorowych. Sugeruje to, że reakcje, w których produktem jest wodór są znacznie mniej efektywne od reakcji, gdzie wytwarzane są węglowodory lub znaczne ilości wodoru z tych przemian są wykorzystywane w innych reakcjach.

Po drugie, dwie z przedstawionych reakcji (rys. 12, 13) dają możliwość wytworzenia etylenu. Ilość powstającego w reakcjach 8 i 10 etylenu nigdy nie przewyższy stężenia tlenku węgla. Porównanie stężenia etylenu do stężenia tlenku węgla wskazuje na to, że jedna lub obydwie reakcje przedstawione na rysunkach 12 i 13 muszą wykazywać dużą aktywność w wysokich temperaturach.

Po trzecie, tylko w jednej z omawianych reakcji może powstawać metan i etan. Co ciekawe, w niektórych zakresach wyższych temperatur w badanych naturalnych płynach estrowych, ilości powstającego metanu i etanu są podobne. W przypadku olejów mineralnych taka zależność nie występuje. Być może wytłumaczeniem obserwowanych różnic jest występowanie krótkich łańcuchów węglowodorowych w olejach mineralnych i długich łańcuchów węglowodorowych w naturalnych płynach estrowych.

## Szybkość reakcji powstawania produktów pirolizy

W licznych badaniach zaobserwowano wartości temperatur, przy których gwałtownie wzrasta szybkość powstawania produktów pirolizy płynów estrowych. Prace, w których porównano wyniki analiz różnych triglicerydów powstających z pojedynczych kwasów tłuszczowych wskazują, iż specyfika składu kwasów tłuszczowych wpływa na wartość temperatury, przy której występuje to zjawisko.

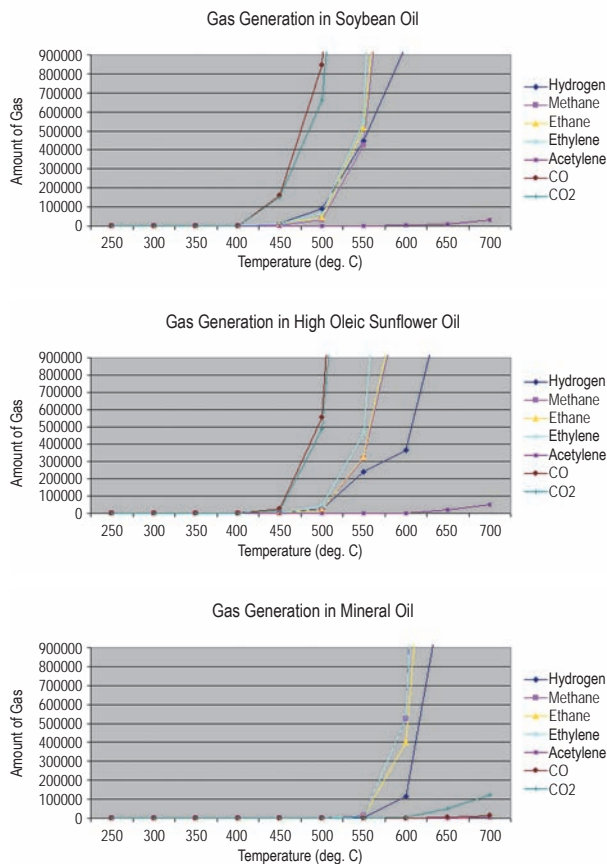
W tabeli 4 przedstawiono skład kwasów tłuszczowych dwóch rodzajów płynów estrowych analizowanych w omawianych badaniach.

Tabele 1 i 2 wraz z rysunkiem 16 prezentują przybliżone wartości temperatur badanych płynów, przy których występuje to zjawisko. Dane te wskazują na istnienie różnicy temperaturowej wynoszącej w przybliżeniu 50°C, pomiędzy olejem sojowym a olejem słonecznikowym o wysokiej zawartości kwasu oleinowego. Co ciekawe, obserwowaną różnicę charakteryzuje powstawanie tlenku węgla i ma swoje odbicie w postaci wzrostu całkowitej liczby kwasowej.

Tabela 4

Zawartość kwasów tłuszczowych w wybranych naturalnych płynach estrowych, %

Wyszczególnienie	Palmitynowy C16:0	Stearynowy C18:0	Oleinowy C18:1	Linolowy C18:2	Linolenowy C18:3	Suma %
Pestki winogron	8	4	15	73	<1	100
Orzeszki ziemne	11	2	48	32	<1	93
Słonecznik HO	5	4	82	9	<1	100
Orzechy włoskie	11	5	28	51	5	100
Soja	11	4	24	54	7	100
Rzepak	4	2	62	22	10	100
Siemień lniane	3	7	21	16	53	100



Rys. 16. Obserwowany skok do wysokich wartości wytwarzanych gazów w badanych płynach

## Podsumowanie

Skład chemiczny płynów elektroizolacyjnych wpływa na ich reaktywność chemiczną podczas usterek w sprzęcie wysokonapięciowym. Występujące różnice w strukturach naturalnych płynów estrowych, w różnych płynach izolacyjnych, nasuwają jedno pytanie: jaka może być różnica w reaktywności chemicznej?

W artykule wskazano na pewne istniejące różnice, jak i podobieństwa. Reakcje powstawania kwasów, tlenków węgla i etylenu należą do tych najbardziej znaczących.

Ponadto, wcześniejsze badania opisywały już liczne reakcje pirolityczne zachodzące w naturalnych płynach estrowych. W przedstawianym artykule aktywność badanych reakcji została potwierdzona. Mimo iż prezentowane badanie nie zostało zaprojektowane dla przypadków specyficznych usterek termicznych w urządzeniach wysokiego napięcia (HV), to jednak warunki procesów pirolizy nie odbiegały od tych, które mogą występować przy tego rodzaju usterek.

Analiza próbek pochodzących z urządzeń pracujących, gdzie mogą występować różnego rodzaju uszkodzenia termiczne, będzie znamiennym etapem wieńczącym znaczenie tej pracy, jak również zebranie i porównanie wyników badań estrów z wynikami uzyskanymi dla innych materiałów obecnych w takich urządzeniach.

Na koniec rozważań, autorzy pracy wyrażają nadzieję, że informacje zawarte w niej znajdą zastosowanie w ocenach diagnostycznych urządzeń wykorzystujących płyny estrowe.

## Podziękowania

Autorzy pracy składają podziękowania Don Cherry, ABB Inc., Dr Russell Martin, M&I Materials, John Luksich, Cooper Power Systems za wkład i wsparcie przy przygotowywaniu artykułu.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Halstead W.D., 1973, A Thermodynamic Assessment of the Formation of Gaseous Hydrocarbons in Faulty Transformers. *Journal of the Institute of Petroleum*, 59, pp. 239-241.
- [2] Lewand Lance R., Laboratory Evaluation of Several Synthetic and Agricultural-Based Dielectric Liquids, Proceedings of the 2001 International Conference of Doble Clients, Sec 5-5.
- [3] Alencar J.W., Alves P.B. & Craveiro A.A., 1983, Pyrolysis of Tropical Vegetable Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol 31, no. 6, pp. 1268-1270.
- [4] Chang C-C. & Wan S-W., 1947, China's Motor Fuels from Tung Oil. *Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 39, no. 12, pp. 1543-1548.
- [5] Crossley A., Heyes T.D. & Hudson B. J. F., 1962, The Effect of Heat on Pure Triglycerides. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 39, pp. 9-14.
- [6] Higman E.B., Schmeltz I., Higman H.C. & Chortyk O.T., 1973, Studies on the Thermal Degradation of Naturally Occurring Materials. II. Products from the Pyrolysis of Triglycerides at 400. deg. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 21, no. 2, pp. 202-204.
- [7] Kitamura K., 1971, Studies of the Pyrolysis of Triglycerides. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, vol. 44, no. 6, pp. 1606-1609.
- [8] Maher K.D. & Bressler D.C., 2007, Pyrolysis of Triglyceride Materials for the Production of Renewable Fuels and Chemicals. *Bioresource Technology*, vol. 98, no. 12, pp. 2351-2368.

## O Autorach

**David L. Hanson** jest jednym z założycieli i wieloletnim prezesem sieci laboratoriów *TJ/H2b Analytical Services*. W latach 1996-1998 firma pod jego kierunkiem rozwinęła szereg programów diagnostycznych służących do oceny stanu urządzeń z izolacją ciekłą i gazową. David L. Hanson jest absolwentem Wydziału Chemii Kalifornijskiego Uniwersytetu Stanowego w Sacramento i autorem serii publikacji o tematyce badań cieczy i gazów elektroizolacyjnych.

**Kevin Li** jest pracownikiem naukowym *TJ/H2b Technology Services, LLC* w Sacramento, w Kalifornii. Wcześniej pracował jako Dyrektor ds. Technicznych w firmie *Ameri-Kal, Inc. Auburn*.

**Jorge Plascencia** jest absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu Davis w Kalifornii oraz pracownikiem naukowym *TJ/H2b Analytical Services*, uczestniczącym w projektach naukowych badających wykorzystanie estrów w transformatorach wysokich napięć. Badania te mają na celu uzyskanie tego samego poziomu wiedzy, jaki mamy w odniesieniu do olejów mineralnych.



**Donald B. Cherry** jest wieloletnim pracownikiem firmy *ABB*, gdzie jako Globalny Technolog ds. Płynów Elektroizolacyjnych w dziale Principal Consulting R&D odpowiada za rozwój badań nad rozwojem specjalistycznych płynów elektroizolacyjnych. Donald B. Cherry aktywnym uczestnikiem Komisji ds. Transformatorów IEEE, a także ASTM, gdzie jest przewodniczącym Podkomisji D27.03 oraz CIGRE PT-5. Donald B. Cherry jest autorem szeregu publikacji prezentowanych podczas konferencji IEEE, Doble Engineering, Western Energy, North West Utility czy TJ|H2B TechCon.

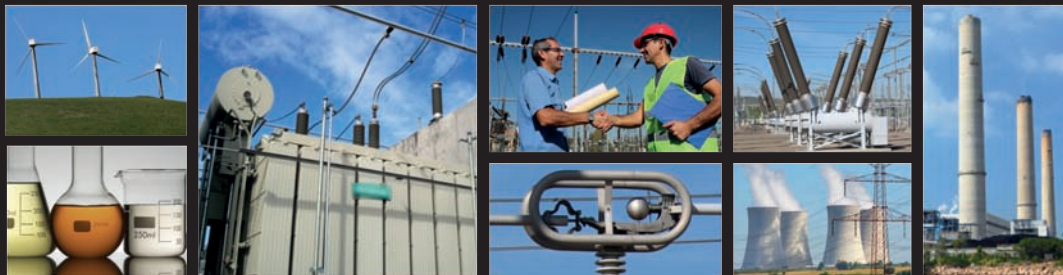
**Dr Clair Claiborne** jest absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu w Kansas oraz doktorem inżynierii materiałowej Northwestern University. Pracował w firmach *Sued-Chemie A.G.*, *Phillips Petroleum Co.* oraz *Westinghouse Electric Corp.*, by następnie w 1989 r. dołączyć do *ABB Inc.*, gdzie jest naukowcem w *Principal Consulting R&D*. Jego badania obejmują analizę cieplną materiałów izolacyjnych, produktów spalania, reklasyfikację transformatorów z PCB, monitoring gazów w oleju oraz zagadnienia relacji struktur i właściwości materiałów izolacyjnych oraz wsparcie techniczne procesów produkcyjnych. Dr Claiborne jest członkiem Amerykańskiego Towarzystwa Chemicznego, przewodniczącym podkomisji

ASTM D27-95 oraz członkiem IEEE. Jest współtwórcą siedmiu amerykańskich patentów, autorem lub współautorem ponad 40 prac technicznych, dwóch książek oraz laureatem nagród ASTM (ASTM Award of Merit), a także American Chemical Society's 54<sup>th</sup> Southeast Regional Industrial Innovation Award oraz IR100 (nagroda w dziedzinie estrowych cieczy elektroizolacyjnych).

**Dr George Frimpong** jest absolwentem MIT (Massachusetts Institute of Technology), Georgia Tech (doktorat) oraz University of North Carolina (MBA). Od 1993 r. pracuje w *ABB Inc.*, gdzie obecnie jest Głównym Inżynierem grupy Produktów dla Energetyki. W *ABB* zajmował się m.in.: badaniami i rozwojem systemów oceny stanu izolacji w transformatorach, wdrożeniem systemów zarządzania danymi w branży energetycznej, rozwojem systemów oceny ryzyka oraz zaawansowanych narzędzi diagnostycznych transformatorów mocy. Od 2008 r. jest odpowiedzialny w *ABB* za rozwój technologii umożliwiających stosowanie cieczy estrowych w transformatorach. Dr Frimpong jest autorem szeregu prac i współautorem instrukcji eksploatacji transformatorów *ABB*, a także członkiem IEEE oraz kilku grup roboczych Komisji ds. Transformatorów IEEE.

## O firmie TJ|H2b Analytical Services

**TJ|H2b Analytical Services** to międzynarodowa sieć laboratoriów oraz firma doradcza, specjalizująca się w badaniu olejów, gazów i innych materiałów izolacyjnych stosowanych w transformatorach i urządzeniach wysokich napięć. Firma, której pracownicy świadczą usługi badawcze od lat 70-tych ubiegłego stulecia, wywodzi się z Sacramento w Kalifornii i jest liderem w dziedzinie rozwoju diagnostyki olejowej i gazowej urządzeń wysokich napięć dla sektora energetycznego, przemysłowego i serwisowego. *TJ|H2b Analytical Services* oferuje swoje usługi poprzez sieć 13 laboratoriów zlokalizowanych w Europie (Polska, Wielka Brytania, Norwegia, Hiszpania), USA, Kanadzie, Ameryce Południowej (Peru), Australii oraz Azji Południowo-Wschodniej (Filipiny, Malezja). Dzięki przejęciu w 2012 r. europejskich laboratoriów firmy *Nynas* (w tym laboratorium w Polsce przeniesionego z Piekar Śląskich do Katowic) usługi *TJ|H2b Analytical Services* są teraz dostępne także dla firm w tej części Europy.



Programy diagnostyki transformatorów TCA<sup>®</sup>, przełączników zaczeów TASA<sup>®</sup>, wyłączników olejowych BOA<sup>®</sup> i SF6 BGA<sup>®</sup>

### TJ|H2b Analytical Services (Poland) sp. z o.o.

Al. Wojciecha Korfantego 191  
40-153 Katowice  
tel.: +48 (32) 733 66 76 - 78  
fax: +48 (32) 730 30 03  
e-mail: polandlab@tjh2b.com  
www.tjh2b.com



H<sub>2</sub>b

ANALYTICAL SERVICES