

CIECZE IZOLACYJNE



W urządzeniach elektrotechnicznych, w wielu przypadkach zachodzi konieczność stosowania cieczy stanowiących izolatory elektryczne. Izolatory tego typu są nazywane cieciami izolacyjnymi, olejami izolacyjnymi lub niekiedy olejami elektroizolacyjnymi. W transformatorach, łącznikach elektrycznych, kondensatorach, kablach i innych urządzeniach elektrotechnicznych spełniają one następujące, podstawowe funkcje:

- izolatora elektrycznego,
 - cieczy chłodzącej,
 - środka ochrony przed korozją i rdzewieniem.
- Ciecze izolacyjne powinny mieć następujące właściwości:
- dobre właściwości izolacyjne, charakteryzowane napięciem przebicia i stratnością dielektryczną,
 - stosunkowo małą lepkość, zapewniającą efektywne chłodzenie,
 - niską temperaturę płynięcia, zapewniającą pracę w ujemnych temperaturach otoczenia,
 - bardzo dobrą odporność na utlenianie, zapewniającą długotrwałą pracę bez wymiany,
 - bardzo dobre właściwości deemulgujące, zapewniające łatwą separację wody w sytuacjach przypadkowego zawodnienia,
 - brak zanieczyszczeń takich jak: wolna lub zdyspergowana woda, zanieczyszczenia stałe, rozpuszczone gazy, metale w stężeniach śladowych, substancje kwaśne itp.,
 - możliwie wysoką temperaturę zapłonu w celu zmniejszenia zagrożeń pożarowych.

13.1 Klasyfikacja cieczy izolacyjnych

Według klasyfikacji międzynarodowej norma IEC 1039 wyróżnia następujące kategorie cieczy elektroizolacyjnych, wg obszaru stosowania (tabela 13.1):

Tabela 13.1 Klasyfikacja olejów elektroizolacyjnych rodziny L-N wg IEC 1039

Kategoria	Podkategorie	Skład chemiczny	Specyfikacje
L-NT	I, II, III	Oleje mineralne	IEC 296
	IA, IIA, IIIA	Oleje mineralne inhibitory	
L-NY	I, II, III	Oleje kablowe	IEC 465
L-NC	C-1, C-2	Askarele kondensatorowe	IEC 588-3
L-NT	T-1, T-2, T-3, T-4	Askarele transformatorowe	
L-NY	1	Alkilobenzeny	IEC 867-1
L-NC	2	Alkilodifenylloetan	IEC 867-2
	3	Alkilonaftaleny	IEC 867-3
L-NT	1	Oleje (ciecze) silikonowe	IEC 836
L-NY	1	Polibuteny	IEC 963

T – do transformatorów i wyłączników elektrycznych (oleje transformatorowe),
Y – do kabli (oleje kablowe),
C – do kondensatorów (oleje kondensatorowe).

Symbol klasyfikacyjny IEC składa się z następujących członów:

KLASA – KATEGORIA – SYMBOL LICZBOWY NORMY IEC

Przykładowo, ciecz silikonowa typu T-1, o właściwościach określonych normą IEC 836, ma przypisany symbol:

L-NT-836-1

W praktyce eksploatacyjnej, jako odrębna grupa są niekiedy wydzielane oleje łącznikowe.

Jako ciecze izolacyjne są stosowane:

- oleje mineralne,
- oleje silikonowe,
- syntetyczne węglowodory: alkilobenzeny, alkilodifenylloaftaleny, alkilonaftaleny, polibuteny,
- nowe askarele.

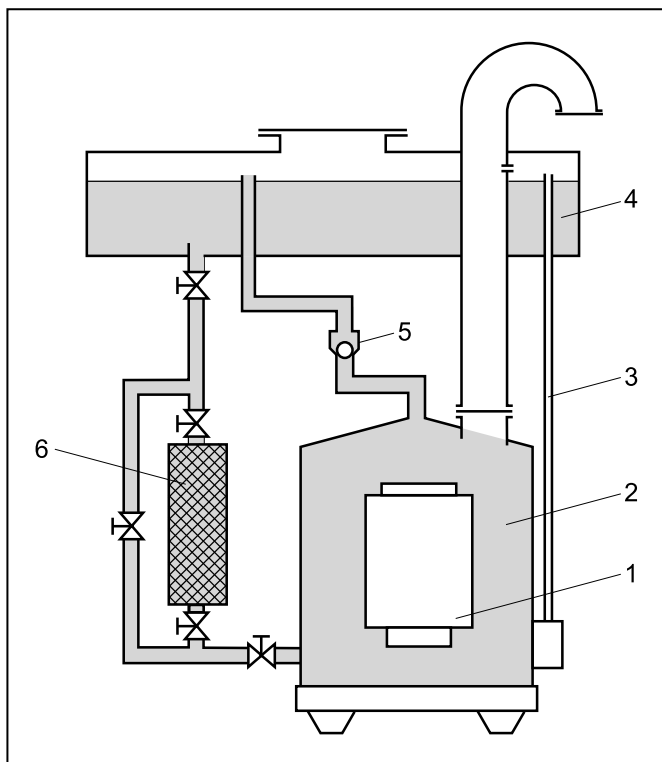
13.2 Zastosowania cieczy izolacyjnych

Oleje transformatorowe są stosowane do izolowania i chłodzenia rdzeni transformatorów oraz łączników elektrycznych. Jako oleje transformatorowe są stosowane lekkie frakcje, głęboko rafinowanych destylatów naftowych dwóch typów:

- nie zawierające dodatków (oleje kategorii L-NT-296 I, II, III),
- zawierające inhibitory utleniania (oleje kategorii L-NT-296 IA, IIA, IIIA).

Istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych układów olejowych transformatorów. Typowy schemat układu olejowego transformatora przedstawiono na rys. 13.1. W układzie tym rdzeń transformatora 1 jest całkowicie zanurzony w oleju, znajdującym się w zbiorniku 2. W celu wyrównania ciśnień, kadź ma połączenie z atmosferą 3, poprzez tzw. konserwator 4. W przypadku zwiększenia objętości oleju w kadzi, wskutek podwyższenia temperatury, nadmiar oleju przepływa do konserwatora poprzez zawór zwrotny 5. Obniżenie temperatury oleju, powodujące zmniejszenie jego objętości, powoduje przepływ oleju z konserwatora poprzez adsorber 6, który oczyszcza olej z zanieczyszczeń stałych, wody i rozpuszczonych gazów.

¹ IEC – (International Electrotechnical Commission) – Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna



Rys. 13.1 Przykładowy schemat układu olejowego transformatora
1 – rdzeń transformatora, 2 – zbiornik z olejem, 3 – połączenie z atmosferą,
4 – konserwator, 5 – zawór zwrotny, 6 – adsorber

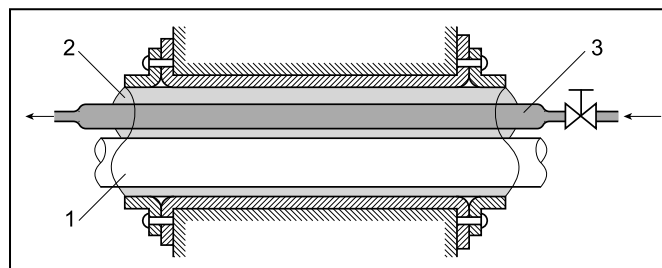
Do chłodzenia transformatorów o szczególnie wysokich temperaturach uzwojenia rdzenia są także stosowane nowe askarele transformatorowe (L-NT-588-3), a także oleje silikonowe (LN-T-836).

Łączniki elektryczne są to urządzenia pełniące funkcje łączenia i rozłączania obwodów elektrycznych, zdolne do przenoszenia określonych prądów elektrycznych. W łącznikach elektrycznych oleje transformatorowe, obok funkcji chłodzenia i izolowania spełniają także funkcję wygaszacza łuku elektrycznego, jaki powstaje między stykami podczas włączania i wyłączenia.

Oleje izolacyjne rozpuszczają pewną ilość gazów atmosferycznych oraz gazowych produktów ich rozkładu. W przypadku olejów pochodzenia naftowego, im wyższa temperatura i ciśnienie tym rozpuszczalność gazów jest większa. Jedynie w przypadku askareli zwiększenie temperatury powoduje zmniejszenie rozpuszczalności gazów. Jeżeli nastąpi gwałtowne obniżenie ciśnienia lub szybki wzrost temperatury wówczas z oleju mineralnego wydzielają się pęcherzyki gazu. Wydzielające się pęcherzyki gazu są inicjatorem procesów jonizacyjnych. Powodują one spadek napięcia przebicia oraz zwiększenie stratności dielektrycznej. Często jest to powodem uszkodzenia transformatorów. Z tych względów wymaga się, aby oleje transformatorowe zalewane do transformatorów były uprzednio odgazowane. Ważną właściwością olejów transformatorowych oraz kondensatorowych, jest ich zdolność do uwalniania rozpuszczonych gazów.

Oleje kablowe są przeznaczone do nasycania izolacji włóknistej i chłodzenia kabli energetycznych. Oleje do nasycania kabli, najczęściej są to oleje mineralne o dużej lepkości często zawierające różnego rodzaju zagęszczacze. Zapobiega to wyciekaniu oleju z kabla w podwyższonych temperaturach pracy, dochodzącej niekiedy do 100°C, a krótkotrwałe nawet do 200°C. Wyróżnia się oleje kablowe do kabli niskonapięciowych (do około 6 kV) oraz do kabli wysokonapięciowych (do 35 kV i więcej).

Oleje do chłodzenia kabli energetycznych odprowadzają ciepło z kabla bezpośrednio do otoczenia lub poprzez czynnik chłodzący, przepływający w sposób wymuszony. W zależności od warunków otoczenia, czynnikiem chłodzącym może być woda lub niskoprężne roztwory wodne glikoli. Przykład rozwiązania konstrukcyjne-



Rys. 13.2. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego układu do chłodzenia kabla energetycznego przepływającym czynnikiem chłodzącym
1 – rdzeń kabla, 2 – olej kablowy, 3 – przewód chłodzący

go układu do chłodzenia kabli energetycznych z przepływającym czynnikiem chłodzącym, przedstawiono na rys. 13.2. W chłodzonych kablach energetycznych równoległe do metalowego rdzenia kabla 1, stykającego się bezpośrednio z olejem kablowym 2, jest prowadzony przewód chłodzący 3, przez który przepływa woda lub inny czynnik chłodzący.

Od olejów do chłodzenia kabli energetycznych, aby ułatwić przepływ oleju i łatwiejsze przenoszenie ciepła, obok odpowiednich właściwości dielektrycznych wymaga się małej lepkości i niskiej temperatury płynięcia.

Do chłodzenia kabli energetycznych, pracujących w szczególnie wysokich temperaturach są także stosowane syntetyczne węglowodory, głównie alkilobenzeny (L-NY-867-1) i polibuteny (LN-Y-963-1), a w szczególnych przypadkach również nowe askarele.

Oleje kondensatorowe są przeznaczone do nasycania izolatorów dielektrycznych kondensatorów papierowych i niektórych innych typów kondensatorów. Kondensatory papierowe składają się ze zwiniętych wstęg metalowych, przedzielonych wstęgami izolatora – cienkiego papieru nasyczonego tzw. syciwem: olejem kondensatorowym lub innym ciekłym lub stałym (np. utwardzalną żywicą) izolatorem.

Jako oleje kondensatorowe są stosowane mineralne oleje kablowe o małej lepkości, nowe askarele (L-NC-588) klas C-1 i C-2, alkilodifenyletany (L-NC-867-2) oraz alkilonaftaleny (L-NC-867-3).

Oleje łącznikowe są przeznaczone do gaszenia łuku elektrycznego w elektrycznej aparaturze łączeniowej. W praktyce jako oleje łącznikowe najczęściej są stosowane oleje transformatorowe i z tego względu w niektórych klasyfikacjach oleje łącznikowe nie są wyróżniane. Jako oleje łącznikowe są również stosowane nowe askarele.

13.3 Metody badań

Podstawowe właściwości fizykochemiczne cieczy izolacyjnych są oznaczane metodami właściwymi dla innych olejów przemysłowych i najczęściej obejmują:

- lepkość kinematyczną w różnych temperaturach,
- temperaturę płynięcia,
- temperaturę zapłonu,
- liczbę kwasową.

Ważnymi parametrami jakości cieczy izolacyjnych jest zawartość: wody, zanieczyszczeń stałych, metali w stężeniach śladowych. Ich obecność w cieczach izolacyjnych istotnie pogarsza właściwości izolacyjne. Z tego względu bezpośrednio przed zastosowaniem, a w przypadku transformatorów również w toku eksploatacji, ciecz izolacyjna jest poddawana dokładnemu odwadnianiu i filtracji.

W przypadku olejów pracujących w transformatorach często są wykonywane różnego rodzaju zabiegi pielęgnacyjne, których celem jest usunięcie z nich zdyspergowanej wody, zanieczyszczeń stałych oraz rozpuszczonych produktów korozji i utlenienia składników oleju. W tym celu są one okresowo lub w sposób ciągły filtrowane przez złoża adsorpcyjne. Jakość olejów transforma-

torowych jest również kontrolowana w ramach systemu nadzoru nad stanem maszyny i oleju LUBIANA (patrz p. 22).

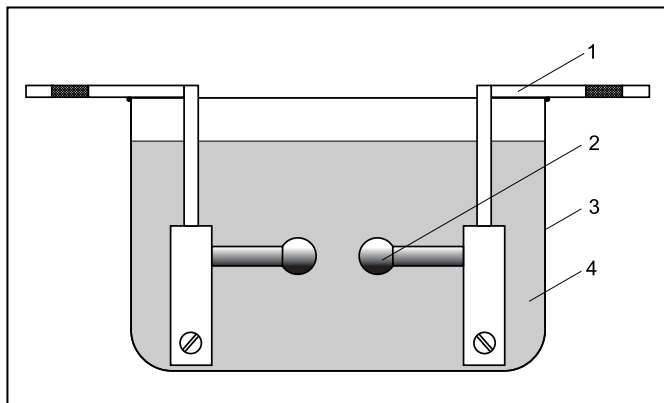
Ze względu na specyficzne zastosowania i warunki pracy, w kontroli jakości cieczy izolacyjnych są oznaczane wartości następujących, specyficznych parametrów:

Napięcie przebicia – wytrzymałość dielektryczna – jest to najmniejsze napięcie, wyrażane w kilowoltach (kV), potrzebne do wywołania przeskoku iskry elektrycznej między dwiema elektrodami zanurzonymi w badanej cieczy izolacyjnej, w znormalizowanych warunkach oznaczania.

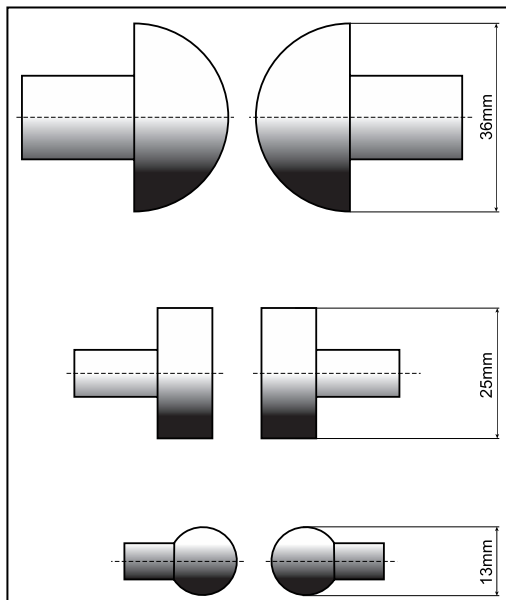
Badanie napięcia przebicia jest wykonywane w szklanym lub plastikowym naczyniu, o pojemności 400... 800 cm³, zawierającym badaną ciecz izolacyjną, w której są zanurzone dwie elektrody (rys. 13.3).

Wyróżnia się dwie podstawowe metody pomiaru napięcia przebicia A i B. W metodzie A, napięcie rośnie z prędkością 5 kV/s do wartości zadanej przez operatora. Po osiągnięciu wyznaczonego poziomu jest utrzymywane przez 1 minutę. W przypadku wystąpienia przebicia następuje rejestracja wartości, a zasilanie jest samoczynnie wyłączane. W metodzie B, napięcie rośnie również z prędkością 5 kV/s do wartości zadanej przez operatora. Po osiągnięciu zadanego napięcia jest ono utrzymywane przez 1 minutę, a następnie zwiększane z prędkością 2 kV/s, aż do wystąpienia przebicia.

Poszczególne normy czynnościowe przewidują różne kształty i wymiary elektrod, co przedstawiono na rys. 13.4. Wg niektórych metod ciecz izolacyjna powinna być mieszana, a inne nie przewidują mieszania. Te różnice w metodyce oznaczania są niekiedy powodem różnic w uzyskiwanych wynikach badań.



Rys. 13.3 Schemat części pomiarowej aparatu do badania napięcia przebicia
1 – kable doprowadzające napięcie do elektrod, 2 – elektrody, 3 – naczynie szklane lub z tworzywa sztucznego, 4 – badany olej



Rys. 13.4
Kształty elektrod
wg różnych norm
A – wg ASTM D
1816, B – wg IEC
156, C – wg ASTM
D 877

Stratność dielektryczna – tangens kąta strat dielektrycznych (tgδ) – współczynnik stratności dielektrycznej – jest to wartość bezwymiarowa określana jako stosunek składowej rzeczywistej gęstości prądu zmiennego (sinusoidalnego) (I_r) płynącego przez ciecz izolacyjną, do składowej urojonej gęstości tego prądu (I_i), wyrażany wzorem (13.1):

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_r}{I_i} \quad (13.1)$$

Stratność dielektryczna charakteryzuje część energii zmiennego pola elektrycznego w dielektryku, która przekształca się w ciepło w wyniku przepływu prądu przez dielektryk. Wymaga się, aby ciecze izolacyjne charakteryzowały się jak najmniejszą stratnością dielektryczną.

Stratność dielektryczna w małym tylko stopniu zależy od częstotliwości prądu, zależy natomiast istotnie od temperatury. Z tego względu jest ona oznaczana dla różnych temperatur w przedziale 20...100°C.

13.4 Właściwości cieczy izolacyjnych

Mineralne oleje transformatorowe powinny spełniać wymagania normy międzynarodowej IEC 296. W większości krajów funkcjonują jeszcze odpowiednie normy krajowe, są one stopniowo zastępowane przywołaną normą międzynarodową. Wyróżnia się oleje transformatorowe nieinhibitowane oraz inhibitowane.

Oleje transformatorowe nieinhibitowane są to lekkie oleje naftowe pochodzące z destylacji lub z hydrokrakingu, nie zawierające dodatków lub zawierające niewielki dodatek depresatora. W zależności od właściwości fizykochemicznych wyróżnia się podkategorie: I, II, III. Są to oleje przeznaczone do transformatorów o stosunkowo niskich temperaturach uzwojeń rdzenia.

Oleje transformatorowe inhibitowane są to lekkie oleje naftowe pochodzące z destylacji lub z hydrokrakingu z inhibitorem utlenienia, mogą zawierać także niewielki dodatek depresatora. W zależności od właściwości fizykochemicznych wyróżnia się podkategorie: IA, IIA, IIIA. Są to oleje przeznaczone do transformatorów o wysokich temperaturach uzwojeń rdzenia.

Podstawowe wymagania dla mineralnych olejów transformatorowych według IEC 296, przytoczono w tabeli 13.2.

Oleje kablowe (L-NY) są to na ogół oleje mineralne; powinny one spełniać wymagania normy międzynarodowej IEC 465. W zależności od napięcia płynącego prądu oraz właściwości fizykochemicznych wyróżnia się podkategorie: I, II, III. Podstawowe wymagania dla mineralnych olejów kablowych według IEC 465 przytoczono w tabeli 13.3.

Oleje silikonowe (patrz p. 2.5.1) (LN-T) przeznaczone jako czynnik chłodzący i izolujący w transformatorach powinny spełniać wymagania normy międzynarodowej IEC 836. Podstawowe wymagania dla silikonowych olejów transformatorowych według IEC 836 przytoczono w tabeli 13.4.

Nowe askarele (ciecze askarelowe) są to syntetyczne ciecze izolacyjne, stanowiące roztwory chlorowanych bifenyli oraz chlorobenzenów. Wyróżnia się nowe ciecze askarelowe kondensatorowe (L-NC) i transformatorowe (L-NT).

W zależności od właściwości fizykochemicznych wyróżnia się podkategorie nowych askareli kondensatorowych: C-1, C-2 oraz podkategorie nowych askareli transformatorowych: T-1, T-2, T-3, T-4. Powinny one spełniać wymagania normy międzynarodowej IEC 588-3, której podstawowe wymagania przytoczono w tabeli 13.5 (askarele kondensatorowe) i tabeli 13.6 (askarele transformatorowe).

Nowe askarele nie powinny zawierać związków uznawanych za szkodliwe dla środowiska (patrz p. 13.5). Nowe askarele są niepalne i nie wydzielają gazów wybuchowych pod wpływem łuku elektrycznego. Charakteryzują się małą zmiennością lepkości w funkcji tem-

Tabela 13.2 Podstawowe wymagania dla mineralnych olejów transformatorowych według IEC 296

Właściwości	Klasa I, IA	Klasa II, IIA	Klasa III, IIIA
Gęstość w temp. 20°C, kg/m ³	≤ 895	≤ 895	≤ 895
Wygląd	Klarowny bez zanieczyszczeń i osadów		
Lepkość kinematyczna, mm ² /s w temperaturze: +40°C -15°C -30°C -40°C	≤ 16,5 ≤ 800 - -	≤ 11,0 - ≤ 1800 -	≤ 3,5 - - ≤ 150
Temperatura zapłonu, °C	≥ 140	≥ 130	≥ 95
Temperatura płynięcia, °C	≤ -30	≤ -45	≤ -60
Liczba kwasowa, mgKOH/g	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
Działanie korodujące	Brak korozji		
Stabilność termooksydacyjna	Wytrzymuje		
Napięcie przebicia, kV ● olej świeży ● olej po obróbce	≥ 30 ≥ 50	≥ 30 ≥ 50	≥ 30 ≥ 50
Stratność dielektryczna w temp 90°C, w przedziale częstotliwości 40 ... 60 Hz	≤ 0,005	≤ 0,005	≤ 0,005

Tabela 13.3 Podstawowe wymagania dla mineralnych olejów kablowych według IEC 465

Właściwości	Klasa I	Klasa II	Klasa III
Gęstość w temp. 20°C, kg/m ³	≤ 900	≤ 900	≤ 900
Wygląd	Klarowny bez zanieczyszczeń i osadów		
Lepkość kinematyczna, mm ² /s w temperaturze 40°C	≥ 13	6,5 ... 13	≤ 6,5
Temperatura zapłonu, °C ● tygiel zamknięty ● tygiel otwarty	≥ 140 ≥ 150	≥ 125 ≥ 135	≥ 100 ≥ 110
Temperatura płynięcia, °C	≤ -30	≤ -30	≤ -40
Temperatura początku krystalizacji, °C	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Zawartość wody, mg/kg	≤ 30	≤ 30	≤ 30
Liczba kwasowa, mgKOH/g	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
Działanie korodujące	Brak korozji		
Napięcie przebicia, kV	≥ 40	≥ 40	≥ 40
Stratność dielektryczna w temp 90°C, w przedziale częstotliwości 40 ... 60 Hz	≤ 0,002	≤ 0,002	≤ 0,002
Absorpcja gazów, mm ³ /min	≥ 2	≥ 2	≥ 2

Tabela 13.4 Podstawowe wymagania dla silikonowych olejów transformatorowych według IEC 836

Właściwości	Wymagania
Barwa	≤ 30
Wygląd	Klarowny bez zanieczyszczeń i osadów
Gęstość w temp. 20°C, kg/m ³	955 ... 970
Lepkość kinematyczna, mm ² /s w temperaturze 40°C	36 ... 44
Temperatura zapłonu, °C	≥ 240
Temperatura palenia, °C	≥ 330
Temperatura płynięcia, °C	≤ -50
Zawartość wody, mg/kg	≤ 50
Liczba kwasowa, mgKOH/g	≤ 0,02
Napięcie przebicia, kV	≥ 40
Stratność dielektryczna w temp. 90°C, w przedziale częstotliwości 40...60 Hz	≤ 0,001

peratury. Ich właściwości eksploatacyjne zależą od liczby atomów chloru w cząsteczkach. Szczegółowe badania toksykologiczne doprowadziły do opracowania tzw. nowych askareli, nie zawierających związków wysoce toksycznych. Nowe askarele znalazły szerokie zastosowanie jako ciecz izolacyjna: oleje do transformatorów i łączników, a także jako syciwa w produkcji kondensatorów papierowych.

13.5 Problem PCB

W przeszłości jako ciecz izolacyjna (asklarele) były także stosowane polichlorowane bifenylole (PCB) oraz polichlorowane trifenyle (PCT). PCB to związki o ogólnym wzorze $C_{12}H_{10-n}Cl_n$, otrzymywane w wyniku reakcji bifenylole z chlorem. PCT są to związki otrzymywane w wyniku reakcji trifenyle z chlorem.

Teoretycznie może istnieć 209 polichlorowanych bifenyli, różniących się liczbą atomów chloru i ich umiejscowieniem w cząsteczce. Są to ciecz niepalna o bardzo dobrych właściwościach izolacyjnych. Z tych względów były często stosowane jako ciecz izolacyjna w wielu urządzeniach elektrycznych: transformatorach, łącznikach i kondensatorach, a także jako ciecz hydrauliczna, plastyfikatory, środki konserwacyjne, antypireny², nośniki ciepła, składniki farb i lakierów.

Niektóre PCB i PCT, o dużej liczbie atomów chloru w cząsteczce, są uznane za związki stanowiące poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Ich szkodliwość wynika z następujących właściwości:

- praktycznie są one nierozkładalne biologicznie,
- następuje ich kumulacja w organizmach żywych,
- ich obecność w tkankach organizmów żywych powoduje uszkodzenia komórek nerwowych, zakłócenia w funkcjonowaniu wielu organów oraz zniekształcanie kodu genetycznego,
- spalane tworzą dioksyny i furany – związki niezwykle toksyczne i kancerogenne.

PCB i PCT są uznane za odpady szczególnie niebezpieczne.

Tabela 13.5 Podstawowe wymagania dla askareli kondensatorowych wg IEC 588-3

Właściwości	C-1	C-2
Skład chemiczny	Mieszanina izomerów dichlorobifenyli i trichloro- bifenyli	Mieszanina izomerów trichloro- bifenyli
Barwa	≤ 50	≤ 50
Wygląd	Klarowny bez zanieczyszczeń i osadów	
Gęstość w temp. 20°C, kg/m ³	1 340 ... 1 360	1 365 ... 1 400
Lepkość kinematyczna, mm ² /s, w temperaturze 20°C	30 ... 40	41 ... 75
Temperatura zapłonu, °C	Niepalny do temperatury wrzenia	
Temperatura płynięcia, °C	≤ -24	≤ -18
Zawartość wody, mg/kg	≤ 30	≤ 30
Liczba kwasowa, mgKOH/g	≤ 0,01	≤ 0,01
Oporność właściwa, w temp. 90°C, GΩ · m	≥ 20	≥ 20
Stratność dielektryczna w temp 90°C, w przedziale częstotliwości 40 ... 60 Hz	≤ 0,02	≤ 0,02
Przenikalność elektryczna w temp. 90°C	5,2 ... 5,3	4,8 ... 5,1

Tabela 13.6 Podstawowe wymagania dla askareli transformatorowych wg IEC 588-3

Właściwości	T-1	T-2	T-3	T-4
Skład chemiczny	Mieszanina izomerów heksachlorobifenyli (60%) i trichloro benzenów (40%)	Mieszanina izomerów heksachlorobifenyli (45%) i tri tetrachloro- benzenów (55%)	Mieszanina izomerów trichloro bifenyli	Mieszanina izomerów pentachlorobifenyli (70%) i trichloro benzenów (30%)
Barwa	≤ 150	≤ 150	≤ 150	≤ 150
Wygląd	Klarowny bez zanieczyszczeń i osadów			
Gęstość w temp. 20°C, kg/m ³	1 555 ... 1 565	1 533 ... 1 567	1 365 ... 1 400	1 365 ... 1 400
Lepkość kinematyczna, mm ² /s, w temperaturze 20°C	≤ 24	≤ 13	≤ 75	≤ 32
Temperatura zapłonu, °C	Niepalny do temperatury wrzenia			
Temperatura płynięcia, °C	≤ -33	≤ -39	≤ -18	≤ -30
Zawartość wody, mg/kg	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30
Liczba kwasowa, mgKOH/g	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01
Oporność właściwa, w temp. 90°C, GΩ · m	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10
Stratność dielektryczna w temp. 90°C, w przedziale częstotliwości 40...60 Hz	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Napięcie przebicia, kV	≥ 45	≥ 45	≥ 45	≥ 45

ne. Metody ich utylizacji wymagają stosowania specjalnych, kosztownych technologii. Np. ich spalanie wymaga stosowania palenisk o temperaturze płomienia 1500...1800°C i musi być specjalnie kontrolowane. W niższych temperaturach w rezultacie spalania PCB i PCT powstają toksyczne dioksyny.

Ze względu na ich kancerogenne, mutagenne i toksyczne właściwości aktualnie w większości krajów istnieje całkowity zakaz stosowania cieczy askarelowych, zawierających niektóre PCB i PCT, uznane za szkodliwe dla środowiska. Zużytych cieczy aska-

relowych nie należy wprowadzać do przepracowanych olejów naftowych. Odpowiednie Dyrektywy Europejskie, a także Polskie Normy ograniczają dopuszczalną zawartość PCB w olejach przepracowanych, przeznaczonych do regeneracji.

² Antypireny – substancje służące do nasycania materiałów palnych, np. drewna, papieru itp. w celu uzyskania ich niepalności lub trudnopalności.

