

ROZDZIAŁ V.

MATERIAŁY IZOLACYJNE PŁYNNE. OLEJE IZOLACYJNE .

Z materiałów izolacyjnych płynnych najważniejszą rolę odgrywają oleje, używane jako środek izolacyjny głównie do transformatorów, wyłączników i kabli; pozatem stosuje się lakiery, służące do nasycania materiałów włóknistych i papierowych, albo do pociągania izolacji np. uzwojeń transformatorów i maszyn; możnaby wreszcie zaliczyć tu masy izolacyjne, służące do zalewania połączeń kablowych i t.d. Jednak lakiery i masy podczas normalnej pracy są już w stanie stałym, przeto traktować je można jako materiały izolacyjne stałe.

1. PRZEWODNOŚĆ I WYTRZYMAŁOŚĆ MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH PŁYNNYCH.

Przewodzenie prądu w materiałach izolacyjnych płynnych jest do pewnego stopnia przewodzeniem elektrolitycznym, t.zn. odbywa się według praw przechodzenia prądu przez przewodniki płynne czyli elektrolity. W takim materiale znajdują się zawsze wolne jony, pochodzące od zanieczyszczeń, które się rozpuściły w płynie i są zawsze więcej lub mniej zjonizowane. Pod wpływem pola elektrycznego, wytworzonego między elektrodami zanurzonymi w płynie, odbywa się ruch jonów dodatnich do katody, a ujemnych do anody. Tam oddają one ładunki i przez to następuje pozorne przepływ prądu elektrycznego przez elektrolit. Zneutralizowane jony, skupione w pobliżu elektrod, częściowo łączą się w inne związki, częściowo osiadają na elektrodach. Skutkiem tego jest zmiana koncentracji płynu; powstają więc miejsca o różnej przewodności, gdzie gromadzą się ładunki o różnych skupieniach, na które działa pole elektryczne z siłą proporcjonalną do napięcia i skierowaną do miejsca o mniejszej przewodności. To powoduje ruch cząstek płynu z miejsc o większej do mniejszej przewodności. Po ustaniu działania pola następuje wkrótce powrót do stanu pierwotnego.

Pod wpływem przyłożonego napięcia stałego zmienia się rozdział jonów w elektrolicie, oraz zmniejsza się z czasem jego przewodność. Jeżeli zaś napięcie zmienia się okresowo, to ten rozdział jonów nie może tak szybko

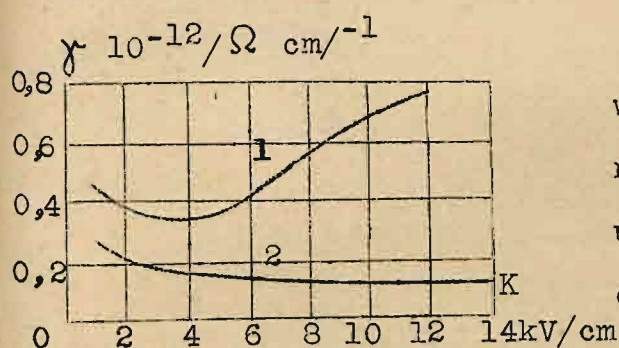
podążać za zmianami napięcia i to tembardziej, im większa jest częstotliwość zmian. Prędkość poruszania się jonów jest tak mała, że prąd zmienny o częstotliwości przemysłowej nie może już wywołać większej zmiany koncentracji jonów. Wobec tego przewodność izolatorów płynnych przy prądzie zmiennym naogół nie zmienia się i ma wartość taką, jaką wykazuje ten izolator przy prądzie stałym w chwili początkowej. Skutkiem tych zjawisk przy prądzie stałym prawa przepływu prądu przez płyn nie odpowiadają prawu Ohma. Natomiast przy prądzie zmiennym prąd przepływa zgodnie z prawem Ohma, bo wtedy zmian w koncentracji prawie niema.

Przewodzenie prądu pochodzi od zanieczyszczeń płynu, powodujących jonizację. Przez oczyszczenie płynu można zatem zmniejszyć znacznie jego przewodność, a więc podnieść izolacyjność. Można w ten sposób dojść do takiego stanu, w którym przewodzenie prądu przestaje być elektrolityczne, a staje się podobne do przewodzenia gazowego. Fakt ten prowadzi do nowoczesnej teorii przewodzenia prądu w izolatorach płynnych /Günther-Schultze/, która opiera się na przewodzeniu w gazach skutkiem jonizacji bodźczej. Ponieważ jednak średnia swobodna długość drogi jonów w płynach jest znacznie mniejsza niż w gazach, jonizacja bodźcza w płynach <sup>dochodzi</sup> w płynach według tej teorii - do skutku w nieco inny sposób.

Pod wpływem pola elektrycznego między elektrodami następuje ruch jonów przez płyn; z powodu dużej gęstości płynu mamy tu tarcie, powodujące ogrzewanie się płynu na drodze przesuwania się jonów; skutkiem tego ciepła może nastąpić lokalne wyparowanie cząsteczek płynu. Przez to powstają kanaliki, przez które jony mogą się posuwać z większą prędkością i spowodować jonizację bodźczą, o ile natężenie pola jest dostatecznie duże. Powiększanie przyłożonego napięcia wytwarza wzrost jonizacji, która może wreszcie doprowadzić do przebicia płynu izolacyjnego. Wytrzymałość jego zależy zatem od możliwości wytworzenia się odpowiedniej ilości ciepła, a więc od pracy, jaką muszą jony zużyć na pokonanie tarcia. Wytrzymałość płynu zależy więc przy stałym ciśnieniu od wielkości swobodnych jonów, powodujących tarcie i ciepło, od stopnia płynności cieczy,



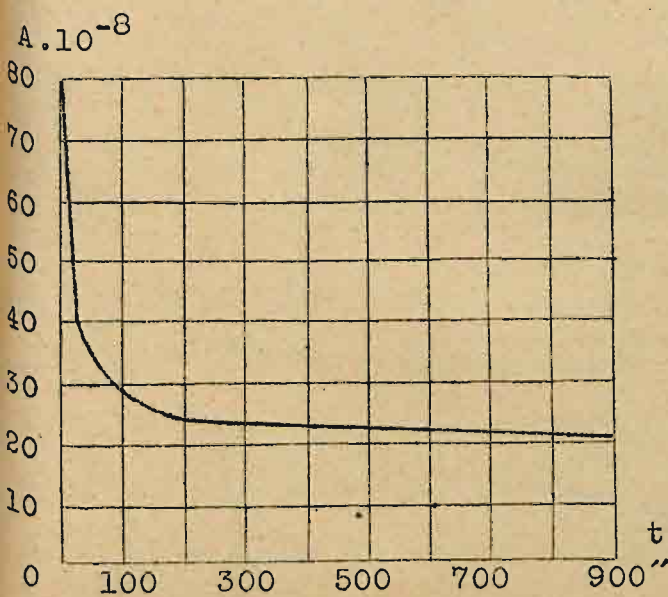
oraz od stopnia parowania płynu izolacyjnego. Z powodu dużego tarcia jonów w płynach, mogą one doznawać przyspieszenia pod wpływem stałej siły tylko w ciągu bardzo krótkiego czasu; skoro zaś siła działająca stanie się równa sile tarcia, która jest proporcjonalna do prędkości, prędkość poruszania się jonów ustala się. Cała energia doprowadzona przemienia się skutkiem tarcia w ciepło. Ilość ciepła jest proporcjonalna do oporów tarcia i prędkości jonów. Praca tarcia jest tu tem większa, im większe jest tarcie jonów. Ten płyn zostanie prędzej przebity, który stawia jonom większy opór tarcia.



Rys.71.

Na zwiększenie przewodności wpływają szczególnie wszelkie zanieczyszczenia obce, co pokazuje Rys.71., na którym uwidoczniła jest zależność przewodności olejów izolacyjnych od naprężenia elektrycznego. Jak widać olej zanieczyszczony /1/ początkowo, ze wzrostem natężenia pola, zmniejsza przewodność, potem zwiększa. Olej zaś czysty /2/ prędzej osiąga ustaloną wartość przewodności.

Przewodność zależna jest także od czasu trwania naprężenia, maleje ona u olejów izolacyjnych początkowo bardzo szybko, aż wreszcie osiąga



Rys.72.

ustaloną wartość /Rys.72./. Pochodzi to stąd, że jony zostają wyciągane z płynu i pędzone ku elektrodom, gdzie oddają ładunki tak, że w ten sposób płyn się oczyszcza z domieszek. Widać z tego jak bardzo wytrzymałość izolatorów płynnych jest związana z ich przewodnością. Znajomość praw przewodności tłumaczy wiele zjawisk wytrzymałościowych w tych izolatorach.

Podobnie jak u gazów, wytrzymałość izolatorów płynnych rośnie z zwiększającym się ciśnieniem, gdyż wtedy swobodna droga jonów w kanałkach zmniejsza się.

Przy prądzie zmiennym wytrzymałość ich jest większa niż przy stałym i na razie rośnie z częstotliwością. Tłumaczymy to pewną bezwładnością jonów, które nie mogą nadążyć za zmianami w kierunku pola. Natomiast przy dużej częstotliwości wytrzymałość ta maleje, bo jony oscylują wtedy prawie w tem samym miejscu, ciepło więc koncentruje się i powoduje prędsze ogrzanie niż przy prądzie stałym, przy którym ciepło rozchodzi się na dłuższej drodze.

Zjawiska te przemawiają na korzyść teorii gazowej wytrzymałości dielektryków płynnych.

## 2. OLEJE IZOLACYJNE I WYMAGANIA IM STAWIANE .

Oleje izolacyjne mają spełniać w przyrządach elektrycznych takich jak transformatory, wyłączniki, izolatory przepustowe, kable, dwójakiego rodzaju zadanie: wzmocnić izolację i ułatwić chłodzenie. Przy urządzeniach wielkiej mocy ta druga rola ma nawet większe znaczenie. Naprzykład transformatory do najwyższych nawet napięć mogą być wykonywane jako suche, o ile są mocy niezbyt dużej, natomiast jednostki wielkiej mocy, nawet niskiego napięcia, muszą być wykonywane jako olejowe. Ciężkie warunki, w jakich olej musi pracować w transformatorach wysokiego napięcia /naprężenia elektryczne, wahania temperatury z obciążeniem, stykanie się z czynnikami mogącymi go zepsuć - jak tlen z powietrza, miedź / oraz w wyłącznikach /spalanie w chwili działania wyłącznika/ powodują, że olejom muszą być stawiane dosyć surowe wymagania.

Najważniejsze własności, jakie ma posiadać olej izolacyjny można streścić w następujących punktach:

1. Wysoka wytrzymałość elektryczna, mała przewodność, mała stratność, - warunkujące dobre własności izolacyjne;
2. Duża przewodność cieplna, duże ciepło właściwe, mała lepkość /duża płynność/ - w celu zapewnienia dobrego chłodzenia;



3. Wysoki punkt zapłonu i -związane pośrednio z tem - małe straty przez parowanie,- ze względu na bezpieczeństwo pożarowe;
4. Niski punkt krzepnięcia, ze względu na częste obecnie umieszczanie wyłączników i transformatorów na wolnym powietrzu, co w razie skrzepnięcia oleju na mrozie mogłoby pociągnąć poważne uszkodzenia przyrządów /np. niemożność szybkiego działania wyłącznika w razie zwarcia na linii może spowodować jego eksplozję/;
5. Trwałość, czyli odporność na starzenie się pod wpływem podwyższonej temperatury czynników, z jakimi się olej styka przy pracy;
6. Nieobecność składników szkodliwych w oleju nowym, mogących wpływać szkodliwie na przyrządy /np. izolację uzwojeń/, względnie mała skłonność do wytwarzania ich w miarę starzenia się.

Wieloletnie doświadczenie i próby stwierdziły, że wymaganiom tym mogą sprostać dotychczas tylko oleje, pochodzące z destylacji ropy naftowej, zwane zwykle olejami mineralnymi. Wszelkie inne - jak np. roślinne lub pochodzące z destylacji węgla kamiennego, - aczkolwiek mogą czasem odpowiadać niektórym z powyższych wymagań, nie nadają się do pracy w przyrządach elektrycznych przede wszystkim ze względu na małą trwałość i obecność lub wytwarzanie z czasem składników szkodliwych /kwasy, osady/.

Oleje mineralne są mieszaninami węglowodorów o rozmaitej budowie chemicznej, dotychczas jeszcze niezupełnie dokładnie zbadanej. Ze względu na wymaganą trwałość, węglowodory wchodzące w skład oleju izolacyjnego muszą być węglowodorami nasyconymi, gdyż nienasycone posiadają dużą łatwość reagowania z innymi czynnikami. Należy rozróżnić dwa główne rodzaje węglowodorów, wchodzących w skład oleju, a mianowicie węglowodory o budowie typu naftenowego  $C_nH_{2n}$  oraz węglowodory typu metanowego lub parafinowego  $C_nH_{2n+2}$ . Zależnie od pochodzenia ropy olej może zawierać oba typy węglowodorów, lub, częściej, jeden w przeważającej ilości. Główna różnica w zachowaniu się olejów obu rodzajów leży w ich punkcie krzepnięcia: dla czystego oleju parafinowego leży on powyżej  $0^\circ$  /ok.  $+5^\circ C$ /, dla olejów izolacyjnych, pochodzących z rop parafinowych nie może on być

uzyskany niższy od  $-5^{\circ}\text{C}$ , podczas gdy dla olejów naftenowych punkt ten leży znacznie niżej /nawet poniżej  $-60^{\circ}\text{C}$ /, przyczem niema tu właściwego punktu krzepnięcia, lecz tylko powolny wzrost lepkości aż do zupełnego zestalenia.

Trwałość. Najważniejszą własnością oleju, decydującą o jego przydatności do celów izolacyjnych, jest jego trwałość. Nawet najlepszy olej z biegiem czasu ulega rozkładowi pod wpływem czynników zewnętrznych, z których najważniejszym jest tlen /np. z otaczającego powietrza/. Działanie jego potęguje podniesiona temperatura, pole elektryczne, światło /nawet rozproszone/ oraz katalizatory, między wielu innemi żelazo i miedź. Stwierdzono przytem, że działanie katalityczne tych dwóch ostatnich czynników jest silniejsze, jeżeli działają one na olej razem, niż kiedy osobno <sup>x/</sup>, co oczywiście ma znaczenie w przyrządach elektrycznych. Zmiany w oleju prowadzą do wytworzenia ciał o większej gęstości /szlam, osady/ przez utlenianie i polimeryzację.

Utlenianie, zachodzące np. w transformatorach z dostępem powietrza, występuje łatwiej przy wyższej temperaturze /powyżej  $95^{\circ}\text{C}$  następuje utlenianie bardzo prędko, nawet bez katalizatorów/. Tworzą się przytem początkowo kwasy organiczne o coraz większych cząsteczkach. Jedne są rozpuszczalne w zimnym oleju, inne tylko w gorącym. Przy dalszem działaniu podwyższonej temperatury wytwarzają się ciała o charakterze asfaltowym, nierozpuszczalne nawet w gorącym oleju. Skutkiem rozpuszczalności w oleju początkowych produktów rozkładu olej, który zaczął się psuć, nie może być przywrócony do stanu pierwotnego przez oczyszczenie /p. niżej/, szczególnie, o ile odbywa się ono przy podwyższonej temperaturze.

W transformatorach olejowych nieposiadających specjalnych urządzeń /jak konserwatory czyli olejniki/, tlen ma zwykle dostęp ułatwiony do powierzchni oleju dzięki t.zw. "oddychaniu" transformatora; przez zwiększenie swej objętości o ok. 10% przy rozgrzaniu w czasie większego obciążenia olej wypiera z nad swej powierzchni część powietrza z pudła trans-



formatora, poczem stygnąc /np. przez noc/ zasysa świeże powietrze. Jeżeli zachodzą procesy utleniania i zaczynają się wytwarzać osady, to niektóre z nich, szczególnie nierozpuszczalne w oleju zimnym, mają tendencję do osiadania na częściach zimnych /np. ścianach pudła/, inne zaś na częściach gorących, więc uzwojeniach i kanałach chłodzących, pogarszając przez to warunki chłodzenia. Skutkiem tego temperatura przy obciążeniu musi wzrosnąć, co za sobą pociąga intensywniejsze tworzenie się osadów, a wreszcie może doprowadzić do zniszczenia transformatora. Kwasy, wytwarzające się w czasie rozkładu, lub zawarte w oleju, mogą działać szkodliwie na uzwojenia, zwłaszcza bawełnę, zmniejszając ich wytrzymałość. Szczególnie niebezpieczne są kwasy organiczne małocząsteczkowe oraz kwasy nieorganiczne, mogące pozostać w oleju przy niestarannym wyrobie.

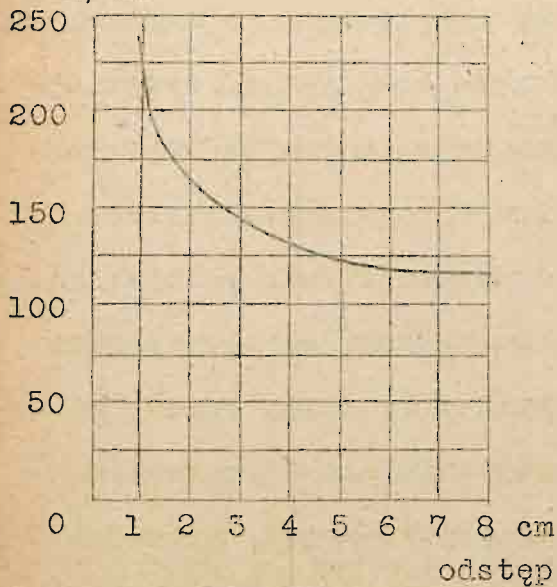
Polimeryzacja polega na powiększaniu się cząstek oleju przez ich połączenie, np.  $C_nH_n + C_nH_n \rightarrow C_{2n}H_{2n}$ , przyczem może również zachodzić wydzielanie wodoru:  $C_nH_{2n+2} + C_nH_{2n+2} = C_{2n}H_{2n+2} + H_2$  /kondensacja/. Zjawisko to występuje bez dostępu powietrza pod wpływem dużych natężeń pola, ma dlatego duże znaczenie przy pracy kabli o izolacji papierowo-olejowej. Polimeryzacji sprzyja również wielka częstotliwość, szczególnie przy jednoczesnym działaniu z wysokim napięciem.

Przy wyłącznikach zniszczenie oleju następuje na innej drodze, a mianowicie przez rozkład węglowodorów pod wpływem wysokiej temperatury łuku. Temperatura ta zależy zwykle od mocy wyłączanej i czasu wyłączania, a więc od energii łuku; zależnie od warunków może ona wynosić 2000 - 3000°C i więcej. W temperaturach tak wysokich następuje nie tylko rozpad większych cząsteczek, ale nawet dezintegracja cząsteczek gazowych na atomy. Temperatury najwyższe występują wzdłuż linii łuku na niewielkiej objętościowo przestrzeni, dalej w otoczeniu następuje nagły spadek temperatury dzięki szybkiemu przebiegowi zjawiska. Produkty rozkładu są zarówno gazowe, jak stałe i płynne. Dla urządzenia elektrycznego największe niebezpieczeństwo przedstawiają pierwsze, jako mogące spowodować wybuch, dla oleju samego - drugie, jako mogące spowodować dalszy rozkład

oleju. Produkty gazowe zawierają w znacznej części gazy palne: metan, acetylen, wodór i lżejsze węglowodory. Wobec tego, że gazy te łatwo tworzą z powietrzem mieszaniny wybuchowe i to w szerokich granicach /np. acetylen 3,4 do 52,3%, metan 6,1 do 12,8% i t.d./, może rozżarzona cząsteczka metalu, wyrzucona nazewnątrz oleju wraz z gazami, spowodować wybuch całego wyłącznika. Płynne produkty rozkładu powstają przez działanie łuku w częściach o stosunkowo niższej temperaturze na cząstki węglowodorów cięższych, rozkładając je na lżejsze, o mniejszych cząsteczkach, rozpuszczalne w reszcie oleju, ale lotniejsze. Powodować to może obniżenie punktu zapłonu oleju w wyłączniku po pewnej liczbie wyłączeń.

Produkty stałe rozkładu oleju w łuku zawierają w postaci szlamu przeważnie węgiel bezpostaciowy, słabo przewodzący, o ile łuk przebiega bez dostępu powietrza. Jeżeli łuk wydostanie się na powierzchnię oleju następuje częściowe spalanie oleju dające w rezultacie węgiel o charakterze zbliżonym pod względem morfologicznym do grafitu, dobrze przewodzący /elektrycznie/.

Wytrzymałość elektryczna oleju, jak zresztą i innych dielektryków, nie jest wielkością stałą, lecz zależy od różnych czynników, jak kształt pola t.j. kształt, odstęp i umieszczenie elektrod, szybkość wzrostu napięcia, temperatura, ciśnienie; mniejszy wpływ ma materiał elektrod. Kształt krzywej napięcia nie ma prawie wpływu na wytrzymałość oleju, gdyż prze-



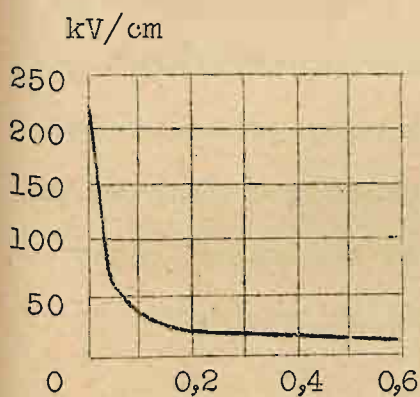
Rys. 73.

bicie zależy od wartości maksymalnej; tylko przy niższych temperaturach, przy oleju gęściejszym, gdzie przebiecie nabiera charakteru cieplnego, tam ma wpływ również wartość skuteczna napięcia. Wpływ różnych czynników na wytrzymałość podają wykresy /Rys. 73, 74, 75, 76./, mogą one służyć jednak tylko jako orientacja w przebiegu zjawiska, gdyż dla różnych olejów liczbowe wartości mogą się znacznie róż-



nić nawet dla tego samego gatunku oleju, zależnie od jego czystości. Czystość bowiem oleju - przy zachowaniu innych warunków bez zmian - decyduje o jego wytrzymałości elektrycznej. Wytrzymałość oleju czystego w zależności od odstępów elektrod ma przebieg /Rys.73./ podobny jak dla powietrza; z rosnącym odstępem wytrzymałość maleje. Oleje zanieczyszczone mają przebieg mniej regularny.

Wpływ ogromny mają tu zawiesiny, mogące się unosić w oleju /np. włókienka celulozy z izolacji, stałe produkty rozpadu, szczególnie o ile posiadają stałą dielektryczną większą od oleju/, oraz woda, którą olej bar-

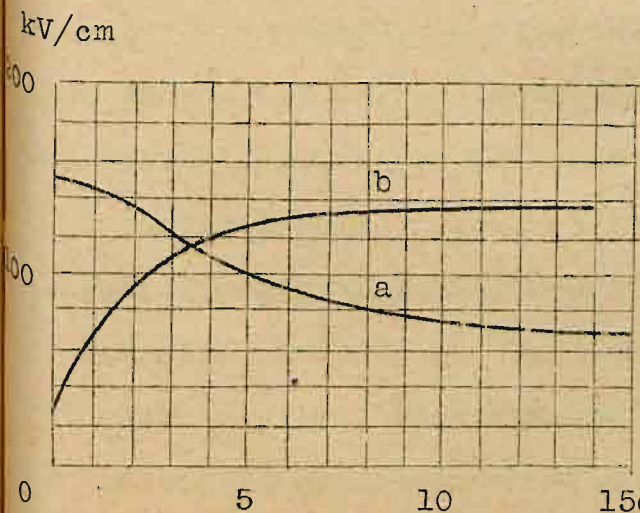


Rys.74.

% H<sub>2</sub>O

dzo łatwo wchłania z powietrza i to tembardziej, im lepiej jest wysuszony. Wchłanianie przez zetknięcie bezpośrednie z wodą /np. z dna transformatora/ jest dużo słabsze. Woda jest częściowo rozpuszczalna w oleju / w ilościach znikomych/, reszta zaś jej może unosić się w postaci niewidocznej zawiesiny /kilkunastu  $\mu$  średnicy/. Względnie duże ilości wody

mogą nawet się objawiać przez zmętnienie oleju, o ile nie jest to spowodowane przez osad. Obecność wody zmniejsza ogromnie wytrzymałość oleju, lecz tylko, jak widać z Rys.74., do pewnych granic. Zawartość wody ponad 0,3% na wytrzymałość oleju już nie wpływa. Im dłużej pozostaje olej na wolnym powietrzu wilgotnym, tembardziej nasiąka wilgocią i skutkiem



Rys.75.

tego zmniejsza się jego wytrzymałość; po kilkunastu dniach następuje stan nasycenia, wytrzymałość przybiera wartość normalną /Rys:75, krzywa a/. Odwrotnie, przy wydzielaniu wilgoci wytrzymałość oleju rośnie i po kilkunastu dniach odzyskuje pierwotne wartości /krzywa b/.

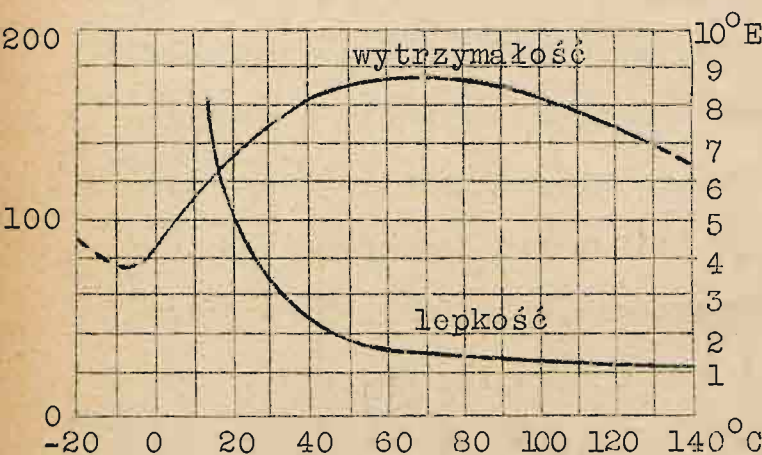
Zawiesiny w postaci włókienek

nasiąkają wilgocią z oleju i, mając dzięki temu dużą stałą dielektryczną, dążą do miejsc o większym natężeniu pola. W ten sposób powstają na elektrodach rodzaje ostrzy z tych włókienek, tworzą się mostki półprzewodzące, aż następuje przebicie. Należy zauważyć, że samo zetknięcie dużej ilości wody z olejem tego ostatniego nie psuje, o ile zostanie potem wysuszony, wprost przeciwnie, woda usuwa z oleju najbardziej szkodliwe kwasy, będące ośrodkiem tworzenia się osadów.

Zależnie więc od czystości wytrzymałość może wahać się w bardzo szerokich granicach. Dla specjalnie starannie wysuszonych i filtrowanych próbek powyżej 400 kV/cm wart. skut. przy grubości ok. 1 mm. Dla oleju bardzo zanieczyszczonego spada do ok. 20 kV/cm. Czysty, praktycznie bezwodny olej posiada wytrzymałość ok. 100 ÷ 150 kV/cm przy grubości 2 mm i elektrodach kulowych średnicy 50 mm. Olej dobry, zdalny do użytku powinien posiadać powyżej 80 kV/cm w. sk. w powyższych warunkach. Przy wartościach niższych od 50 kV/cm należy uważać olej za niezdatny do pracy i wymagający oczyszczenia.

Na wytrzymałość elektryczną oleju ma bardzo duży wpływ temperatura, jest on jednak dosyć nieregularny /Rys. 76/. Przy temperaturze ok. 60 do 70°C wytrzymałość jest największa, przy wyższych temperaturach maleje,

kV/cm



Rys. 76.

przy krzepnięciu osiąga minimum.

Pochodzi to stąd, że opór tarcowy płynu zależy od płynności, jest on mianowicie odwrotnie proporcjonalny do płynności, to zn. wprost proporcjonalny do stopnia /bezwzględnej/ lepkości. Ponieważ płynność

rośnie z temperaturą, przeto i wytrzymałość oleju także zwiększa

się z temperaturą, bo praca na pokonanie oporów tarcia zmniejsza się. Przewodność zmienia się prawie tak samo z temperaturą, jak płynność. Powyżej 60°C wytrzymałość jednak spada, co tłumaczy się już zmianami



chemicznymi oleju pod wpływem ciepła, oraz zmniejszeniem się ciepła parowania. Fakt, że w normalnej pracy transformatora /60 + 80°C/ wytrzymałość oleju jest duża, jest nader korzystny.

Charakterystyczną cechą oleju, jak wogóle materiałów izolacyjnych płynnych, jest rozbieżność poszczególnych pomiarów wytrzymałości /napięcia przebicia/ dla tej samej próbki, i to zarówno dla oleju czystego, jak i brudnego. Rozsiew poszczególnych wartości, nawet przy zachowaniu wszystkich warunków bez zmian, wynosić może około dwudziestu kilku % od wartości przeciętnej  $\bar{x}$ . Istnieje dużo przyczyn, które mogą te różnice powodować, przede wszystkim zaś niejednorodność zawieszin i możliwość przenoszenia się ich w oleju pod wpływem pola elektrycznego i skupiania się z mniejszą lub większą szybkością. W chwili przebicia może nastąpić skutkiem wydzielania się gazów wyrzucenie tych zawieszin z pobliża elektrod, wskutek czego następny pomiar może dać wyższą wartość; i odwrotnie, skutkiem powstania stałych produktów spalania w chwili przeskoku, może się łatwiej utworzyć mostek z cząstek przewodzących, lub tylko o innej stałej dielektrycznej, co, odkształcając pole, może dać niższą wartość następnego przebicia i t.d. Dużą rolę gra tu moc, jaką układ probierczy rozwija w chwili przeskoku.

Z tych względów i ze względu na bardzo trudne zachowanie identyczności wszystkich warunków próby, ocena i porównywanie olejów pod względem napięcia przebicia dla celów technicznych nie są wskazane. Wystarcza do tego wymaganie, żeby olej w określonych warunkach wytrzymywał przez czas pewien minimalne napięcie, np. przy kulach o średnicy 12,5 mm w odstępach 5 mm 30kV skut. przez 30 minut /projekt przepisów polskich, przepisy szwajcarskie/.

Ciężkość właściwa olejów mineralnych nie powinna przekraczać 0,905 przy 20°C, ze względu na to, że przy niskich temperaturach mogłaby woda skondensowana na dnie pudła, pływać w postaci zamrożonej w oleju. Ciężkość właściwa lodu przy 0°C wynosi ok. 0,917 i rośnie wolno z obniżeniem temperatury, a współczynnik rozszerzalności oleju jest znacznie większy  $\bar{x}$  /Rebhan, ETZ, 1932 str. 556.

/poprawka na gęstość wynosi 0,0007 na 1°C/. Ściśle więc biorąc, o ile założymy, że lód w temperaturze -30°C ma być cięższy od oleju, to gęstość oleju wypadnie przy 20°C :  $0,917 - 50 \cdot 0,0007 = 0,872$ .

Płynność oleju musi być tak duża, aby olej mógł łatwo krążyć pod wpływem różnic temperatur w rozmaitych miejscach transformatora, a w wyłącznikach szybko zalewać miejsce przerwy iskrowej. Płynność określa się w stopniach lepkości /wiskozy/ z pomiaru czasu wypływu określonej objętości oleju z kalibrowanego otworu. Mierzy się ją za pomocą lepkościomierza np. syst. Englera. Ten stopień lepkości nie może przekraczać 7° Englera przy 20°C/przep. polskie/.

Olej ma skłonność do krzepnięcia przy niskich temperaturach. Punkt krzepnięcia powinien być możliwie niski, dla olejów wyłącznikowych może być niższy niż dla transformatorowych, gdyż te ostatnie ogrzewają się same podczas ruchu. Według przepisów polskich powinien on wynosić przynajmniej -35°C. Przyczem przepisy te nie rozróżniają dwóch gatunków oleju. Nadają się więc tu tylko oleje naftenowe.

Zapalność oleju jest własnością charakteryzującą bezpieczeństwo oleju pod względem pożaru, lub wybuchu. Określa ją punkt zapłonu t.j. temperatura, przy której gazy wydzielane przez ogrzany olej zapalają się i natychmiast gasną, albo punkt palności t.j. temperatura, przy której gazy, raz zapalone, palą się nadal. Przepisy polskie przewidują określenie tylko punktu zapłonu, który jest ważniejszy. Powinien on być możliwie wysoki, a mianowicie nie niższy niż 145°C przy pomiarze za pomocą naczynia specjalnego o tyglu zamkniętym np. Pensky'ego-Martensa.

Trwałość oleju czyli własność niezmienniania jego głównych właściwości staramy się wykryć za pomocą próby sztucznego starzenia ze względu na tworzenie osadów. Metod istnieje kilka. Według polskich przepisów próbuje się przez podgrzewanie próbki oleju przez czas 100 godzin przy temperaturze 100°C w obecności specjalnie spreparowanych katalizatorów /żelaza i miedzi/, przy ściśle regulowanym dostępie tlenu. Olej po tej próbie może zawierać osad tylko w niewielkiej, przewidzianej w przepisach



ilości, a kwasowość nie może przekroczyć pewnej granicy<sup>x/</sup>.

Otrzymanie oleju z fabryki dostatecznie czystego dla normalnej pracy jest prawie wykluczone. Zawsze należy przeprowadzić jego oczyszczenie, głównie odwilgocenie. Mamy do tego różne sposoby:

Gotowanie. Olej podgrzewa się w kotłach otwartych powyżej 100°C, przy ciągłym mieszaniu woda wyparowuje. Należy unikać nadmiernego /ponad 110°C/ podgrzania oleju, gdyż to go psuje /utlenia/. Jeżeli trzeba zastosować wyższą temperaturę, to wypada to uskutecznić w zamkniętych naczyniach bez dostępu powietrza. Najlepiej jednak gotować przy niższej temperaturze /60°C/, ale przy zmniejszonym ciśnieniu.

Filtrowanie. Olej przecieka pod ciśnieniem /często podgrzany/, przez filtr kartonowy. Woda zostaje pochłaniana przez higroskopijny karton, kuleczki wody osiadają mechanicznie, jak na sicie; osiadają również na nim zanieczyszczenia. Podgrzanie przyspiesza przepływ, bo olej staje się lekkopłynny, ale powoduje rozpuszczanie się części wody i osadu w oleju, dlatego jest niewskazane. Słabą stroną takiego oczyszczenia jest ta okoliczność, że włókienka filtru dostają się do oleju. W ostatnich czasach zaczęto stosować urządzenia filtrujące, które tej usterki nie posiadają, dzięki specjalnie spreparowanym przeponom filtrującym z bawełny, jedwabiu i kolodjum, lub wyciąganiu włókienek przez pole elektryczne /ultra-filtry/.

Centryfugowanie polega na mechanicznym oddzieleniu oleju od wody pod wpływem działania bezwładności na materiały o różnej ciężkości właściwej. Części obce o tej samej ciężkości właściwej co olej nie mogą się jednak wydzielić. Złą stroną również jest konieczność podgrzania oleju do ok. 50°C. Częściowo też woda i osad zostają przez centryfugowanie rozdrobnione w tak drobnocząsteczkową emulsję, że potem przez filtrowanie trudne są do usunięcia.

Zabiegi chemiczne w elektrotechnice naogół niestosowane, jako zbyt skomplikowane. Stosuje się je tylko w rafinerjach, przy rafinowaniu lub

---

regenerowaniu.

----- . -----

Polska jest krajem samowystarczalnym pod względem olejów izolacyjnych, a nawet może je eksportować. Produkcja olejów izolacyjnych dotychczas - ze względu na niewielkie stosunkowo zapotrzebowanie - jest niska w porównaniu z innymi produktami naftowymi x/.

Polskie złoża naftowe zawierają obie zasadnicze odmiany rop: parafinowe i naftenowe, zależnie więc od pochodzenia oleje mogą być o wysokim /około  $-5^{\circ}\text{C}$ / lub niskim /nawet do ok.  $-60^{\circ}\text{C}$ / punkcie krzepnięcia.

---

x/	R o k	1928	1930	1931
		t y s i ą c e	t o n	
Całkowite wydobycie ropy w Polsce		743	663	631
Oleje i smary wszelkiego rodzaju		111	94	88
/ w tem olejów izolacyjnych ok.2 tys.ton/.				

PORÓWNANIE PRODUKCJI ROPY NIEKTÓRYCH KRAJÓW  
ZA ROK 1930 /w milionach ton/.

St.Zjedn.A.P.	122,9 /spada/	
Wenezuela	20,0	
Rosja	18,5	
Rumunja	5,4 /rośnie/	
Polska	0,7 /spada/	
Niemcy	0,2 /rośnie/	/według G.U.S./

----- - -----