

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTROTECHNIKÓW POLSKICH.

WYCHODZI 1-go i 15-go KAŻDEGO MIESIĄCA.

PRZEDPŁATA:
kwartalnie zł. 6.—

Cena zeszytu 1 zł.

Biuro Redakcji i Administracji: Warszawa, Czackiego № 5 m 24, I piętro
(Gmach Stowarzyszenia Techników), telefon № 90-23.

Administracja otwarta codziennie od g. 12 do g. 4 po poł.

- Redaktor przyjmuje we wtorki od godziny 7-ej do 8-ej wieczorem. -

Konto № 363 Pocztowej Kasy Oszczędności.

CENNIK OGŁOSZEŃ:

Ogłoszenia jednoraz. na 1/1 str. zł. 120
" " na 1/2 " " " 75
" " na 1/4 " " " 40
" " na 1/8 " " " 20
Strona tytułowa (I) 50 proc. drożej,
" okładki zewn. (II) 20% " " "
" " wewn. (III) 20% " " "
Ogłoszenia strony tytułowej przyjmowane
są tylko całostronicowe.
Podwyżka cennika ogłoszeń obowiązuje
wszystkie już zlecone ogłoszenia od dnia
zmiany cen bez uprzedniego zawiadom.

Rok VII.

Warszawa, 1 października 1925 r.

Zeszyt 19.

Materiały izolacyjne.

Prof. K. Drewnowski.

(Ciąg dalszy *).

B. Materiały izolacyjne płynne. Oleje izolacyjne.

Z materiałów izolacyjnych płynnych najważniejszą rolę odgrywają oleje, używane jako środek izolacyjny głównie do transformatorów i wyłączników; — 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 izolatorów płynnych.

Przewodzenie prądu w materiałach izolacyjnych płynnych jest do pewnego stopnia — według do niedawna panującej teorii — przewodzeniem elektrolitycznym, to zn. odbywa się według praw przechodzenia prądu przez przewodniki płynne — elektrolity.

W izolatorze takim znajdują się zawsze wolne jony, pochodzące od zanieczyszczeń, które się rozpuściły w płynie izolującym i są zawsze więcej lub mniej zjonizowane. Pod wpływem pola elektrycznego, wytworzonego między anodą i katodą, następuje ruch jonów dodatnich do katody a ujemnych do anody. Tam oddają one swe ładunki i przez to następuje przepływ prądu 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. Tam 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, związanych z ładunkami, z miejsc o większej do mniejszej przewodności. Po ustaniu działania prądu następuje wkrótce powrót do stanu pierwotnego.

Pod wpływem przyłożonego stałego napięcia zmienia się rozdział jonów w elektrolicie oraz zmniej-

sza 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. Prędkość poruszania się jonów jest mała, tak, że prąd zmienny o częstotliwości przemysłowej nie może już wywołać większej zmiany koncentracji jonów. Wobec tego przewodność izolatorów płynnych przy prądzie zmiennym nie zmienia się i ma wartość taką, jaką wykazuje izolator przy prądzie stałym w chwili początkowej.

Skutkiem tych zjawisk przy prądzie stałym prąwa 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 — jak widzieliśmy — 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*), 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 dochodzi — 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. Powiększenie przyłożonego napięcia wytwarza wzrost jonizacji, która może doprowadzić wreszcie 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

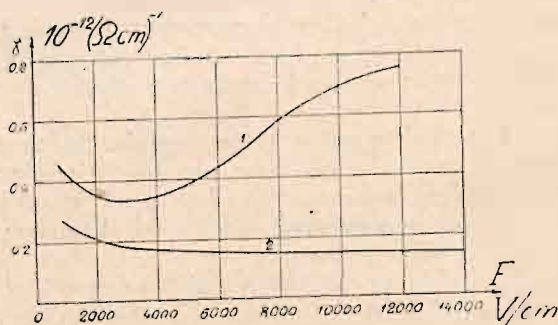
*) p. Przegląd Elektr., 1925, zes. 16, str. 261 i in.

*) Günther — Schulze, Jahrbuch der Radioaktivität, 1922.

cieczy, oraz od ciepła 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 przemieni 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.

Widać z tego, jak bardzo wytrzymałość izolatorów płynnych jest związana z ich przewodnością. Znajomość praw przewodności tłumaczy wiele zjawisk wytrzymałościowych w tych izolatorach.

Przewodność izolatorów płynnych jest zatem wywołana własną dysocjacją, zachodzącą zwykle w małym stopniu, i dysocjacją obcych elektrolitycznych domieszek oraz wody. Szczególnie wszelkie zanieczyszczenia obce wpływają bardzo znacznie na zwiększenie przewodności, co pokazuje Rys. 12, na



Rys. 12.

którym uwidoczniła jest zależność przewodności olejów izolacyjnych od natężenia pola^{*)}.

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 ustaloną wartość (Rys. 13^{*)}. Pochodzi to ztąd, że jony zostają wyciągane z płynu i pędzone ku elektrodom, gdzie oddają ładunki tak, że w ten sposób płyn się oczyszcza z domieszek.

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

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

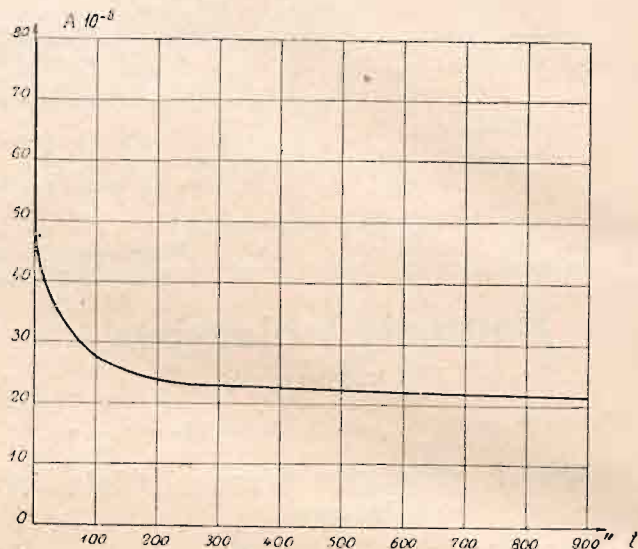
^{*)} K. Draaege, Arch. f. El., 1924.

^{*)} Tamże.

Wszystkie te zjawiska potwierdzają teorię gazową wytrzymałości dielektryków płynnych.

2. Oleje izolacyjne.

Oleje te mają na celu: a) izolację części pozostających pod wysakiem napięciem, gołych lub izolowa-



Rys. 13.

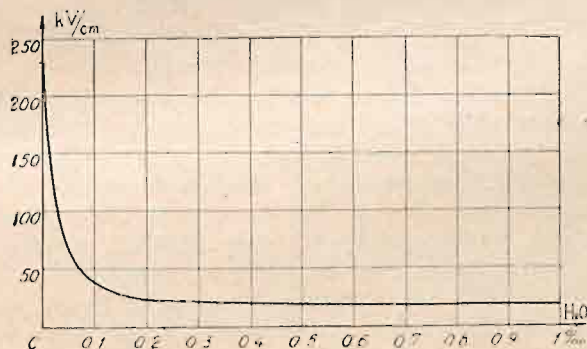
nych, — (w tym drugim przypadku idzie o wzmocnienie izolacji), — oraz b) chłodzenie uzwojeń i części żelaznych transformatorów i wyłączników. Powinny zatem posiadać własności dobrego izolatora elektryczności i dobrego przewodnika ciepła. Poza tem stawiany jest olejom cały szereg warunków, które mają zapewnić skuteczne i trwałe ich działanie; olej nie powinien zmieniać własności izolacyjnych i chłodniczych, do czego naogół jest bardzo skłonny pod wpływem różnych czynników.

Wytrzymałość elektryczna oleju.

Wpływ domieszek i zawiesin. Oleje izolacyjne muszą być pochodzenia mineralnego a nie roślinnego, doskonale destylowane i rafinowane, nie mieszane z żadnymi innymi substancjami, bez zanieczyszczeń jak pył, włókienka, sadza i t. d. Zwłaszcza te zawiesiny stałe (sadza szczególnie) są bardzo szkodliwe, gdyż pod wpływem pola elektrycznego dążą do elektrod i tworzą niejako pomost przewodzący między nimi. W bardzo zanieczyszczonych olejach tworzy się to już w ułamkach sekundy po przyłożeniu napięcia do elektrod, w czystych nieco wolniej. Do tych zawiesin stałych czepia się wilgoć i w ten sposób zmniejsza wytrzymałość elektryczną oleju. Kwasy, alkalja i siarka, zawarte w oleju, nagryzają izolację uzwojeń i części metalowe. Dobry olej musi być od nich prawie zupełnie wolny; dopuszczalną jest np. zawartość kwasu organicznego tylko poniżej 0,02%. Z powyższych względów wskazane jest przechowywanie oleju w naczyniach żelaznych (nie ołowianych) lub szklanych, a stanowczo nie w drewnianych. Kolor oleju powinien być zupełnie czysty i jasny.

Wpływ wilgoci.—Oleje są bardzo czułe na wilgoć. Olej wchłania ją intensywnie z powietrza i to tem bardziej im lepiej jest odwodniony. Woda miesza się dosyć ściśle z olejem w postaci drobnych ku-

leczek (około 10 μsr.) Naodwrót, zawilgocony olej oddaje wilgoć powietrzu suchemu. W jaki sposób te procesy fizykalnie się odbywają, nie jest jeszcze dobrze wyjaśnione. Prócz tego, olej ma własność nasiąkania wodą znajdującą się pod nim na dnie naczynia, dokąd się np. przypadkiem dostała, to jednak odbija się w znacznie mniejszym stopniu na jego dobroci, niż wpływ wilgoci powietrza. Zawartość wody zmniejsza znacznie wytrzymałość elektryczną oleju, ale tylko do pewnych granic jej zawartości. Olej pozbawiony starannie wody posiada b. dużą wytrzymałość (do 200 kV/cm. i więcej). Przy zwiększaniu się zawartości wody wytrzymałość bardzo szybko spada (Rys. 14*), ale tylko do pewnej granicy. Powyżej 0,03%₀



Rys. 14.

ciężaru oleju, zawartość wody nie wpływa już na zmniejszenie wytrzymałości, która wynosi wtedy około 22 kV/cm.

Ciekawy jest wpływ wilgoci powietrza na wytrzymałość oleju**). Im dłużej pozostaje olej na wolnym powietrzu wilgotnym, tem bardziej nasiąka wilgocią i skutkiem tego zmniejsza się jego wytrzymałość; po kilkunastu dniach następuje stan nasycenia, wytrzymałość przybiera wartość minimalną. (Rys. 15-a). Odwrotnie, przy wydzielaniu wilgoci wytrzymałość oleju rośnie i po kilkunastu dniach odzyskuje pierwotne wartości (Rys. 15-b).

W pomieszczeniach o średniej wilgotności olej wykazuje pośrednią wytrzymałość, około 50 kV/cm., co można przyjąć jako normalną wartość w dobrych warunkach.

Z tych powodów należy olej przechowywać w szczelnie zamkniętych naczyniach, aby nie dopuścić do zmniejszenia jego wytrzymałości, zwłaszcza jeżeli olej znajduje się w pracujących lub przeznaczonych już do pracy transformatorach i wyłącznikach.

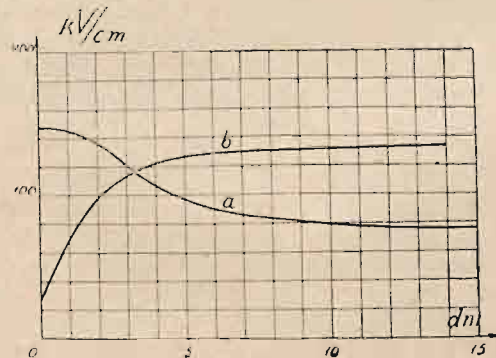
Wpływ temperatury.—Temperatura ma również bardzo duży wpływ na własności olejów. Olej ma skłonność, — głównie przy ogrzewaniu, — do tworzenia osadów, które są niepożądane, bo mogą spowodować zwarcie, a głównie dlatego, że, powstając w transformatorach na częściach najgorętszych t. j. uzwojeniach, utrudniają krążenie oleju, a tem samem chłodzenie. Przy gotowaniu oleju celem odwodnienia go trzeba bardzo uważać, aby go zanadto nie przegrzać (max. 115 do 120°C). Zetknięcie olejów z powietrzem (wpływ tlenu) również powoduje tworzenie się osadu. Przepisy niemieckie ograniczają ilość tych osadów do max. 0,3%; przepisy francuskie jesz-

cze są ostrzejsze, wymagają one, aby olej podczas pięciodniowego ogrzewania przy 150° C nie wykazywał żadnych osadów. Określenie dobroci oleju za pomocą stopnia skłonności do tworzenia osadów, wysuwa się obecnie na plan pierwszy.

Przy ogrzewaniu, zwłaszcza nadmiernem, oprócz powstawania osadów, parują lżejsze węglowodory, które mogą się zapalić od iskry i wywołać eksplozję, Skłonność do parowania musi być mała (po 5-o god. ogrzewaniu do 100° nie więcej niż 0,2%₀) a ich punkt zapłonu powinien być dosyć wysoki (jako najkorzystniejszą wartość można przyjąć 145° C według opinii Komisji olejów Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej. Samozapalność zaś oleju nie może być niższa od 180° (franc.).

Płynność oleju musi być duża, aby olej mógł łatwo krążyć pod wpływem różnic temperatur w rozmaitych miejscach transformatora, a w wyłącznikach szybko zalewać miejsce przerwy iskrowej (prądu). Płynność określa się w stopniach wiskozy np. wg. Englera. Ten stopień wiskozy nie może przekraczać 8° wiskozimetru englerowskiego przy 20° C (przepis niemiecki i franc.) oraz 2,5° przy 50° C (franc.).

Olej ma skłonność do krzepnięcia a przy niskich temperaturach. Punkt krzepnięcia powinien być możliwie niski i to dla olejów wyłącznikowych niższy niż dla transformatorowych, gdyż te ostatnie ogrzewają się same podczas ruchu. Według przepisów niemieckich powinien on być niższy od — 5° C (transf.) względnie — 15° C (wyłącz.); francuskie przepisy wymagają tylko — 1° C (transf.). Należy to rozumieć



Rys. 15.

tak, że olej musi być jeszcze dosyć płynny przy oziębieniu do tych temperatur w czasie jednej godziny.

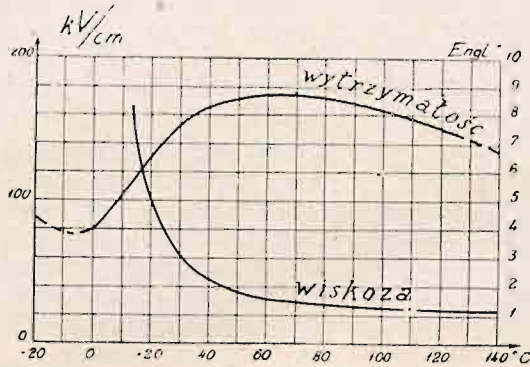
Wpływ temperatury na wytrzymałość elektryczną oleju jest dosyć nieregularny (Rys. 16). Przy temperaturze około 60 do 70° C jest ona największa, przy wyższych temperaturach maleje, przy krzepnięciu osiąga minimum. Pochodzi to stąd, że opór tarcioowy płynu zależy od płynności, jest on mianowicie odwrotnie proporcjonalny do płynności to zn. wprost proporcjonalny do stopnia (bezwzględnej) wiskozy. Ponieważ płynność rośnie z temperaturą, przeto i wytrzymałość oleju także się zwiększa z temperaturą, bo praca na pokonanie oporów tarcia zmniejsza się. Przewodność również 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°) wytrzymałość oleju jest duża, jest nader korzystny.

*)R. M. Friese. Uber Durchschlagsfestigkeit v. Isolie-rolen. 1921.

**) Tamże.

Pomiar wytrzymałości oleju.

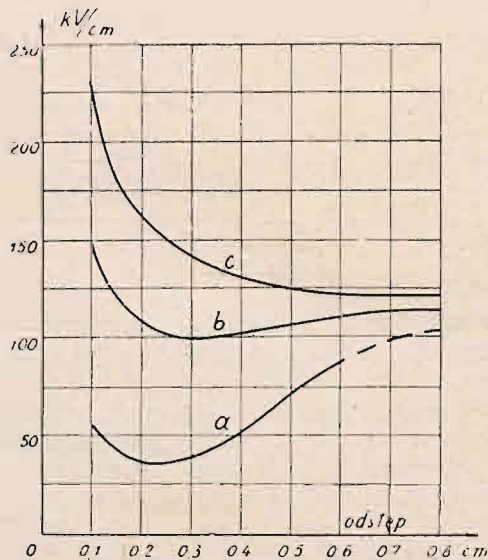
Z powyższych wywodów widać, jak dużo czynników wpływa na wytrzymałość olejów. Podobnie jak dla powietrza jest ona również zależna od warunków, w których pomiar się odbywa. Zależy więc od rodzaju elektrod, ich odstępów i t. d. W olejach występują mogą wyładowania jarzące, choć w mniejszym stopniu niż w powietrzu, które psują dokładność pomiaru, dlatego elektrody o małym promieniu krzywizny nie nadają się. Najlepiej zachowują się is-



Rys. 16.

kiernik cylindryczny, który jednak jest niepraktyczny w użyciu. Przeważnie stosują iskierniki kuliste o kulach pełnych (12,5 mm. średnicy, przep. franc.), albo odcinkach kuli (o promieniu 25 mm., przep. niem.).

Wytrzymałość zależna jest od odstępów i ma przebieg podobny jak w powietrzu. Oleje zanieczyszczone (Rys. 17 a i b) wykazują minimum przy ok. 0,2 cm. odstępów. Powyżej 0,8 cm. krzywa przechodzi w prostą, wytrzymałość jest niezależna od odległości).



Rys. 17.

Największa wartość otrzymana dla starannie filtrowanych olejów dochodzi 400 kV/cm. przy 1 mm. odstępów*). Przeciętnie dobry olej oczyszczony i zamknięty wykazuje ok. 120 kV/cm, a normalny nieodwilgocony ok. 50 kV/cm.

Podczas przeskoku iskry przez olej w czasie próby, wyparowuje ona częściowo wilgoć na swej

drodze i polepsza w ten sposób niejako wytrzymałość. Po pierwszym przebiciu wytrzymałość przeważnie rośnie tak, że następne przebicia mogą dać większe wartości wytrzymałości. Z tego powodu przy próbie tylko pierwsze przebicie powinno być miarodajne, chyba, że nastąpi dłuższa przerwa, lub usunie się produkty spalania z przerwy iskrowej.

Przy próbach oleju lepiej nie dopuszczać do przebicia celem określenia wytrzymałości, gdyż dane w ten sposób otrzymane różnią się bardzo od siebie i nie zawsze mogą być uważane za wartość wytrzymałości. Lepiej poddać olej próbie napięcia bez doprowadzenia do przebicia. Jeżeli wytrzyma np. 40 kV między kulami 12,5 mm średnicy przy odstępnie 5 mm, to znaczy, że próba wypadła pomyślnie (przep. franc. i niem.).

Oczyszczenie oleju.

Otrzymanie oleju z fabryki dostatecznie czystego dla normalnej pracy jest prawie wykluczone. Zawsze należy przeprowadzić jego oczyszczenie, głównie odwilgoconie. Mamy do tego wiele sposobów.

Gotowanie. — Olej podgrzewa się w kotłach otwartych powyżej 100° C, przy ciągłym mieszaniu woda wyparowuje. Należy unikać nadmiernego (ponad 115 — 120° C) ogrzania oleju, gdyż to go psuje (osad!). Jeżeli trzeba zastosować wyższą temperaturę, to wypada to uskutecznić w zamkniętych naczyniach. Najlepiej jednak gotować przy niższej temperaturze (60°), ale przy zmniejszonym ciśnieniu.

Filtrowanie. — Olej przecieka pod ciśnieniem (często podgrzany), przez filtr kartonowy. Woda zostaje pochłonięta przez higroskopijny karton, kuleczki wody osiadają mechanicznie, jak na sicie. Osiadają również na nim zanieczyszczenia. Podgrzanie przyspiesza przepływ, bo olej staje się lekko płynny. Słabą stroną takiego czyszczenia jest ta okoliczność, że włókienka filtru dostają się do oleju.

Centryfugowanie. — Mechaniczne oddzielenie 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. Stosują ten sposób głównie w Ameryce.

Zabiegi chemiczne. — Olej przepuszcza się przez wapno niegaszone, a potem filtruje się przez piasek. Sposób niepraktyczny, trwa zbyt długo.

Najlepszym sposobem, zwłaszcza jeżeli idzie o olej do prób, jest filtrowanie przez gęsty karton do naczynia, gdzie panuje niższe ciśnienie, przy równoczesnym podgrzewaniu przed filtrem oleju do 80° C.

Ze względu na ważne znaczenie oleju jako materiału izolacyjnego, jest dążność do międzynarodowego określenia jego dobroci. Głównie idzie obecnie o ustalenie metody badania oleju na skłonność do tworzenia się osadów, gdyż co do tego istnieją największe i rozbieżności i różne poglądy. Odpowiednie prace prowadzone są przez Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną (C.E.I.). Również w Polsce Polski Komitet Elektrotechniczny rozpoczął studia nad tą kwestją, ze względu na to, że Polska wytwarza oleje, które powinny odpowiadać międzynarodowym normom**).

(Dokończenie nastąpi).

** p. artykuł inż. T. Czaplickiego p. t. „Oleje izolacyjne” „Przeł. Elektr.” 1925 r.

*) W. Spath. Arch. f. El. 1923.