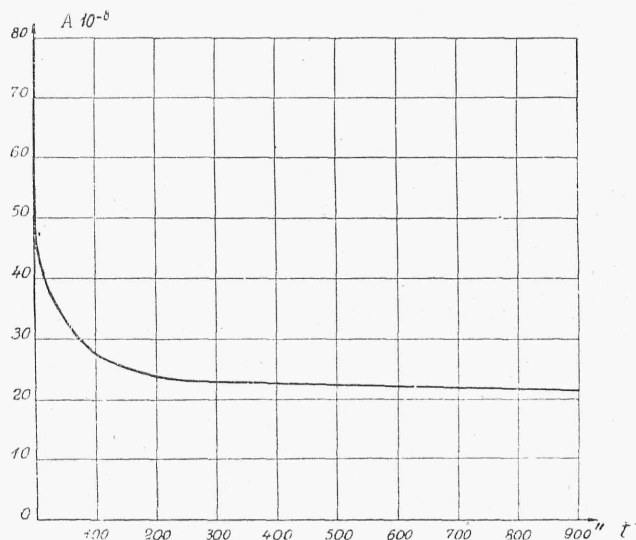


wyciągane z płynu i pędzone ku elektrodom, gdzie oddają ładunki tak, że w ten sposób płyn się oczyszcza z domieszek.

Podobnie jak u gazów, wytrzymałość izolatorów płynnych rośnie 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. Tłómaczymy 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



Rys. 17.

miejsku, ciepło więc koncentruje się i powoduje pręższe ogrzanie niż przy prądzie stałym, przy którym ciepło rozchodzi się na dłuższej drodze.

Wszystkie te zjawiska potwierdzają teorię gazową wytrzymałości dielektryków płynnych.

## 2. Oleje izolacyjne.

Oleje te mają na celu: a) izolację części pozostających pod wysokim napięciem, gołych lub izolowanych, (w tym drugim przypadku idzie o wzmocnienie izolacji), — oraz b) chłodzenie uzwojeń i części żelaznych transformatorów i wyłączników. Powinny zatem posiadać własności dobrego izolatora elek-

tryczności i dobrego przewodnika ciepła. Pozatem 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.

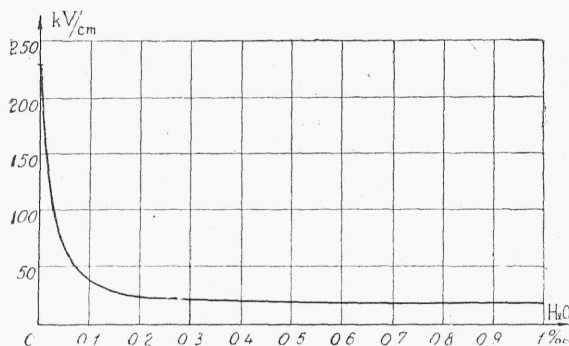
Wpływ domieszek i zawiesin. Oleje izolacyjne muszą być pochodzenia mineralnego a nie roślinnego, doskonale destylowane i rafinowane, nie zmieszane z żadnymi innymi substancjami, bez zanieczyszczeń jak pył, włókienka, sadza i t. d. Zwłaszcza te zawiesiny stałe (sadza szczególnie) są bardzo szkodliwe, 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, alkalia i siarka, zawarte w oleju, nagryzają izolację uzwojeń i części metalowe. Dobry olej musi być od nich prawie zupełnie wolny; dopuszczalna jest np. zawartość kwasu organicznego tylko poniżej 0,02%. Z powyższych względów wskazane jest przechowywanie oleju w naczyniach żelaznych (nie olowanych) 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 kuleczek (ok. 10 p.śred.). Naodwrot, 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. 18*)\*), ale tylko do pewnej granicy. Powyżej

\*) R. M. Friese. Ueber Durchschlagsfestigkeit v. Isolierölen. (Veröf. d. Siemens Konz. 1921).

0,03% 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 wil-



Rys. 18.

gocią i skutkiem tego zmniejsza się jego wytrzymałość; po kilkunastu dniach następuje stan nasycenia, wytrzymałość przybiera wartość normalną. (Rys. 19-a). Odwrotnie, przy wydzielaniu wilgoci wytrzymałość oleju rośnie i po kilkunastu dniach odzyskuje pierwotne wartości (Rys. 19-b).

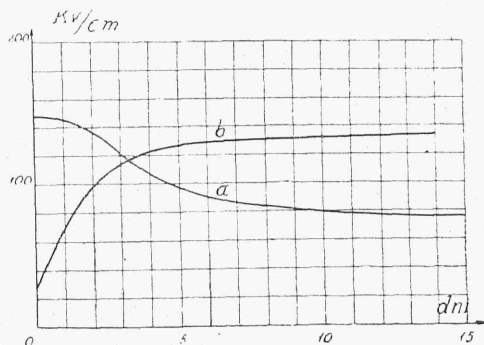
W pomieszczeniach o średniej wilgotności olej wykazuje pośrednią wytrzymałość, około 50 kV/cm., co można przyjąć jako normalną wartość w dobrych warunkach.

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 właściwości 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 sa-

\*) Tamże.

mem 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 jeszcze 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.



Rys. 19.

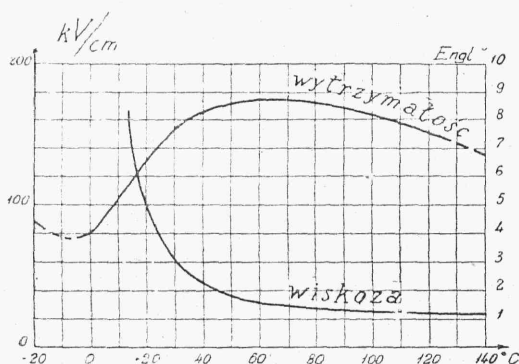
Przy ogrzewaniu, zwłaszcza nadmiernym, oprócz powstawania osadów, parują lżejsze węglowodory, które mogą się zapalić od iskry i wywołać eksplozję. Skłonność do parowania musi być mała (po 5-o godz. ogrzewaniu do 100° nie więcej niż 0,2%) a ich punkt zapłonu powinien być dosyć wysoki; jako najkorzystniejszą 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 (przepisy niem. 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  $-5^{\circ}\text{C}$  (transf.) względnie  $-15^{\circ}\text{C}$  (wyłącz.); francuskie przepisy wymagają tylko  $-1^{\circ}\text{C}$  (transf.). Należy to rozumieć 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. 20). Przy tem-

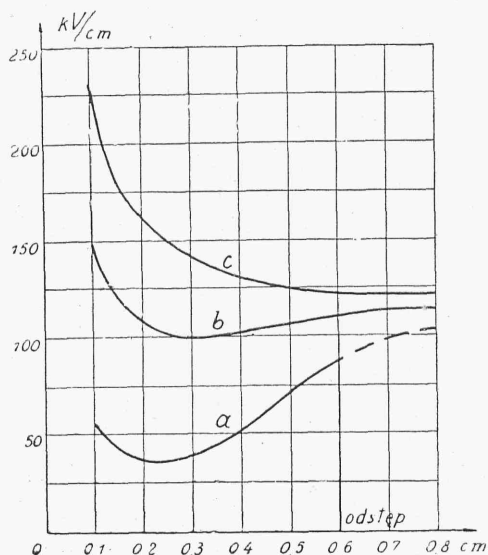


Rys. 20.

raturze około 60 do 70° C jest ona największa, przy wyższych temperaturach maleje, przy krzepnięciu osiąga minimum. Pochodzi to stąd, że opór tarciaowy płynu zależy od płynności, jest on mianowicie odwrotnie proporcjonalny do płynności, to zn. wprost proporcjonalny do stopnia (bezwzględnej) wiskozji. 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.

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 odstępu i t. d. W olejach występować mogą wyładowania jarzące, choć w mniej-

szym stopniu niż w powietrzu, które psują dokładność pomiaru, dlatego elektrody o małym promieniu krzywizny nie nadają się. Najlepiej zachowują się iskierniki cylindryczne, 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.).



Rys. 21.

Wytrzymałość zależna jest od odstępów i ma przebieg podobny jak w powietrzu. Oleje zanieczyszczone (Rys. 21 a i b) wykazują minimum przy ok. 0,2 cm. odstępów. Powyżej 0,8 cm. krzywa przechodzi w prostą, wytrzymałość jest niezależna od odległości\*).

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 wyparowywa 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 więk-

\*) W. Späth. Arch. f. El. 1923

sze 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 odstępie 5 mm, to znaczy, że próba wypadła pomyślnie (przep. franc. i niem.).

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

**Gotowanie.** Olej podgrzewa się w kotłach otwartych powyżej  $100^{\circ}\text{C}$ , przy ciągłym mieszaniu woda wyparowuje. Należy unikać nadmiernego (ponad  $115 - 120^{\circ}\text{C}$ ) ogrzania oleju, gdyż to go psuje (osad!). Jeżeli trzeba zastosować wyższą temperaturę, to wypada to skutecznie w zamkniętych naczyniach. Najlepiej jednak gotować przy niższej temperaturze ( $60^{\circ}$ ), 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 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  $80^{\circ}\text{C}$ .

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 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 \*).

### **C. Materiały izolacyjne stałe. — Porcelana. — Papiery.**

Materiały izolacyjne stałe stanowią przeważającą większość materiałów, używanych w elektrotechnice do izolowania części metalowych, pod napięciem, — a to dzięki własnościom mechanicznym tych materiałów. W przeciwieństwie do nich, materiały izolacyjne lotne lub płynne nie mogą same wystarczyć jako izolacja, muszą być używane w połączeniu ze stałymi (np. izolatory porcelanowe i powietrze — względem przewodów; preszpan, tektura i t. p. i olej — względem uzwojeń transformatora).

Izolatory stałe są bardzo różnorodne. Prawie każdy materiał nieprzewodzący i jako tako odporny mechanicznie i chemicznie, może być stosowany jako izolator, zwłaszcza przy urządzeniach niskiego napięcia. Należy jednak z naciskiem zaznaczyć, że bezkrytyczne stosowanie byle jakich materiałów izolacyjnych może spowodować złe skutki nie tylko dla bezpieczeństwa urządzenia, ale także i dla życia ludzkiego. W ostatnich latach przejawia się wobec tego silna dążność do uporządkowania sprawy materiałów izolacyjnych, do poznania wszechstronnego ich własności i do ich rozklasyfikowania stosownie do własności i przeznaczenia. Instytuty badawcze różnych krajów i specjalne komisje zajmują się tą sprawą usilnie tak, że dziś rozporządzamy już dużą ilością danych o różnych materiałach.

O ile ta sprawa jest względnie prosta w stosunku do materiałów izolacyjnych naturalnych, o tyle jest nader trudna, gdy chodzi o materiały sztuczne,

---

\*) p. artykuł inż. T. Czaplickiego p. t. „Oleje izolacyjne” „Przegl. Elektr.” 1925 r.