

## Eesti põlevkivi neutraalõlide dielektri jäävad.

V. Koern.

Kasutades äärmiselt lihtsatest osadest kokkuseatud silda on tarvitades aparatuurile vastavalt kujundatud valemit, mõõdetud Kohtla põlevkivi neutraalõli 9 fraktsiooni ( $250^{\circ}$ — $450^{\circ}$  C) jaoks dielektriline jääv täpsusega  $2^0/_{00}$ . Jälgitud selle muutumist aja jooksul. Mõõdetud veel samade õlide elektrijuhtivus, murdumisnäitaja ja tihedus. Esitatud hüpotees dielektrilise jääva positiivse temperatuurkoeffitsiendi olenemisest viskoossusest.

### I.

Seades endale ülesandeks uurida põlevkivi õlide dielektri jäävaid, polnud mul võimalik vastavate sisseseadete puudusel tarvitada sarnaseid suurepäraseid ja äärmiselt täpsaid meetode, nagu näit. Herweg'i<sup>1)</sup> poolt esimesena kasutatud hõljumiste meetod, ehk jälle väga laialt tuntud Nernst'i meetod Joachim'i<sup>2)</sup> ja teiste poolt moderniseeritud kujul. Tuli seepärast piirduda lihtsa silla meetodiga ja mõõtmiste korralduse ning vastavate paranduste arvu- tamisega püüda täpsust tõsta.

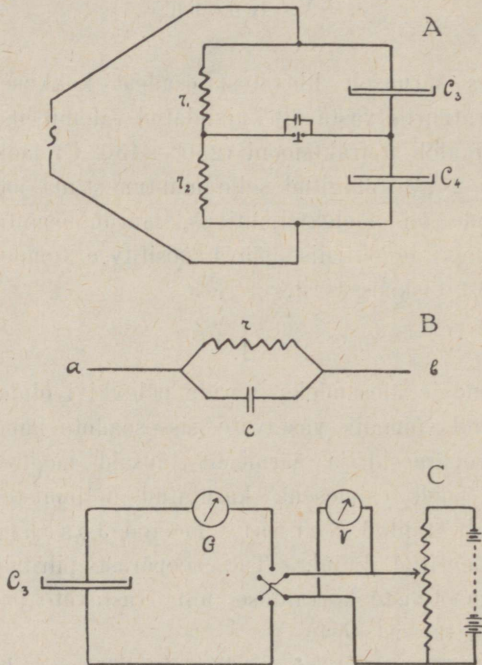
Dielektri jääv (DK) on ju lihtsalt määratav, kui dielektriku- miga täidetud kondensori mahtuvuse  $C'$  suhe sama kondensori mah- tuvusega  $C$ , kui ta tühi on. Seega tuleb mõõta kondensori mahtu- vusi vabalt valitud mõõtuksustes, milliseks üksuseks kasutatakse muutmatu nn. normaalkondensori mahtu. Nii taandub DK mõõtmine kondensorite mahtuvuste võrdlemisele, milleks kasutasin W heatstone'i silda joon. 1, A näidatud kujul. Kondensoriid  $C_3$  ja  $C_4$  (joon. 2) on eriliselt vedelikkude uurimiseks valmistatud prof. Vilip'i<sup>3)</sup> andmete järele. Nad koosnevad alumistest, vedelikkude sissevalamise võimal-

1) J. Herweg, Zs. f. Phys. 3, 36, 1920.

2) H. Joachim, Ann. d. Phys. 60, 570, 1919.

3) J. Vilip. Zs. f. phys. u. chem. Unterricht. III, 117, 1927.

damiseks madala äärega varustatud 24 cm diameetriga plaatidest, milledele toetuvad kolme merivaigust jalakesega 20 cm diameetriga ülemised plaadid. Plaatide kaugust üksteisest saab muuta mõõdetavalt merivaigust jalakestega ühendatud mikromeeter kruvidega. Et hoiduda mahtuvuste muutumisest plaatide deformumise tagajärjel, siis on plaadid valmistatud 3,5 mm paksusest uushõbedast. Kondensori asetati lakitud klaasist sammaste abil 15 cm kaugusele üksteise kohale, kusjuures õliga täidetud kond. ülalpool asus. Takistustena tarvitsin



Joon. 1.

Hartmann & Braun'i prätsisioon-reostaate, millised täiesti induktsioonivabad olid. Nullinstrumendiks oli väga tundelik Tartu Telefonivabriku 4000 ohmilise takistusega telefon, millega raadiotehnikas tarvitataval viisil vaikimistäpi paremaks kuulmiseks paralleelselt ühendatud sai 5000 cm mahtuvusega vilgukivi kondensori. Vooluallikaks oli väike akkumulaatoriga töötav Telefunkeni induktor, mis andis 830 perioodilist vahelduvat voolu. Perioodide arvu määrasin kindlaks akustiliselt hõljumuste abil, mida sünnitasin tuntud võnkarvuga heliraua ja induktori poolt sünnitatud toonide vahel.

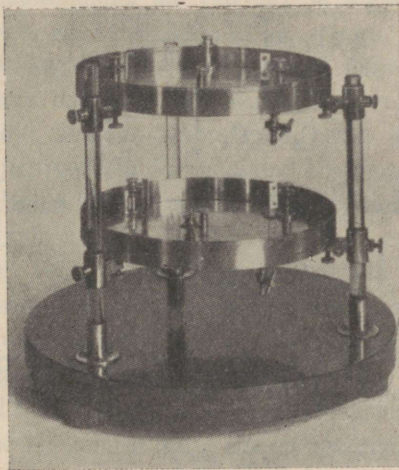
Ühendusteks tarvitasin isoleerimata 1,5 mm vask traate. Kõik juhed said painutatud ainult täisnurga all, järsult, et hoiduda eneseinduktsiooni tekkimisest. Ka juhede asetuse sai nii valitud, et nad üksteise peale mõjuda ei saaks.

### Tarvitatud silla tasakaalu valem.

Tingimuseks, et silla diagonaalil CD (joon. 1) ei tekiks voolu, on

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{w_3}{w_4} \dots \dots \dots (1)$$

kus  $w_1, w_2, \dots$  on vastavate silla külgede nn. takistusoperaatorid. Kuna käesoleval juhul takistused  $r_1$  ja  $r_2$  omavad peale



Joon. 2.

puhtohmilise takistuse veel teatud mahtuvused  $C_1$  ja  $C_2$  ja samuti kondensorid  $C_3$  ja  $C_4$  võivad omada teatavad energia kaotused, mida väljendada võib kui mahtuvustele  $C_3$  ja  $C_4$  paralleelselt lülitatud ohmilisi takistusi  $r_3$  ja  $r_4$ , siis saame igale küljele joon. 1, B näidatud kuju, mis seisab koos puhtohmilisest takistusest  $r$  ja puhtmahtuvusest  $C$ . Sarnase juhe (ab) takistusoperaator sinusoidaalse vahelduva voolule ringsagedusega  $\omega$  on:

$$w = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2} = \frac{r}{1 + r \omega C}$$

Seega oleks käesoleval juhul täpne silla tasakaalu valem:

$$\frac{r_1}{1 + r_1 \omega C} : \frac{r_2}{1 + r_2 \omega C_2} = \frac{r_3}{1 + r_3 \omega C_3} : \frac{r_4}{1 + r_4 \omega C_4} \dots \dots (2)$$

milline oma suure mõõta tulevate andmete arvu pärast tarvitamiseks kõlbmata. Õnneks on valemit võimalik lihtsustada. Võrdluseks tarvitatava kondensori  $C_4$  ohmiline takistus  $r_4 \sim \infty$  ja samuti ei esine seal energia kaotusi dielektrikumis, kui ka kiirgamise tõttu. Seepärast

$$w_4 = \frac{1}{\omega C_4}$$

Tarvitatud reostaatide mahtuvused on väga väikesed ja kasvavad ühes takistuse kasvamisega. Et meil tegemist alati ainult takistusoperaatorite suhetega, siis võib, nagu näitasid ligikaudsed arvutused ja pärastpoole ka katsed,  $w_1$  ja  $w_2$  asemele võtta lihtsalt  $r_1$  ja  $r_2$ . Seega valem (2) omaks kuju:

$$r_1 : r_2 = \frac{r_3}{1 + r_3 \omega C_3} : \frac{1}{\omega C_4}$$

kust

$$C_3 = C_4 \cdot \frac{r_2}{r_1} - \frac{1}{r_3 \omega}$$

ning meie kondensoorite mahtuvuste otsitud suhe juhul, kui  $C_3$  on täidetud õliga:

$$\frac{C_3^1}{C_4} = \frac{r_2}{r_1} - \frac{1}{r_3 \omega C_4} \dots \dots \dots (3)$$

Kui  $C_3$  on tühi, siis  $r_3 \sim \infty$ , sest juhtivust ja energia kaotusi ei ole, ning mahtuvuste suhe on lihtsalt:

$$\frac{C_3}{C_4} = \frac{r_2}{r_1} \dots \dots \dots (4)$$

### Aparatuuri proovimine.

Enne lõplikkudele mõõtmistele asumist sai aparatuur põhjalikult paljude hoolikalt valitud katsete abil järele proovitud, kas selle kohta võib tarvitada lihtsustatud valemeid (3) ja (4) ja kas ei ole mingisuguseid muid mõjusid märgata, mis resultaatide täpsuse ja tõelikkuse peale võiksid mõjuda.

Esimesena tuli katselisele proovimisele, kas on lubatav reostaatide mahtuvust, mis iga stöpslite kombinatsiooni juures isesugune, arvestamata jätta.

Seadides silla nullseisu, tarvitades sealjuures kord üht kord teistsugust osa reostaatidest kõigis võimalikkudes kombinatsioonides, selgus et reostaatide mahtuvuste mõju igatahes katsevea piirideni ei ulatu. Katsete jooksul jäid kondensoorid muidugi puutumata, seal-

juures olid nad mõlemad tühjad, ja seega ka maksev valem (4), nii et tegelikult proovitud sai, kas silla nullseisak muutub, kui suhtes  $\frac{W_2}{W_1}$  komponendi  $\frac{r_2}{r_1}$  mõlemaid liikmeid proportsionaalselt muuta.

Teiseks võimalikuks vigade põhjuseks võiks olla kondensorite vastastikkune mõju üksteisele, mis, kuigi väiksel määral, nende asetuse tõttu olemas on. See mõju peab suurel määral olenema kondensorite vahelisest kaugusest, seepärast vaja järelekatsumiseks ainult vaadata, kas silla nullseisak ei muutu, kui seda kaugust muuta. Muutes vahet 8—20 cm võis märgata mõju mis oma suuruse poolest katsevea piirkonda langes. Et aga tegelikkude mõõtmiste juures kond. vahe alati muutmataks jäi (15 cm) ja tegemist on vaid relatiivsete mõõtmistega, siis siit küljest ka mingit viga karta ei ole. Samuti ka reostaatide ja juhede omavahelised mõjud ei tule arvesse, mis juba ette oodata oli ja ka järelekatsumisel selgus.

Tuntavat mõju avaldas mahtuvuste peale kas käe ehk mõne maaga ühendatud juhtiva asja lähendamine kondensoritele. Seepärast said viimaste lähedusest kõik kõrvalised asjad eemaldatud ja ise mõõtmiste ajal võimalikult kaugemale hoitud.

Vastuvaidlusi võib tekitada asjaolu, et ma olen võtnud õliga täidetud kondensori näiva paralleeltakistusena ainult õli juhtivusest tingitud ja alalise vooluga mõõdetud ohmilise takistuse. On ju teada, et ka igasugu muud energia kaotused vahelduva voolu juures kondensoris avalduvad näiva paralleeltakistuse vähenemisena. Mis puutub energia kaotustesse kiirgamise tõttu, siis on need mõlemas kondensoris nende täpselt ühesuguse ehituse tõttu kõigepealt võrdsed ja teiseks, tarvitatud võrdlemisi madala pinge juures arvestamata väike. Tõsisem on juba lugu energia kaotusega dielektrikumis diipolide, millede olemasolu õli keemilise koosseisu tõttu E. H. L. Meyer'i<sup>1)</sup> järele oodata võib, pööramiseks ja võnkuma panemiseks äratarvitatud energiaga. Et selgusele jõuda, seks korraldasin kaotuse määramiseks MacLeod'i<sup>2)</sup> järele katsed, mis jällegi silla, mis seekord juba täiesti sümmeetriliselt kokku seatud oli, abil toimetasin; nullseisu seadsin õhkkondensori abil. Et riistade täpsus väga piiratud oli, siis ei saanud ma mingit muud energia kaotust, peale juhtivuse tõttu tekkinu, konstateerida, s. o. olemasolevad kaotused on väga väikesed võrreldes juhtivusega. Seega sain ka sellest raskusest üle, mida ma kõige enam kartsin.

1) E. H. L. Meyer, Ann. 75, 801, 1924.

2) Hector J. MacLeod, Phys. Rev. 21, 53, 1923.

### Kõrvalised mõõtmised.

Mahtuvuste võrdlemiseks valemi (3) järele on tarvis igakord teada õliga täidetud kondensori ohmilist takistust. Kuna see, nagu eelkatsetest selgus, väga suur on — piirkonnas  $10^6 \Omega$ , siis ei saanud vastavate eriliste reostaatide puudusel hõlbust ja täpsat vaheldava vooluga määramist tarvitada. Et mõõtmised pidid sündima ka samas kondensoris, mis DK määramiseks tarvitatud ja vigade eest hoidmiseks otsekohe peale viimast samal kohal, siis jäi üle valida takistuse arvutamine ohmi seadusest alalise voolu jaoks, mõõtes pinget ja voolutugevust. Valikut soodustas veel asjaolu, et oli käepärast väga täpne ja tundelik H. & B. peegelgalvanomeeter. Et alalise voolu tarvitamisel tekkivat polarisatsiooni mõju, mis nagu näha alamal katseandmetest, on väike ja ainult väiksemate pingete juures arvesse tuleb, võimalikult kõrvaldada, siis tarvitasin mitmesugust pinget ja asetasin vooluringi kommutaatori. Mõõtmisel tarvitatud ühendused on näha joon. 1, C. Pinge mõõtmiseks tarvitasin H&B. prätsisioon voltmeetrit. Voolutugevuste mõõtmiseks tarvitatud galvanomeetri tundelikkus sai normaal milliampermeetri ja prätsisioon takistuste abil kontrollitud, kusjuures õige väike lahkumine tekkis vabriku andmetest, nimelt antud tundelikkus H&B. poolt (150 cm skaala kauguse jaoks)  $1,70 \cdot 10^{-8}$  Amp./1 mm, kuna mina leidsin  $1,71 \cdot 10^{-8}$  Amp./1 mm. Ühendusjuhed galvanomeetri ja kondens. vahel asusid õhus, et ärahoida voolu kaotsiminekut isolatsiooni puudulikkuse tõttu. Voolu hallikaks oli suur akkumulaator patarei, nii et pinge kõikumisi ei olnud.

Veel tulid mõõtmisele murdumisnäitaja enne põhjalikult kontrollitud ja reguleeritud Abbe refraktomeetri abil, ning erikaal — Mohr-Westphal kaaludega.

Mahtuvuste suhte  $\frac{C'_3}{C_4}$  arvutamiseks tarvilikke  $C_4$  absoluutväärtusi polnud võimalik kõiki mõõta. Mõõdetud sai see ainult plaatide vahe puhul 2,00 mm, kus see oli 152 cm, kuna teiste kauguste jaoks väärtused geomeetristest mõõtetudest arvatud ja vastavad ääremõju parandused suhete mõõtmisel saadud andmete abil leitud. Arvutus on sarnasel pikal kujul seepärast läbiviidud, et näidata kui suur on sarnase kondensori juures äärte mõju. Vaadeldes tarvitatud kondensori kui lihtsat kaartkondensori, väljendub selle mahtuvus mõõtetude abil (diel. on õhk):

$$C_g = \frac{F}{4\pi d}$$

Olgu ühe juhuse jaoks otseselt mõõdetud mahtuvus  $C_0$  ja DK määramisel tühjade kond. valemi (4) põhjal saadud mahtuvuste suhe  $\frac{C_0}{C_x} = M$ , siis võime iga plaatide vahekauguse jaoks väljakirjutada valemi:

$$\frac{C_0}{C_g + \Delta C} = M$$

ning siit arvutada niihästi äärtemõju  $\Delta C$  kui ka kogumahtuvus  $C_x$ . Sarnaselt arvatud väärtused on esitatud tabelis Nr. 1.

Tabel Nr. 1.

| h    | $C_g$ cm | $\Delta C$ cm | $C_x$ cm | $C_x$ Farad           |
|------|----------|---------------|----------|-----------------------|
| 0,60 | 416      | 29            | 445      | $4,96 \cdot 10^{-10}$ |
| 0,70 | 356      | 65            | 421      | 4,68                  |
| 0,80 | 312      | 92            | 404      | 4,50                  |
| 1,00 | 249      | 99            | 338      | 3,76                  |

$$C_0 = 152 \text{ cm.}$$

### Uuritud õlid.

Tarvitasin põlevkivi neutraalõlisi, mis järgmiselt said valmistatud. Kohtla õlivabriku toores põlevkivi õli fraktsioneeriti 20 mm Hg rõhumise juures, kusjuures koguti, ümberarvutatult normaalse rõhumise jaoks, fraktsioonid — esiteks kuni  $250^{\circ}$  C ja edasi iga  $25^{\circ}$  tagant kuni  $450^{\circ}$ . Eraldati 10% KOH laose abil fenoolid, pesti väävelhappega, siis teistkord KOH laosega ja lõpuks mitmed korrad destilleeritud veega. Siis kuivatatud kloorkaltsiumiga ja enne tarvitamist fraktsioonid uuesti 20 mm Hg juures destilleeritud. Nii et kindel võib olla, et on tegemist täiesti puhaste ja esimese katsete seeria juures ka kuivade neutraalõlidega.

### Mõõtmiste üldine käik ja resultaadid.

Mõõtmised ise sündisid järgmiselt. Kõigepealt seadsin tühjade kondensorite korral silla reostaatide abil nullseisu. Et vooluallik mitte lihtsat sinusoidaalset voolu ei andnud ja nullseis sagedusest oleneb, seega telefoni täieliselt vaikima üldse ei saa seada, siis seadsin nullseisu põhitooni järele, s. o. muutsin reostaatide takistusi kuni põhitoon telefonis ära kustus ja järele jäid selgesti eraldatavad ületoonid. Nullseisu puhul märkisin ära peale takistuste  $r_1$  ja  $r_2$  suuruste ka kondensorite plaatide vahelised kaugused, milledest pärast või-

malik oli arvutada ligikaudselt mahtuvuste absoluutsuurusi. Nüüd täitsin ülemise kond. ettevaatlikult, nii et seis ei muutuks ega õhumullikesi sisse ei jääks, õliga ja leidsin uuesti reostaatide muutmisega nullseisu. Sarnast määramist kordasin igas katseteseerias iga õlisordiga kümme korda. Edasi eraldasid silla juhed ülemisest kondensatorist ja ühendasin selle juhtivuse mõõtmise sisseseadega. Vastavad voolutugevused said äraloetud igakord viie isesuguse pingega jaoks piirkonnas 3—40 volti, sealjuures, nagu eelpool tähendatud, tarvitades kommutaatorit ja võttes iga pingega jaoks vastavad keskmised voolutugevused. Kuna teada olid ka kondensatoris peituva õli kihi mõõdud, on võimalik arvutada erijuhtivus. Edasi mõõtsin otsekohe murdumisnäitaja ja erikaalu, igat jällegi mitu korda. Kõik mõõtmised olid toimetatud võimalikult ühe ja sama temperatuuri juures ja see alati täpselt ülestähendatud. Sarnaselt toimis õli iga fraktsiooniga. Tervet sarnast katsete seeriat, mis sisaldas eneses üldse 9 fraktsiooni kohta 369 katset, kordasin kolm korda, kusjuures I ja II seeria vahel oli 2 nädalat, kuna II ja III seeriatega vahel ainult paar päeva vahet oli.

Et anda täielikku ülevaadet ja kontrollimise võimalust töö käigu ja täpsuse kohta, esitan siin täielikult ühes arvutustega DK mõõtmise saadused ühe fraktsiooni jaoks esimesest katseteseeriast ühe katse kohta.

Tarvitatud tähised:

- $r_1$  ja  $r_2$  — reost. takistused.
- $C_3$  — õlikond. mahtuvus tühjalt.
- $C'_3$  — „ „ täidetult.
- $C_4$  — mõõt- (õhk-) kondens. mahtuvus.
- $E$  — pingega voltides.
- $s$  — galvanomeetri hälve mm.
- $k$  — „ konstant.
- $r_3$  — õliga täidetud kond. takistus ohmides.
- $n$  — murdumisnäitaja natriumi D joone jaoks.
- $h$  — kondens. plaatide vaheline kaugus mm.
- $d$  — erikaal.

Näide I.

Õli Nr. 3. Fraktsioon 275°—300° C.

Nullseis tühjalt.

Tabel Nr. 2.

| r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> /C <sub>4</sub> | a - M <sub>0</sub> |   | (a - M <sub>0</sub> ) <sup>2</sup> |
|----------------|----------------|--------------------------------|--------------------|---|------------------------------------|
|                |                |                                | +                  | - |                                    |
| 1000           | 376            | 0,376                          | --                 | — | —                                  |
| 1100           | 413            | 0,375                          | —                  | 1 | 1                                  |
| 1110           | 418            | 0,377                          | 1                  | — | 1                                  |
| 1120           | 421            | 0,376                          | —                  | — | —                                  |
| 1200           | 452            | 0,377                          | 1                  | — | 1                                  |
| 1220           | 460            | 0,377                          | 1                  | — | 1                                  |
| 2000           | 752            | 0,376                          | —                  | — | —                                  |
| 2100           | 787            | 0,375                          | —                  | 1 | 1                                  |
| 2200           | 826            | 0,375                          | —                  | 1 | 1                                  |
| 2220           | 833            | 0,375                          | —                  | 1 | 1                                  |
|                |                | 0,3759                         | 3                  | 4 | 7                                  |

Ühe vaatluse keskm. viga:  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(a - M_0)^2 - b}{u - 1}} =$   
 $= \sqrt{\frac{7 + 1}{9}} = 0,88$

Resultaadi keskmine viga:  $\sigma_M = \frac{\sigma}{\sqrt{u}} = \frac{0,88}{\sqrt{10}} = 0,28 \approx 0,3$

Tühjalt:  $\frac{C_3}{C_4} = 0,3759 \pm 0,0003$

Nullseis, kui ülemine kondens. täidet. õliga:

$h_4 = 0,80 \text{ mm}$   $t = 22,2^\circ$  Tabel Nr. 3

| r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> /r <sub>1</sub> | a - M <sub>0</sub> |   | (a - M <sub>0</sub> ) <sup>2</sup> |
|----------------|----------------|--------------------------------|--------------------|---|------------------------------------|
|                |                |                                | +                  | - |                                    |
| 1000           | 1112           | 1,112                          | —                  | 1 | 1                                  |
| 1100           | 1225           | 1,114                          | 1                  | — | 1                                  |
| 1110           | 1236           | 1,114                          | 1                  | — | 1                                  |
| 1120           | 1246           | 1,113                          | —                  | — | —                                  |
| 1200           | 1336           | 1,113                          | —                  | — | —                                  |
| 1210           | 1346           | 1,112                          | —                  | 1 | 1                                  |
| 1220           | 1357           | 1,112                          | —                  | 1 | 1                                  |
| 2000           | 2227           | 1,114                          | 1                  | — | 1                                  |
| 2100           | 2343           | 1,116                          | 2                  | — | 4                                  |
| 2120           | 2360           | 1,113                          | —                  | — | —                                  |
|                |                | 1,1132                         | 5                  | 3 | 10                                 |

Ühe vaatluse keskm. viga:  $\sigma = \sqrt{\frac{10}{9}} = 1,1$

Resultaadi „ „ :  $\sigma_M = \frac{\sigma}{\sqrt{10}} = 0,35 \approx 0,4$

suhe õliga:  $r_2/r_1 = 1,1132 \pm 0,0004$

Juhtivuse määramine:

$h_3 = 2,00$  mm Tabel Nr 4.

| E     | $s_1$ | $s_2$ | $\bar{s}$ | $r = \frac{E}{k.s}$ |
|-------|-------|-------|-----------|---------------------|
| 4,50  | 30,0  | 26,0  | 28        | $9,44 \cdot 10^6$   |
| 7,50  | 49,0  | 45,0  | 47        | 9,38                |
| 20,00 | 127,5 | 124,0 | 125       | 9,40                |
| 24,00 | 152,0 | 149,0 | 151       | 9,35                |
| 40,00 | 250,3 | 250,5 | 250       | 9,40                |
|       |       |       |           | $9,39 \cdot 10^6$   |

Kondens. mahtuvuste suhe täidetult.

$$\frac{C'_3}{C_4} = \frac{r_2}{r_1} - \frac{1}{r_3 \omega C_4} = 1,1132 - \frac{1}{9,39 \cdot 10^6 \cdot 5220 \cdot 4,50 \cdot 10^{-10}} =$$

$$= 1,1132 - 0,0453 = 1,0679 \pm 0,0008$$

Siit DK:  $\frac{C'_3}{C_4} : \frac{C_3}{C_4} = \frac{1,0679}{0,3759} = 2,841 \pm 0,005$ ; täpsus: 2<sup>0</sup>/100

Edasi toon kokkuvõetud tabelina samal viisil arvutatud DK väärtused kõigi fraktsioonide jaoks igas katseseerias eraldi. Selgema ülevaate saamiseks neist arvudest on nad joonisel 3, A. graafiliselt kujutatud.

I. katseteseeria.

Tabel Nr. 5.

| Frakts. Nr. | $C_3/C_4$ | $r_2/r_1$ | $r_3 \cdot 10^{-6}$ | $h_4$ | $C_4 \cdot 10^{10} \text{Far.}$ | $\frac{1}{r_3 \omega C_4}$ | $\frac{C'_3}{C_4}$ | $\varepsilon$ | $t^0$ |
|-------------|-----------|-----------|---------------------|-------|---------------------------------|----------------------------|--------------------|---------------|-------|
| 1           | 0,598     | 1,974     | 4,55                | 1,00  | 3,76                            | 0,112                      | 1,862              | 3,114         | 22,1  |
| 2           | 0,470     | 1,467     | 8,28                | 1,00  | 3,76                            | 0,062                      | 1,405              | 2,989         | 21,6  |
| 3           | 0,376     | 1,113     | 9,39                | 0,80  | 4,50                            | 0,045                      | 1,068              | 2,840         | 22,2  |
| 4           | 0,378     | 1,164     | 4,29                | 0,80  | 4,50                            | 0,099                      | 1,065              | 2,817         | 22,3  |
| 5           | 0,378     | 1,220     | 2,53                | 0,80  | 4,50                            | 0,168                      | 1,052              | 2,783         | 22,7  |
| 6           | 0,378     | 1,326     | 1,63                | 0,80  | 4,50                            | 0,261                      | 1,065              | 2,817         | 23,0  |
| 7           | 0,376     | 1,340     | 4,79                | 0,80  | 4,50                            | 0,089                      | 1,251              | 3,327         | 22,9  |
| 8           | 0,379     | 1,430     | 6,88                | 0,80  | 4,50                            | 0,062                      | 1,368              | 3,609         | 22,9  |
| 9           | 0,376     | 1,433     | 4,61                | 0,80  | 4,50                            | 0,094                      | 1,339              | 3,561         | 23,0  |

## II. katseteseeria.

Tabel Nr. 6.

| Nr. | $\frac{C_3}{C_4}$ | $r_2/r_1$ | $r_3 \cdot 10^{-6}$ | $h_4$ | $C_4 \cdot 10^{10}$ | $\frac{1}{r_3 \omega C_4}$ | $\frac{C'_3}{C_4}$ | $\varepsilon$ | $t^0$ |
|-----|-------------------|-----------|---------------------|-------|---------------------|----------------------------|--------------------|---------------|-------|
| 1   | 0,411             | 1,277     | 4,17                | 0,70  | 4,68                | 0,098                      | 1,179              | 2,869         | 22,0  |
| 2   | 0,343             | 1,025     | 4,68                | 0,60  | 4,96                | 0,083                      | 0,942              | 2,746         | 22,8  |
| 3   | 0,345             | 0,981     | 7,62                | 0,60  | 4,96                | 0,051                      | 0,930              | 2,696         | 22,4  |
| 4   | 0,343             | 1,006     | 3,61                | 0,60  | 4,96                | 0,107                      | 0,899              | 2,621         | 21,8  |
| 5   | 0,343             | 1,042     | 2,42                | 0,60  | 4,96                | 0,160                      | 0,882              | 2,571         | 21,8  |
| 6   | 0,342             | 1,130     | 1,60                | 0,60  | 4,96                | 0,242                      | 0,888              | 2,596         | 21,8  |
| 7   | 0,339             | 1,147     | 2,27                | 0,60  | 4,96                | 0,170                      | 0,977              | 2,882         | 21,8  |
| 8   | 0,337             | 1,221     | 4,24                | 0,60  | 4,96                | 0,091                      | 1,130              | 3,353         | 21,8  |
| 9   | 0,340             | 1,254     | 3,35                | 0,60  | 4,96                | 0,115                      | 1,139              | 3,353         | 21,7  |

## III. katseteseeria.

Tabel Nr. 7.

| Nr. | $\frac{C_3}{C_4}$ | $r_2/r_1$ | $r_3 \cdot 10^{-6}$ | $\frac{1}{r_3 \omega C_4}$ | $\frac{C'_3}{C_4}$ | $\varepsilon$ | $t^0$ |
|-----|-------------------|-----------|---------------------|----------------------------|--------------------|---------------|-------|
| 1   | 0,340             | 1,064     | 4,31                | 0,099                      | 0,965              | 2,838         | 18,7  |
| 2   | 0,340             | 1,024     | 5,02                | 0,077                      | 0,947              | 2,785         | 18,8  |
| 3   | 0,341             | 0,978     | 7,52                | 0,051                      | 0,927              | 2,718         | 18,4  |
| 4   | 0,343             | 1,013     | 4,18                | 0,092                      | 0,921              | 2,685         | 18,8  |
| 5   | 0,340             | 1,054     | 2,47                | 0,157                      | 0,897              | 2,638         | 19,1  |
| 6   | 0,339             | 1,145     | 1,66                | 0,233                      | 0,912              | 2,690         | 19,0  |
| 7   | 0,342             | 1,185     | 2,09                | 0,185                      | 1,000              | 2,924         | 19,2  |
| 8   | 0,340             | 1,256     | 4,07                | 0,095                      | 1,161              | 3,415         | 19,0  |
| 9   | 0,342             | 1,276     | 3,56                | 0,109                      | 1,167              | 3,412         | 18,8  |

$$h_4 = 0,60 \text{ mm}; C_4 = 4,96 \cdot 10^{-9} \text{ Far.}$$

Juhtivuse mõõtmise pea eesmärgiks oli järelekatsuda, kas on õlisi võimalik kasutada elektrotehnikas isoleerõlidena, näit. transformatorites ja voolukatkestajates. Teiseks olid need andmed, nagu ülalpool juba nägime, veel tarvilikud DK arvutamise juures. Et näha, kuivõrt tarvitatud meetodi juures resultaadid olenevad tekkida või-vast polarisatsioonist, toon veel ühe katse andmed täielikult, millistes kõige selgemini peegeldub polar. mõju.

Frakts. Nr. 4, seeria II. Tabel Nr. 8.  
 $h_3 = 2,00$  mm.

| E     | $s_1$ | $s_2$ | $\bar{s}$ | $R_{\rho}$        |
|-------|-------|-------|-----------|-------------------|
| 5,00  | 81    | 80    | 80        | $3,63 \cdot 10^6$ |
| 7,50  | 122   | 122   | 122       | 3,62              |
| 10,00 | 163   | 163   | 163       | 3,61              |
| 12,00 | 196   | 196   | 196       | 3,60              |
| 25,00 | 407   | 411   | 409       | 3,59              |
|       |       |       |           | $3,61 \cdot 10^6$ |

$$\text{Eritakistus: } \varrho = \frac{q}{l} \cdot r = \frac{313,3}{0,200} \cdot 3,61 \cdot 10^6 = 0,566 \cdot 10^{10}$$

$$\text{Erijuhtivus: } \lambda = \frac{1}{\varrho} = 1,77 \cdot 10^{-10}$$

Nagu tabelist 8 näha, väheneb pinge suurendamisel 5 kordseks takistus ainult pisut üle 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, nii et polarisatsiooni mõju, milline suuremate pingete korral nullile lähineb, siin lubatav on kõrvale jätta.

Samal kujul on arvatatud ka kõigil teistel juhustel tabelis Nr. 9 esitatud arvud. Ainult mõnel juhusel on suurema takistuse korral mõõtmispiirkonda laiendatud kuni 40-ne voldini.

Tabel Nr. 9.

| № | I. seeria                |                         | II. seeria               |                         | III. seeria              |                         |
|---|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|   | $\varrho \cdot 10^{-10}$ | $\lambda \cdot 10^{10}$ | $\varrho \cdot 10^{-10}$ | $\lambda \cdot 10^{10}$ | $\varrho \cdot 10^{-10}$ | $\lambda \cdot 10^{10}$ |
| 1 | 0,949                    | 1,053                   | 0,653                    | 1,530                   | 0,676                    | 1,478                   |
| 2 | 1,290                    | 0,775                   | 0,734                    | 1,362                   | 0,786                    | 1,271                   |
| 3 | 1,470                    | 0,680                   | 1,192                    | 0,839                   | 1,178                    | 0,849                   |
| 4 | 0,674                    | 1,482                   | 0,566                    | 1,767                   | 0,656                    | 1,523                   |
| 5 | 0,396                    | 2,523                   | 0,380                    | 2,635                   | 0,387                    | 2,582                   |
| 6 | 0,256                    | 3,905                   | 0,251                    | 3,979                   | 0,260                    | 3,843                   |
| 7 | 0,750                    | 1,333                   | 0,356                    | 2,808                   | 0,328                    | 3,049                   |
| 8 | 1,080                    | 0,926                   | 0,665                    | 1,503                   | 0,638                    | 1,565                   |
| 9 | 0,723                    | 1,381                   | 0,525                    | 1,904                   | 0,557                    | 1,793                   |

Sellest tabelist on näha, et põlevkivi õlid korralikult raffineeritult oma isolatsioonivõime poolest tehnikas tarvitamiseks kõlblikud on, kui ainult teised omadused, nimelt madal leekpunkt ja pigistumine õhuga kokkupuutumisel takistusi ei tee.

Murdumisnäitaja n jaoks leidsin refraktomeetri abil järgmised suurused, millised igati on rea vaatluste keskmine:

Tabel Nr. 10.

| N <sup>o</sup> | n <sub>I</sub> | n <sub>II</sub> | n <sub>III</sub> | n <sub>I</sub> <sup>2</sup> |
|----------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------------------|
| 1              | 1,4716         | 1,4717          | 1,4731           | 2,1656                      |
| 2              | 1,4826         | 1,4829          | 1,4841           | 2,1981                      |
| 3              | 1,4841         | 1,4840          | 1,4862           | 2,2026                      |
| 4              | 1,4890         | 1,4890          | 1,4909           | 2,2171                      |
| 5              | 1,4947         | 1,4951          | 1,4968           | 2,2341                      |
| 6              | 1,5038         | 1,5049          | 1,5068           | 2,2614                      |
| 7              | 1,5124         | 1,5127          | 1,5139           | 2,2874                      |
| 8              | 1,5218         | 1,5223          | 1,5234           | 2,3159                      |
| 9              | 1,5292         | 1,5300          | 1,5311           | 2,3385                      |

Viimases veerus seisvad andmed on ülevaltliku võrdluse võimaldamiseks kujutatud ühes DK-ga joonisel 3, A.

Erikaaludeks sain Mohr-Westphal kaalude abil alamal seisvad andmed, mis kujutatud joon. 3, B. Iga arv on keskmine viiest mõõtmisest.

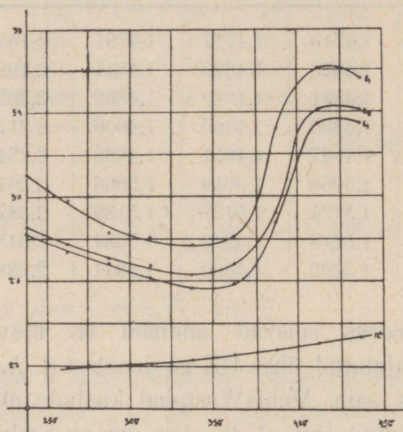
Tabel Nr. 11.

| Frakts.        |                       | I. seeria      |        | II. seeria     |        | III. seeria    |        |
|----------------|-----------------------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| N <sup>o</sup> | temp.                 | t <sup>o</sup> | d      | t <sup>o</sup> | d      | t <sup>o</sup> | d      |
| 1              | kuni 250 <sup>o</sup> | 22,5           | 0,8538 | 22,9           | 0,8541 | 19,5           | 0,8569 |
| 2              | 250—275               | 22,3           | 8698   | 24,0           | 8691   | 18,9           | 8725   |
| 3              | 275—300               | 23,2           | 8722   | 23,3           | 8720   | 18,8           | 8753   |
| 4              | 300—325               | 23,0           | 8815   | 23,2           | 8814   | 19,1           | 8844   |
| 5              | 325—350               | 23,3           | 8933   | 22,3           | 8937   | 19,5           | 8967   |
| 6              | 350—375               | 23,3           | 9130   | 22,3           | 9127   | 19,2           | 9147   |
| 7              | 375—400               | 23,0           | 9274   | 22,9           | 9260   | 21,0           | 9280   |
| 8              | 400—425               | 23,4           | 9423   | 22,5           | 9431   | 20,0           | 9448   |
| 9              | 425—450               | 23,3           | 9559   | 22,2           | 9563   | 20,0           | 9582   |

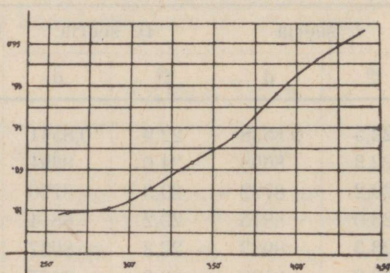
### Järeldused.

Vaadeldes lähemalt joon. 3, A. paistab kohe silma peale DK joone väga korrapäratu käigu veel võrdlemisi suur üksikutele katseseeriatele vastavate kõverate lahkuminek üksteisest, kusjuures kõverjoonte kuju siiski alati pea samaks jääb — on ainult paralleelselt edasi nihutatud. Et see lahkuminek kaugemale üle mõõtmisvea võimalikkude piiride ulatub, siis tuleb selle põhjust otsida õlides enestes. Kui

tähelepanna, et ka juhtivus väga samakujuliselt muutunud on, kusjuures ka siin III. seeria andmed I. ja II. omade vahele langevad, ning arvestada erikaalu ja murdumisnäitaja kasvamisega ajajooksul, on selge, et õlid oma koosseisu poolest katsete vältusel muutunud on. Eeldades ainult õlide niiskumist, ei saa me äraseletada seda,



A



B

Joon. 3.

et III-da seeria andmed I. ja II. omade vahel asuvad. Kuigi juhtivuse juures seda vast veel nii võiks seletada, et muutumine tõe-poolest oli küll kogu aeg ühesihiline,  $\lambda$  — kasvas ajajooksul, kuid näiv väike kahanemine viimases seerias on tingitud temperatuurist, milline III-da seeria mõõtmiste ajal oli umb.  $3,5^{\circ}$  madalam, kui teistel juhustel, siis ei saa ju väikese temperatuuri langusega ometi seletada DK tuntavat suurenemist, seda enam et põlevkivi õlidel, nende suurt viskoossuse olenevust temperatuurist arvesse võttes, tagapool

näidatud põhjustel oodata on koguni positiivset DK temper. koeffitsienti. Näib, et õlid uurimise aja kestvusel oma muutumises on jõudnud kohani, kus DK on miinimum, milleni jõudmiseks ära kulub 40 päeva seismist pimedas kohas peale raffineerimist, ja siit edasi sünnib juba DK kasvamine. Huvitav oleks sarnast muutumist pikema aja (vähemalt ühe aasta) vältusel uurida.

Erikaalude ja murdumisnäitajate muutumise jälgimisel peame tähelepanema, et tabelites Nr. 10 ja 11 toodud andmed III-da seeria jaoks otsekohest võrdlemist kvantitatiivselt ei luba, sest siin võib temperatuuri muutuse mõju juba kaugelt ületada õlide eneste muutumise. Vaatlusandmete redutseerimist polnud võimalik läbi viia, sest ei ole teada olenevused temperatuurist. Kuna pea igal edaspidisel uurimisel samal alal ikkagi jälle tegemist tuleb erikaalude ja murdumisnäitajate redutseerimisvajadusega teatud temperatuurile, siis oleks väga tarvilik selleks erilisi uurimusi korraldada.

Teiseks asjaoluks, mis joon. 3 silma paistab, on see, et kõigil kõveratel nende korrapäratused üksteisele enamvähem vastavad on. Kõverjoonte korrapäratuse üheks põhjuseks võib pidada seda, et kõik õli fraktsioonid ükshaaval puhastatud said ja mitte üheskoos enne fraktsioneerimist. Teiseks põhjuseks on mitte ühesuurused ajavahed üksikute katsete vahel, millede jooksul õli iga-kord isepalju muutuda suutis. Niipalju võib siiski näha et fraktsioonidel 300° läheduses DK kõige väiksem on, kuna kõrgemate juures kiiresti, ja madalamate juures vähe suureneb. Kuna murdumisnäitaja kogu aeg pea ühtlaselt kasvab, siis peab oletama, et meil madalamate fraktsioonide juures DK mõõtmispiirkonnas tegemist on dielektriliste anomaaliatega.

## II.

### Positiivne DK temperatuurkoeffitsient.

Praegu üldtunnustatud Debye<sup>1)</sup> diipolteooria järele koosneb elektrivälja E mõjul dielektrikumis tekkinud polarisatsioon P kahest osast: elastselt seotud elektroonide väljaviimisel oma asukohast tekkinud polaarsusest, mis ei olene temperatuurist, ja dielektrikumis valmilt leiduvate elektri diipolide pöördumisest kindlasse asendisse, mille mõju oleneb temperatuurist. Seega on meil dielektrilise polarisatsiooni juures tegemist massi osakeste teatud ruumilise korraldamisega välise elektrivälja mõjul. Moleküllide soojusliikumine aga

1) P. Debye. Phys. Zs. 13, 1912.

püüab neid endisesse kaotilisse asendisse tagasi viia. Kui nüüd mõjuv el.-väli püsiv on, siis tekib staatiline tasakaal ja saame kindla DK väärtuse aine jaoks. Kui aga mõjuv el.-väli kiiresti vahelduv on, siis peavad ka diipolid oma sihti sama kiiresti muutma — võnkuma — ja selles ei sega neid enam üksi molekulide soojusliikumine, vaid ka dielektrikumi sisehõõrumine. Sellelt seisukohalt käsitas küsimust esimesena F ü r t h<sup>1)</sup>, kes mitme orgaanilise aine DK olenevust kontsentratsioonist, õigem — viskoossusest uurib. Ka enne F ü r t h'i on nii mitmedki uurinud lahude, peasjalikult elektrolüütide DK olenevust kontsentratsioonist, kuid need katsed olid tehtud kõik teise sihiga — peasjalikult nn. segamisseaduste leidmiseks. Sealjuures ei pööranud keegi tähelepanu asjaolule, et lahude DK ei olene mitte üksi tarvitatud ainete DK-st, vaid väga suurel määral just sellest, kuidas muutub lahustumise tagajärjel viskoossus.

Mina leian, et DK olenevusega viskoossusest on kergesti seletatav sagedasti ilmsikstulev positiivne temperatuurkoeffitsient DK jaoks, millise seletamiseks kusagil kirjanduses midagi kindlat ei leidu. Temperatuuri kasvamisega suureneb ka molekulide soojusliikumine, mis polarisatsiooni ja seega ka DK-d vähendab. Teisest küljest väheneb aga ka viskoossus, mõnedel ainetel isegi väga kiiresti, temperatuuri kasvamisega ja see kergendab diipolide võnkumist ning suurendab seega DK-d. Kui nüüd soojusliikumise takistav mõju ületab viskoossuse vähenemisest tekkinud mõju, siis kahaneb DK temperatuuri tõusuga. Kui aga soojusliikumise suurenemise mõju viskoossuse vähenemise mõjust suuruse poolest maha jääb, siis saamegi nähtuse, et temperatuuri tõstmise peale vaatamata DK suureneb.

### Kokkuvõte.

Käesoleva töö tagajärjed võib lühidalt kokkuvõtta järgmiselt:

- A. Teoreetiliselt: Positiivne temperatuurkoeffitsient DK jaoks on viskoossuse muutumise tagajärg.
- B. Katseliselt:
  1. On näidatud, et teatavatel juhustel ka väga lihtsate abinõudega on võimalik küllaldase täpsusega määrata DK.
  2. On arvuliselt leitud Kohtla põlevkivi neutraalõli üheksa fraktsiooni jaoks: a) dielektri jääv, b) juhtivus, c) erikaal, d) murdumisnäitaja.

1) R. F ü r t h, Ann. d. Ph. 70, 63, 1923.

3. Oma isolatsioonivõime poolest on Kohtla põlevkivi neutraalõlid kõlbulikud tehnikas isoleerõlidena tarvitamiseks.
4. Põlevkivi neutraalõlid, mis küllastamata ühendeid sisaldavad, muutuvad suuresti dielektriliste omaduste poolest ajajooksul.
5. Põlevkivi neutraalõlide DK omab õlide 40 päevalise seismise järele peale nende valmistamist minimaalse väärtuse.

### Dielektrizitätskonstanten der neutralen Brennschieferöle.

#### Zusammenfassung.

Es wurde zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante der Öle eine aus einfachen Teilen zusammengesetzte Brücke in Schaltung nach Abb. 1, A benutzt. Die Widerstände  $r_1$  und  $r_2$  sind Präzisionsrheostate von Hartmann & Braun,  $C_3$  u.  $C_4$  — ein nach Prof. Wilip<sup>1)</sup> konstruierter Spezialkondensator für Flüssigkeiten, T — ein hochohmiges empfindliches Telephon und I — ein kleiner Saitensummer von Telefunken, welcher auf die Frequenz 830 Hertz eingestellt wurde. Diese Anordnung gestattete, wie es nach theoretischen und gründlichen experimentellen Untersuchungen sich erwies, den Gebrauch einfacher Gleichungen (3) und (4), wobei die erste für den Fall eines mit Öl gefüllten Kondensators  $C'_3$  und die zweite für leere Kondensatoren zu gebrauchen ist.  $r_1$  u.  $r_2$  sind die ohmschen Widerstände der entsprechenden Rheostate,  $r_3$  — ein scheinbarer Parallelwiderstand des mit Öl gefüllten Kondensators  $C'_3$ .

Untersucht wurden 9 Fraktionen des neutralen estländischen Brennschieferöles. Als Ausgangsmaterial diente das Rohöl der Staatlichen Brennschieferindustrie in Kohtla, welches von Phenolen befreit und im Vakuum (20 mm Hg) fraktioniert wurde — erste Fraktion bis 250° C und weiter nach je 25° bis zu 450° C.

Messungen sind in drei gleichen Serien durchgeführt worden. Zuerst wurde die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  mit der oben beschriebenen Brücke zehnmal bestimmt, wobei die Genauigkeit etwa 2<sup>0</sup>/<sub>100</sub> beträgt. Die Resultate sind in den Tabellen Nr. 5—7 zusammengefasst und in der Abb. 3, A graphisch dargestellt. Ferner wurde die spezifische Leitfähigkeit  $\lambda$  mit Gleichstrom und Galvanometer in der Schaltung nach Abb. 1, C bestimmt. Die Resultate sind zusammengestellt in der Tabelle Nr. 9. Weiter wurde mit der Mohr-Westphal'schen Wage die Dichte  $d$  (Tabelle Nr 11 und

1) J. Wilip: Zs. f. phys. u. chem. Unterricht. III, 117, 1927.

Abb. 3, B) und mit dem Abbe'schen Refraktometer der Brechungsindex  $n$  (Tab. Nr. 10 u. Abb. 3, A) für die Spektrallinie D bestimmt.

Folgerungen aus diesen Untersuchungen:

1. Ist gezeigt worden, dass in bestimmten Fällen mit ganz einfachen Mitteln die Dielektrizitätskonstante mit genügender Genauigkeit sich bestimmen lässt.

2. Für neun Fraktionen der neutralen Brennschieferöle aus Kohtla sind die Zahlenwerte für a) Diel.-konstante, b) Leitfähigkeit, c) Dichte und d) Brechungsindex gefunden worden.

3. Ihrem Isolationsvermögen nach sind die neutralen Brennschieferöle aus Kohtla geeignet für den Gebrauch in der Technik als Isolationsöle.

4. Neutrale Brennschieferöle, welche ungesättigte Verbindungen enthalten, verändern beträchtlich mit der Zeit ihre dielektrischen Eigenschaften.

5. Dielektrizitätskonstanten der neutralen Brennschieferöle erreichen nach 40 Tagen nach der Herstellung der Öle den minimalen Wert.

Der positive Temperaturkoeffizient für die Dielektrizitätskonstante.

Nach der jetzt allgemein gültigen Dipoltheorie besteht die unter dem Einfluss des äusseren elektrischen Feldes hervorgerufene Polarisation aus zwei Teilen: aus Polarität, welche entsteht durch Herausschleudern der elastisch verbundenen Elektronen aus ihrer neutralen Lage, und welche unabhängig ist von der Temperatur, und aus dem Orientieren der fertigen elektrischen Dipole nach bestimmter Richtung, welches abhängig ist von der Temperatur. So haben wir bei der dielektrischen Polarisation es mit einem räumlichen Ordnen der Massenteilchen unter der Einwirkung der äusseren elektrischen Kraft zu tun. Diesem Bestreben wirkt aber entgegen die Wärmebewegung der Moleküle, die die Massenteilchen wieder in ihren ursprünglichen chaotischen Zustand zurückzuführen sucht. Wenn jetzt das einwirkende elektrische Feld beständig ist, so entwickelt sich ein statisches Gleichgewicht und wir erhalten einen bestimmten Wert für DK, welcher mit der Erhöhung der Temperatur infolge der Vergrösserung der Wärmebewegung abnimmt. Wenn man aber es mit einem hochfrequenten Wechselfeld zu tun hat, so müssen die Dipole ihre Richtung ebenso schnell wechseln. Sie müssen schwin-

gen. Dabei verhindert sie nicht nur die Wärmebewegung, sondern auch die innere Reibung (Viskosität) des Dielektrikums. Ich finde, dass mit der Abhängigkeit der DK von der Viskosität der oft auftretende positive Temperaturkoeffizient von DK sich leicht erklären lässt. Mit der Erhöhung der Temperatur wächst die Wärmebewegung der Moleküle, welche die Polarisation und damit auch DK verkleinert. Gleichzeitig vermindert sich aber auch die Viskosität, bei einigen Substanzen sogar sehr schnell, und dies erleichtert das Schwingen der Dipole und vergrößert damit die DK. Wenn jetzt der Einfluss der Viskositätsänderung den Einfluss der verminderten Wärmebewegung überwiegt, so vergrößert sich die DK mit der Temperaturerhöhung, und wir haben einen positiven Temperaturkoeffizienten. Im umgekehrten Falle wird dieser Koeffizient, wie gewöhnlich, negativ.

---

