

IL-165.76

101.2.14

---

B. M. TAREJEV

---

ELEKTRI-  
MATERJALID

---

---

*RJK*

„PEDAGOOGILINE  
KIRJANDUS“  
TALLINN  
1947

•



# ELEKTRIMATERJALID

B. M. TAREJEVI ÜLDISEL TOIMETUSEL

Kohustuslik kontrollieksemplar

*RK*

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“  
TALLINN 1947



43031

A-16576

## SISSEJUHATUS.

Elektrimasinate, -aparaatide, elektriliinide ja teiste seadmete valmistamiseks kasutatakse mitmesuguseid materjale. Elektrotehniliste materjalide all selle sõna kitsamas mõttes mõistetakse materjale, millel on eriomadusi elektri- või magnetvälja suhtes, s. o. juhtmematerjale, elektri-isolatsiooni ja magnetilisi materjale. Nende materjalide rühmade vaatlemine on käesoleva raamatu ülesandeks. Puhtkonstruktiivsed materjalid, millede suhtes elektrilised ja magnetilised omadused ei ole mõõduandvad, määrdeained ja muud elektrotehnikas abimaterjalidena kasutatavad ained ei kuulu siin käsitlemisele.

Elektrotehniliste materjalide omaduste tundmine on elektrikule olulise tähtsusega. Juhtme-, elektri-isolatsiooni ja magnetiliste materjalide eriomadused tingivad nende valiku teatud otstarbeks kaasaegse elektrotehnika käsutuses olevate materjalide suurest hulgast. Õige valikuga on võimalik tugevasti suurendada masinate ja teiste seadeldiste kasukraadi, vähendada nende mõõteid ja kaalu, alandada nende valmistamise ja eksploatatsiooni kulusid, tõsta nende töötamiskindlust. Terve rea kaasaegsete masinate, aparaatide ja kaablite ehitamine (eriti kõrgete pingete, kõrgete sageduste ja suurte võimsuste puhul) ei oleks mõeldav ilma viimasel ajal väljatöötatud erimaterjalide kasutamiseta.

Materjalide omaduste tundmine võimaldab määrata kõige õigema ja produktiivsema töötlemisviisi võimalikult täpsemate mõõdetega ja väikseima omahinnaga esemete saamiseks. Kasutamisel võivad materjalide omadused aja jooksul muutuda, sellepärast on tarvis teada neid tingimusi, mille juures materjali häireteta töö on pikema aja jooksul tagatud, samuti on vaja tunda tegureid, mis kutsuvad välja materjalide kiire riknemise. Tähtsad on ka materjali kontrollimise võtted töötamisel ja materjali nõrgenenud kvaliteedi taastamise võtted, juhul kui see on võimalik.

Vähe on sellest, et omada kõrgekvaliteedilisi materjale, tähtis on, et need materjalid oleksid seejuures odavad ega nõuaks enese valmistamiseks teravalt defitsiitseid või isegi imporditavaid tooraineid. Ei tule kasutada kalleid kõrgeväärtuslikke materjale, kui võib ilma seadeldise õiget ja kindlat tööd kahjustamata läbi saada odavamate ja levinumate materjalidega — asendajatega.

Materjalide vajalik kvaliteet määratakse kindlaks vastavate standardidega, normidega ja tehniliste tingimustega. Nende standardide ja

materjalide kvaliteedi ning standardile vastavuse kindlaksmääramiseks teostatavate proovimisviiside tundmine on hädavajalik. Nõukogude plaanimajanduse tingimustes omab standard võitluses kvaliteedi eest suurt tähtsust.

Elektrotehnika on vastutavamaid ja juhtivamaid tehnikaharusid. Elektrotehniliste seadmete kvaliteedile ja töötamiskindlusele esitatavad kõrged nõudmised tingivad erilise tähelepanu osutamist elektrimaterjalide standardimisele, asendatavusele, odavamaks tegemisele jne. Elektrotehnilistes ja elektrotehniliste seadmetega varustatud teistes tööstusharudes võimsalt arenev stahhaanovlik liikumine esitab elektrimaterjalidele veelgi kõrgemaid nõudmisi. Käesoleva raamatu ülesandeks on aidata lugejal teadlikult orienteeruda neis küsimustes, mis on seotud stahhaanovliku liikumise poolt elektrimaterjalidele esitatavate nõudmistega.

Raamat on koostatud autorite kollektiivi — Moskva V. M. Molotovi nimelise Energeetilise Instituudi ja Üleliidulise Elektrotehnilise Instituudi teaduslike töötajate poolt.

Üksikud peatükid ja paragrahvid on koostatud järgmiste autorite poolt:

V. A. Bajev	— X peatükk (välja arvatud § 49 ja 50).
N. G. Drozdov	— VIII ja XII peatükk.
I. I. Ivanov	— VII peatükk.
V. D. Lebedev	— XV peatükk (välja arvatud § 75).
M. I. Mantrov	— IX peatükk.
V. A. Privezentsev	— II peatükk ja § 75.
G. I. Rabtšinskaja	— XI peatükk.
B. M. Tarejev	— V, VI, XIII peatükk ja § 15 ja 50.
M. A. Trahtenberg	— XIV peatükk ja § 49.
P. P. Hramov	— I peatükk.
V. P. Tšeranev	— III peatükk (välja arvatud § 15).
S. A. Jamanov	— IV peatükk.

Raamatus on toodud andmed rea uute materjalide ja standardide kohta, mida seni on õppekirjanduses vähe käsitletud.

B. T a r e j e v.

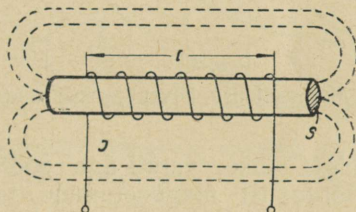
I peatükk.

## MAGNETILISED MATERJALID.

### 1. Üldmõisted.

Magnetiliste materjalide tähtsus on kaasaegses elektrotehnikas väga suur. Neid materjale kasutatakse magnetvoo juhtmetena elektrimasinate ja transformatorites, elektromagnetite ja releede südamikudeks, mõõteriistade permanentmagnetiteks jne.

Magnetilistele materjalidele, vastavalt nende kasutamisalale, esitatakse mitmesuguseid nõudeid, mis väljenduvad kindlais magnetilise iseloomustuse näitavutes. Vaatleme selle iseloomustuse tähtsamaid osi.



Joon. 1. Pooli magnetväli.

Olgu meil  $l$  cm pikkusega pool, keerdude arvuga  $w$ , mida läbib  $I$  ampri tugevune alalisvool (joon. 1). Poolis tekib magnetväli. Kui pooli pikkus võrreldes läbimõõduga on suur, siis võib magnetilist väljatugevust määrata järgmise valemiga:

$$H = \frac{1,256 \cdot Iw}{l} \text{ örsteedi,} \quad (1)$$

kus  $Iw$  on nn. amperkeerud.

Pooli südamikus, mille ristlõige on  $S$  cm<sup>2</sup>, tekib magnetiline induksioon:

$$B = \mu \cdot H \text{ gaussi.} \quad (2)$$

Pooli magnetvoog on:

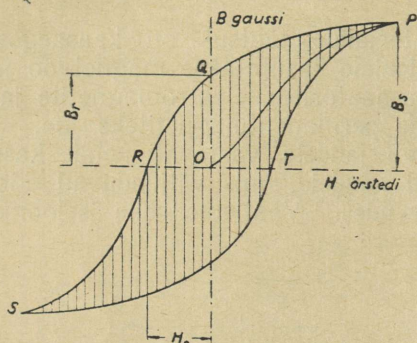
$$\Phi = B \cdot S = \mu \cdot H \cdot S \text{ maksvelli.} \quad (3)$$

On selge, et magnetilise induksiooni ja magnetvoo väärtused on antud magnetilise väljatugevuse juures seda suuremad, mida suurem

on südamikujali iseloomustuse näitarv  $\mu$ . Seda näitarvu nime-tatakse magnetiliseks läbitavuseks.

Kõrge  $\mu$  suurusega materjale nimetatakse magnetilisteks või ferromagnetilisteks materjalideks. On saadud mater-jale maksimaalse läbitavusega 100 000.

Ferromagnetiliste materjalide juures  $\mu$  ei kujuta enesest püsivat suurust. Kui suurendada voolugevust  $I$  ja sellega koos ka välja-tugevust  $H$ , siis suureneb ka magnetiline induksioon  $B$ .  $B$  olenevus  $H$ -st, nn. magneetamise kõver  $OP$  on näidatud joon. 2.



Joon. 2. Magneetamise kõver ja hüstereesi silmus.

Kõvera tõus on algul väike, varsti aga pöördub ta järsult üles, pärast teiskordset pöördumist magneetumine toimub järjest aegla-semalt, kuni küllaldase väljatugevuse juures kõver suundub peaaegu horisontaalselt.

Antud materjali maksimaalset magnetilist induksiooni, mis vas-tab punktile  $P$ , nimetatakse küllastusinduksiooniks ja märgitakse  $B_s$ . Ka see suurus on materjali iseloomustuse seisukohalt tähtis, ta kõigub mitmesuguste materjalide juures suurtes piirides.

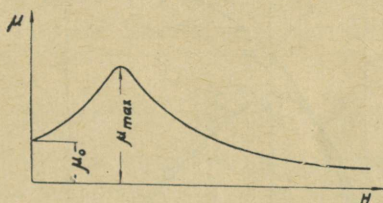
Kui vähendada magneetivat voolugevust ja väljatugevust, siis pooli magnetväljas asuvas südamikus hakkab vähenema ka mag-netiline induksioon. See vähenemine ei toimu kõvera  $PO$ , vaid kõvera  $PQ$  järgi, mis asub magneetamise kõverast kõrgemal. Seda nähtust nimetatakse hüstereesiks. Momendil, kui magneetimisvool ja väljatugevus muutuvad nulliks (punkt  $Q$  joon. 2), induksioon mater-jalis ei ole veel null, sinna on jäänud nn. jääkinduksioon  $B_r$ .

Jääkinduksiooni hävitamiseks on tarvis materjali magneetida vastupidises suunas. Seda vastupidist suunda loeme tingimisi negatiiv-seks ja sellisena tähistame ta ka joonisel.

Suurendades väljatugevust negatiivses suunas, jõuame momen-  
dini, kus induksioon materjalis võrdub nulliga (punkt R joon. 2).  
Negatiivse väljatugevuse suurust, mis on vajalik induksiooni vähen-  
damiseks nullini, nimetatakse koertsitiivjõuks ja märgi-  
takse  $H_c$ . Suurendades negatiivse suunaga väljatugevust, jõuame  
jällegi küllastuseni. Korrates endist protsessi, s. o. vähendades välja-  
tugevust ja pärast suurendades teda positiivses suunas, saame kin-  
nise kõvera *PQRSTP* — hüstereesi silmuse.

Materjali ümbermagnetamiseks ühe tsükli jooksul kulutatud  
energia on teatud mastaabis võrdne hüstereesi silmuse pindalaga  
(joon. 2, viirutatud). Ta on seda suurem, mida laiem on hüstereesi  
silmsus, s. t. mida suurem on koertsitiivjõud ja antud materjali jääk-  
induksioon.

Vahelduva magnetvälja mõjul indutseeruvad südamikus veel  
elektromotoorsed jõud, mis kutsuvad esile nn. pöörise ehk Foucault-



Joon. 3. Magnetilise läbitavuse olenevus väljatugevusest.

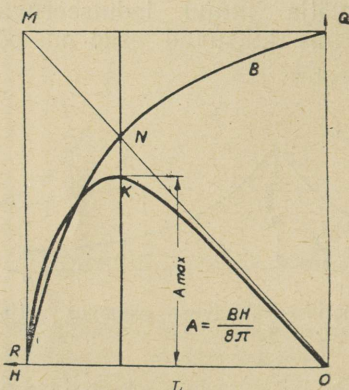
voole. Kuna pöörisvoolud soojendavad raudsüdamikku, siis on nad  
vahelduvas magnetväljas sama kahjulikud nagu hüsterees, mõlema  
peale kulub teatud osa energiat. Pöörisvoolude vähendamiseks püü-  
takse kasutada suure elektrilise takistusega magnetilisi materjale ja  
peale selle koostatakse südamikud õhukestest, elektriliselt üksteisest  
isoleeritud lehtedest.

Magneetiva vahelduvvoolu sageduse ja väljatugevuse tõusuga  
tõuseb ka hüstereesiks ja pöörisvooluks kaotsiminev võimsus. Selge  
on, et magneetimisel esineva induksiooni väärtuse vähenemisel vähe-  
nevad ka kaod. Praktikas kasutatakse vahelduvas magnetväljas  
töötavate materjalide iseloomustuseks võimsuskao suurust hüstereesi  
ja pöörisvoolude tõttu sageduse 50 Hz ja normaaltemperatuuri (20° C)  
juures. Seda suurust, arvestatult materjali 1 kg kohta, märgitakse  
tähega  $V$ , mille indeksiks on arv, mis näitab maksimaalset saavuta-  
tavat induksiooni kilogaussides. Nii näiteks  $V_5$  tähendab võimsus-  
kadu maksimaalse induksiooni puhul  $B = 5000$  gaussi.

Praktikas esinevad kõige sagedamini  $V_{10}$  ja  $V_{15}$ .

Magneetimiskõverast (kõver  $OP$  joon. 2) saame hõlpsalt  $\mu$  suu-  
ruse olenevalt  $H$ -st. Selleks jagame  $B$  väärtuse vastava  $H$  väärtusega  
(joon. 3). Eraldi märgitakse  $\mu_0$ , mis vastab  $H=0$  (nn. magneti-  
line algläbitavus), ja  $\mu_{\max}$  — maksimaalne magne-  
tiline läbitavus.

Permanentmagnetite materjali kvaliteedi hindamiseks kasutatakse  
hüstereesi silmuse joonlõiku  $QR$  (joon. 2), nn. lahtimagneeti-  
mise kõverat. Jääkinduksiooni  $B_r$  ja koertsitiivjõu  $H_c$  vää-  
rustest üksi on vähe magneti materjali hindamiseks, kuna magneti  
tegelik jääkinduksioon on alati väiksem kui  $B_r$  ja onelab magneti  
kujust. Täielikuma hinnangu saame siis, kui määrame maksimaalse



Joon. 4. Lahtimagneetamise kõver ja magnetilise energia kõver.

magnetilise energia väärtuse permanentmagneti mahuüksuse kohta.  
Igasuguse  $H$  ja  $B$  paari kohta joonlõigul  $QR$  on see väärtus  $A = \frac{B \cdot H}{8 \cdot \pi}$   
ergi/cm<sup>3</sup>. Kui me märgime  $A = \frac{B \cdot H}{8 \cdot \pi}$  väärtused graafikusse funktsi-  
oonina  $H$  väärtustest kõvera  $QR$  üksikutes punktides, siis saame  
kõvera  $OKR$  (joon. 4). Selge on, et  $H=0$  puhul (punkt  $O$ )  $A=0$   
ja samuti  $H=H_c$  puhul on  $A=0$ , kuna siis  $B=0$ . Energia suuruse  
kõver saavutab maksimumi punktis  $K$ , mis on võrdne  
 $A_{\max} = \left(\frac{B \cdot H}{8 \cdot \pi}\right)_{\max} = KL$ . See suurus on uueks materjali iseloo-  
mustuse näitavuks, lisaks suurustele  $H_c$  ja  $B_r$ .

Punkti  $K$  asukoha leidmiseks ei ole vajadust ehitada kogu kõve-  
rat  $OKR$ . Siin võtame appi järgmise lihtsa võtte: ehitame püstküliku

*OQMR* ja joonestame diagonaali *MO*. Selle diagonaali ristumispunktile *N* kõveraga *QR* vastavadki  $H=OL$  ja  $B=LN$ , mis annavad korrutise  $B \cdot H$  maksimaalse väärtuse.

Magnetiliste materjalide hulka kuuluvad raud, nikkel, koobalt ja gadoliinium, nende metallide sulamid üksteisega ja mitmesuguste ligatuuridega, samuti ka mõned mittemagnetiliste metallide sulamid.

Elektrotehnikas praktiliselt kasutatavaid magnetilisi materjale võib jaotada kahte põhirühma:

1) Magnetiliselt pehmed materjalid, mida iseloomustavad suured  $\mu$  suurused ja väikesed  $H_c$  ja  $V$  suurused (kitsas hüstereesi silmus). Need materjalid magneetuvad kergesti, sama kergesti ka kaotavad magnetilisi omadusi. Neid kasutatakse mitmesugusteks magnetjuhtideks, peamiselt nendeks, mis töötavad vahelduvas magnetväljas.

2) Magnetiliselt kõvad materjalid, mida iseloomustavad suured  $H_c$  väärtused (lai hüstereesi silmus); nad on raskelt lahtimagneeditavad ja neid kasutatakse permanentmagnetite valmistamiseks.

## 2. Magnetiliselt pehmed materjalid.

a) **Raud.** Raua harilikke turusorte kasutatakse magnetiliste materjalidena harva, kuna mitmesugused rauas sisalduvad lisandid halvendavad magnetilisi omadusi.

Puhtaim raud saadakse elektrolüütilisel teel. Elektrolüütilise raua ümbersulatamisel ja vaakuumis lõõmutamisel võib saada materjali, millel on  $H_c = 0,2$  ja  $\mu_{\max} = 15\,000$ .

Viimasel ajal toimuvad edukad katsed nn. karbonüüldraua saamiseks. Pulbriline raud saadakse rauakarbonüüli läbimisel vastavast kambrist, mille temperatuur on  $250^\circ$ . Sellele pulbrile antakse pressimise teel magnetile vajalik kuju. Selle raua magnetilised omadused on järgmised: maksimaalne läbitavus  $\mu_{\max} = 21\,500$ , jääkinduksioon  $B_r = 6\,000$ , koertsitiivjõud  $H_c = 0,08$ , algläbitavus  $\mu_0 = 3\,300$ .

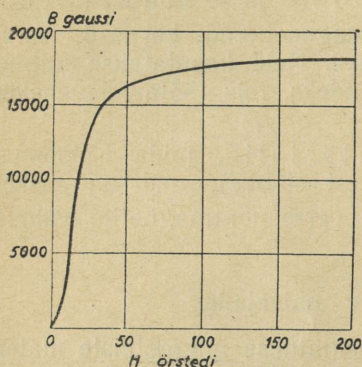
Nii elektrolüütiline kui ka karbonüüldraud on kallid ja neid kasutatakse harva. Puhtaim tööstuslik raud sisaldab umbes 0,01% süsinikku („Armko“-raud), tema magneetamise kõver on toodud joon. 5 ja hüstereesi silmus joon. 18-b.

Moskva tehas „Serp i Molot“ valmistab „Armko“-rauda koostisega: süsinikku 0,025%, mangaani 0,12%, fosforit 0,08%, niklit 0,02%, vaske 0,06%, räni — jäljed. Selle raua magnetilised omadused on:

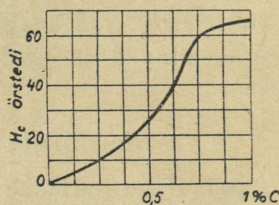
$\mu_{\text{max}} = 2\,500 - 3\,000$ ,  $H_c = 1,0 - 1,35$ ,  $B_r = 10\,000$ ,  $B_s = 18\,000$ ;  
eritakistus on 0,11.

Kõik puhta raua liigid on võrdlemisi väikese elektrilise eritakistusega (vt. II ja III peatükk), mistõttu pöörisvoolude võimsus on nende juures üsna suur ja praktiliselt võib neid kasutada ainult alalisvoolu magnetite valmistamiseks. See muudugi on nende materjalide suurimaks puuduseks.

b) **Elektrotehniline lehtteras.** Levinenumaks magnetiliselt pehmeks materjaliks, mida kasutatakse tugevvoolu-teenikas kõrge induktiooni



Joon. 5. „Armco“-raua magnetimise kõver.



Joon. 6. Koertsitiivjõu  $H_c$  olenevus süsinikusaldusest terases.

ja madala sageduse puhul, on spetsiaal-lehtteras, nn. elektrotehniline teras. Sel terasel on  $\mu$  ja  $B_{\text{max}}$  väärtused suured ning  $V$  ja  $H$  väärtused väikesed, samaaegselt on ta suure elektrilise eritakistusega.

Enne Oktoobrirevolutsiooni veeti elektrotehnilist lehtterast Venemaale välismaalt sisse. Sverdlovskis 1914. a. alustatud elektrotehnilise lehtterase tootmine arendati välja alles pärast revolutsiooni.

Iga teras kujutab enesest raua sulamit mitmesuguste lisanditega. Magnetiliste omaduste seisukohalt kõige kahjulikumaks lisandiks on terases alati esinev süsinik. Tema juuresolu tõstab koertsitiivjõudu  $H_c$  ja kadude võimsust  $V$  ja vähendab magnetilist läbitavust  $\mu$  (joon. 6).

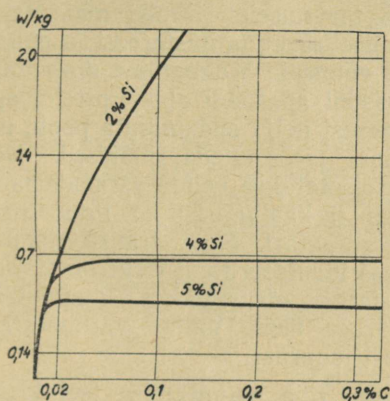
Kahjulike lisandite hulka kuuluvad ka väävel S, hapnik O ja fosfor P.

Elektrotehnilise lehtterase valmistamisel harilikult lepitakse vähese süsinikusaldusega, kuid katsutakse kompenseerida tema kahjulikku

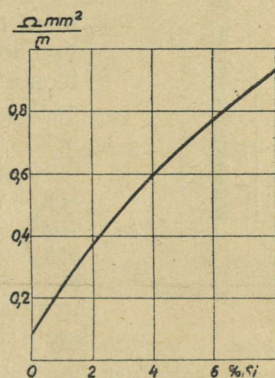
mõju räni juurdelisamisega. Joon. 7 on näidatud kadude võimsuse olenevus süsinikust mitmesuguste ränisisalduste juures (2, 4, 5% Si).

Gumliichi uurimuste järgi räni ei mõjuta terase magnetilisi omadusi mitte otseselt, vaid räni mõjul eraldub raua ja süsiniku sulamist süsinik grafiidi näol välja. Selle juures omandab teras jämedateralise struktuuri ja head magnetilised omadused.

Räni lisand tõstab ka terase elektrilist takistust (joon. 8). Koos nende positiivsete mõjudega suurendab ränisisaldus tugevasti terase kõvadust ja materjal muutub hapraks. Peale selle suurendab räni väikeste ja keskmiste väljatugevuste juures  $\mu$  väärtust, väga suurte väljatugevuste juures aga vähendab ta veidi  $\mu$  ja  $B_{max}$  väärtusi.



Joon. 7. Süsiniku ja räni mõju lehtterase kadude võimsusele.



Joon. 8. Räni mõju terase elektrilisele takistusele.

Elektrotehnilise lehtterase sulatamine toimub kas martäänahjus või elektriahjus. Martäänahjus saadakse soojust sulatamisruumi juhitava gaasi põlemisel, mida juhitakse ahju koos põlemiseks vajaliku õhuga. Järelikult satub hapnikku sulatusprotsessi jooksul ka terasesse.

Elektriahjudes saadakse sulatusprotsessiks vajalikku soojust voltakaarelt; hapnik võib ahju sattuda ainult maagist. Seetõttu saadakse elektriahjust sulatusprotsessi õige kulgemise puhul kõrgema kvaliteediga terast.

Elektrotehnilise lehtterase omadused ja sortiment määratakse kindlaks üleliidulise standardiga OCT 6391.

Sortimendis on ette nähtud järgmised elektrotehnilise lehtterase margid: EC1, EC1A, EC1AA, EC2A, EC3A, EC4, EC4A, EC4AA. Täht

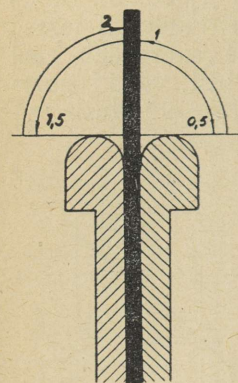
E tähendab markeerimisel — „elektrotehniline teras”<sup>1)</sup>, C — märgib ränisisaldust, arv annab ränisisalduse %, täht A märgib terase kõrgendatud kvaliteeti, AA — eriti kõrgendatud kvaliteeti.

1—3% Si sisaldusega terast kasutatakse mitmesuguste elektrimasinate juures, 4% Si sisaldusega terast transformaatoreite südamikeks.

Teraslehtede paksuseks on 0,35 mm või 0,5 mm; õhemat terast, mis annab väiksema pöörivoolude kadude võimsuse, kasutatakse vastutavamatel juhtudel. Erandina valmistatakse terast paksusega 1 mm (ainult mark EC1A).

Lehtede mõõted on: pikkus — 2 ja 1,5 m, laius — 1 ja 0,75 m.

Enne terase tarvitusele võtmist määratakse tema magneetamise kõver ja hüstereesi ja pöörivoolude kadude võimsus. Magnetiline proovimine teostatakse Epsteini aparadi abil. Epsteini aparaat kujutab enesest nelja südamikuta pooli, millel on primaar- ja sekundaarmähised. Nendes poolidesse asetatakse neli terasribade pakki, igaüks 50 × 3 cm ja kaaluga 2,5 kg. Poolid moodustavad transformaatore. Selle transformaatore sekundaarmähises indutseeritava elektromotoorse jõu suuruse järgi otsustatakse magnetilise induktsiooni suuruse üle. Mõõtes vattmeetriga kadusid, leitakse V suurus.



Joon. 9. Elektrotehnilise lehtterase rabe-duse kontroll.

Terase rabadust kontrollitakse tema riba painutamise teel kruus-tangide vahel, mille mokaade ümaruse raadius on 5 mm. Painutused teostatakse joonisel 9 näidatud järjekorras; iga painutus keskasendist 90° alla ühele poole ja tagasi algasendisse loetakse üheks painutuseks (numbrid noolte lõppudel näitavad painutuste järjekorda). Väikseim painutuste arv enne murdumist võib olla: terasel EC1 ja EC1A, kui lehe paksus on 0,5 mm — 10, EC1AA 0,5 mm — 9, EC2A 0,5 mm — 7, EC3A 0,5 mm — 4, EC3A 0,35 mm — 5, EC4, EC4A, EC4AA 0,5 mm — 1, EC4 ja EC4A 0,35 mm — 1,5.

Ränisisalduse tõusul 1 kuni 4%-ni elektrotehnilise lehtterase erikaal langeb 7,8-lt kuni 7,6.

Elektrotehnilise lehtterase magnetilised ja elektrilised omadused OCT 6391 järgi on kokku võetud tabelis 1.

<sup>1)</sup> Täht E on tarvitusel kõigi elektrotehnilisteks otstarveteks määratud teraste markeerimisel. Tähte Э tarvitatakse elektriühjades sulatatud teraste markeerimisel, vaatamata terase kasutusale.

Tabel 1.

## Elektrotehnilise lehtterase magnetilised ja elektrilised omadused.

Terase mark	Lehe paksus mm	Magnetiline induktsoon gaussides, kui amperkeerdude arv on 1 cm kohta				Kadude võimsus W/kg	
		25	50	100	300	$V_{10}$ mitte üle	$V_{15}$ mitte üle
EC1A	0,5	15 100	16 400	17 700	19 900	3,3	7,9
EC1	0,5	15 000	16 300	17 500	19 700	3,6	8,6
EC1AA	0,5	14 700	15 800	17 000	19 200	2,85	7,0
EC2A	0,5	14 600	15 700	16 800	19 000	2,6	6,4
EC3A	0,5	14 500	15 600	16 700	18 900	2,3	5,6
EC3A	0,35	14 560	15 600	16 700	18 900	2,0	4,2
EC4AA	0,5	14 300	15 400	16 500	18 500	1,6	3,5
EC4A	0,5	14 300	15 400	16 500	18 500	1,8	3,8
EC4A	0,35	14 200	15 400	16 500	18 500	1,3	3,3
EC4	0,5	14 400	15 500	16 600	18 700	1,8	3,9
EC4	0,35	14 400	15 500	16 600	18 700	1,45	3,4

Aja jooksul elektrotehnilise terase magnetilised omadused halvenevad. Seda järk-järgulist omaduste halvenemist nimetatakse vananemiseks. Temperatuuri tõusuga vananemine kiireneb. Vastavalt OCT 6391 ei tohi kadude võimsus tõusta rohkem kui: EC1 ja EC1A juures 7,5%, EC1AA, EC2A ja EC3A juures 6,5%, EC4, EC4A ja EC4AA juures 5,0% üle tabelis 1 toodud arvude, kui neid teraseid soojendada 600 tundi 100° juures või 120 tundi 120° juures või 12 tundi 200° juures.

Elektriaparaatide ja -masinaehituse tehastes kaetakse elektrotehniline teras pöörivoolude vähendamiseks ühelt poolt isolatsiooniga enne parajateks tükkideks lõikamist. Sagedamini kasutatavaks isolatsiooniks on terasele kleebitav õhuke paber. Üksikutel juhtudel asendatakse see paber isoleerlakiga või vedela klaasiga, millele on juurde lisatud kaoliini.

Teraselehtede lõikamine ja stantsimine teostub mitmesugusel viisil. Tähtis on see, et vaatamata lõikamisviisile kannatab väike piirkond lõikejoone läheduses sisemise struktuuri muutuse all ja omab ka mikroskoopilisi pragusid, mis halvendab magnetilisi omadusi. Mida suurem on lõikejoone pikkuse ja valmislõigatud lehe pindala suhe, seda suurem on kadude suhteline suurenemine. Nii saadakse võrdlemisi suurt kadude tõusu dünamomasinate hambuliste ankrute valmistamisel.

Jõu-transformaatorite juures, kus stantsitud aukude arv on väike, tõuseb kadude võimsus ainult 1–2%, võrreldes stantsimata materjaliga. Keerulisema kujuga ja suure aukude arvuga plekkidel tõuseb kadude võimsus isegi kuni 15–20%. Negatiivselt mõjuvad ka nürida templi puhul servadele jäävad kraadid. Ebatasasuste ja lehtede vahe-

liste lühiste kõrvaldamiseks on tarvis servi lihvida või siluda, mis aga rikub terase sisestruktuuri ja tõstab hüsteresiskadusid. Ainukeseks magnetiliste omaduste halvenemise vastu võitlemise abinõuks on lõõmutamine 800—900° juures umbes 1—2 tunni jooksul. Lehtede isolatsiooniga katmine tuleb teostada alles pärast lõõmutamist.

c) **Valatud teras.** Terasvalu on laialt tarvitusel elektrimasinate tootmisel masinate keredena jne., mis on ühtlasi magnetvoo juhiks alalises magnetväljas. Vahelduva magnetvälja juures ei ole valatud teras magnetvoo juhina kasutatav, kuna pöörisvoolude võimsus läheb liiga suureks.

Terasvalu, mis sisaldab süsinikku 0,08—0,25% ja räni 0,3—0,4%, annab induktiooni 25 amperkeeru juures sentimeetrile — 14 500, 50 amperkeeru juures — 16 000 ja 100 amperkeeru juures 17 500 gaussi.

Selle terase mehaanilised omadused on küllalt kõrged: tõmbetugevus 38—45 kg/mm<sup>2</sup>, suhteline pikenemine 16—20% (tõmbetugevuse ülemine ja suhtelise pikenemise alumine piir vastavad süsinikusisalduse ülemisele piirile).

Terasvalu parandamise otstarbel lõõmutatakse teda 900—950° juures (pärsaste aeglase jahutamisega).

Viimasel ajal on hakatud valatud terase kõrval dünamomasinate kerde materjaliks kasutama ka taotud terast. Taotud teras on ehituselt ühtlasem, mehaaniliselt vastupidavam ja paremate magnetiliste omadustega kui valatud teras. Kui taotud teras sisaldab 0,2% Si, 0,6% Mn ja 0,12—0,35% süsinikku, siis on ta tõmbetugevus 32—60 kg/mm<sup>2</sup>.

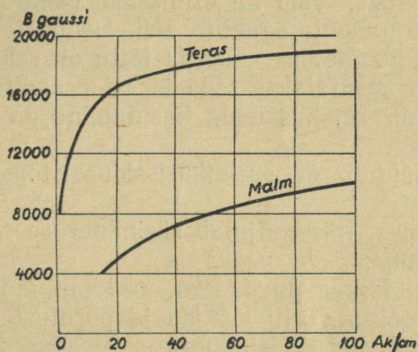
Mõningate kiirkäiguga masinate detailide jaoks, nagu turbogeneraatorite rootorid, vajatakse materjali, mis on heade magnetiliste omadustega ja eriti kõrge mehaanilise tugevusega. Neil juhtudel kasutatakse terast, mis sisaldab 1—3% niklit, 0,3—1% kroomi, 0,25—0,4% süsinikku. Selle terase tõmbetugevus on 60—75 kg/mm<sup>2</sup> ja ta omab induktiooni 25 amperkeerdu/cm puhul 14 000 gaussi, 100 amperkeerdu/cm puhul 17 000 gaussi.

d) **Malm.** Raua sulameid süsinikuga, mis sisaldavad üle 2,2% C, nimetatakse malmiks. Oma suure süsinikusisalduse tõttu on malm madalakvaliteediline magnetiline materjal. Teda kasutatakse ainult seal, kus on otstarbekohane asendada teisi kallimaid magnetilisi materjale odavamaga, hästi valatava ja heade mehaaniliste omadustega malmiga.

3,5% süsinikku sisaldav valge malm omab järgmisi magnetilisi omadusi:  $H_c = 14,5$ ,  $B_r = 4750$  ja  $\mu_{\max} = 186$ . Kui  $H = 450$ , siis  $B = 12\,300$ . Hall malm sisaldab vähem süsinikku (umbes 2%), tema magnetilised omadused on:  $H_c = 16$ ,  $B_r = 500$ ,  $\mu_{\max} = 180$ . Kui  $H = 450$ , siis  $B = 13\,900$ .

Palju paremate magnetiliste omadustega on tempermalmid. Euroopa tempermalmid saadakse valge malmi lõõmutamisel hapendavas atmosfääris. Ameerika tempermalmid saadakse samuti valge malmi lõõmutamisel, kuid neutraalses atmosfääris.

Euroopa tempermalmi murdepind on valge, ameerika omal aga must. Euroopa tempermalmi keskmised magnetilised omadused on järgmised:  $H_c = 6,3$ ,  $B_r = 5990$ , 250 amperkeerdu/cm puhul  $B = 14\,500$ . Ameerika tempermalmil on vastavalt:  $H_c = 1,3$ ,  $B_r = 6500$ , 250 amperkeerdu/cm juures  $B = 16\,400$ .



Joon. 10. Terase ja malmi magneetimise kõverad.

Parimate magnetiliste omadustega on must ameerika tempermalm. Tema magnetilised omadused olenevad eseme seinapaksusest: mida õhem on sein, seda paremad on omadused.

Keskmesed magneetimise kõverad valatud terasele ja malmile on toodud joon. 10.

OCT 13-3096 annab kaks malmivalu marki elektrimasinate jaoks: ЧЛ-40 ja ЧЛ-22 tõmbetugevusega vastavalt 40 ja 22 kg/mm<sup>2</sup>.

### 3. Magnetiliselt kõvad materjalid.

Kõiki permanentmagnetite valmistamiseks kasutatavaid sulameid, s. o. magnetiliselt kõvu materjale võib jaotada kahte suurde rühma. Esimesse rühma kuuluvad terased, mis sisaldavad peale raua ja süsiniku veel teisi metalle. Siia kuuluvad süsinikterased, kroomterased, volframterased ja koobaltterased. Teise rühma moodustavad sulamid, milles süsinikusisaldus on isegi kahjulik. Siia kuuluvad hiljuti avastatud nikkel-alumiiniumterased, raua sulamid molübdeeni ja plaatinaaga.

Esimese rühma materjalid omandavad vajalikud magnetilised omadused alles pärast karastamist; nende teraste noolutamine halvendab magnetilisi omadusi.

Teise rühma sulamitel on pärast karastamist halvad magnetilised omadused, järgnev noolutus suurendab neid ja lubab neid kasutada permanentmagnetite valmistamiseks.

a) **Süsinikteras.** See on odavam ja kaua tuntud permanentmagnetite valmistamise materjal. Selleks otstarbeks kasutatavad süsinikterased on suure süsinikusisaldusega.

Sellest terasest magneteid ei valmistatud mitte ainult mitmesuguste aparatuuride jaoks, vaid ka esimestele elektrimasinatele, millele ergutus toimus permanentmagnetite abil. Nende teraste poolt arendatava liiga väikese magnetilise energia tõttu oli selliste magnetite kaal väga suur. Praegu kasutatakse seda terast eranditult vähevastutavate detailide valmistamiseks, kus tema kasutamine on oma odavuse tõttu õigustatud.

Joonisest 6 nähtub, et süsinikusisalduse tõusuga koertsitiivjõud suureneb.

Tähtsaks teguriks, mis mõjutab süsinikterase magnetilisi omadusi, on tema karastamine.

Oluliseks süsinikterase puuduseks on tema magnetiliste omaduste ebapüsivus. Aja jooksul, eriti löökide ja põrutuste mõjul, vananevad süsinikterasest magnetid. Süsinikterase omadused on toodud tabelis 2.

Tabel 2.

Süsinikterase omadused.

C sisaldus %	Karastuse temperatuur °C	Jääkinduktsioon $B_r$ gaussides	Koertsitiivjõud $H_c$ örsteedides
0,45	750	10 280	25,3
0,45	850	11 700	36,7
0,45	950	12 000	35,0
0,7	750	10 200	37,3
0,7	950	10 500	47,3
1,1	950	7 810	55,9
1,7	950	4 700	70,1

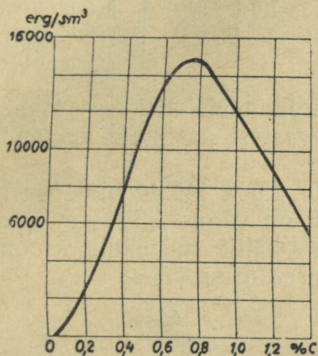
b) **Volframteras.** Süsinikterase madal magnetiline energia ja halb vastupidavus vananemisele sundisid otsima teisi magnetiliselt kõvu sulameid, mis oleksid paremate magnetiliste omadustega.

Nii saadi süsinikteras umbes 5% volframisisaldusega. Joon. 11 on antud volframterase maksimaalse magnetilise energia olenevus süsinikusisaldusest. Joon. 12 on toodud koertsitiivjõu olenevus karastustemperatuurist. Väikeste hulkade mangaani ja räni juuresolu ei hal-

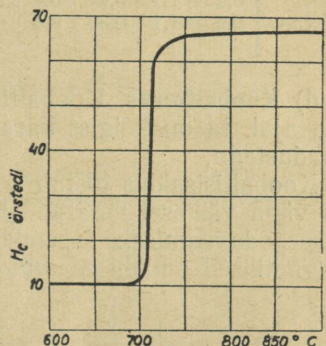
venda magnetilisi omadusi, kuid soodustab termilist töötlemist. Volframteras on vähetundlik põrutustele ja löökidele.

NSV Liidus toodab käesoleval ajal magnetilist volframterast elektrometallurgiline tehas „Elektrostal”. See teras, mark ЭЕВА, sisaldab 0,68—0,78% C, 0,3% Si, 0,35% Mn, 0,02% S, 0,03% P ja 5—6% W.

Selle terase karastamine toimub 850° juures, karastusvedelikuks on vesi. Jääinduktsioon on 10 500 gaussi, koertsitiivjõud — 60 örsteedi, maksimaalne magnetiline energia — 11 000 erg/cm<sup>3</sup>.



Joon. 11. Maksimaalse magnetilise energia muutumine volframterases, olenevalt süsinikusisaldusest.



Joon. 12. Volframterase koertsitiivjõu muutumine olenevalt karastustemperatuurist.

c) **Kroomteras.** Kroomterast hakati laialdaselt kasutama esimese imperialistliku maailmasõja ajal, kui terav volframi puudus reas mais sundis volframterastele otsima asendajaid.

Parimad magnetilised omadused saadi kroomisisalduse juures umbes 2—3%.

Suurem kroomisisaldus annab märgatavat praaki. Joon. 13 on toodud magnetiliste omaduste olenevus kroomisisaldusest. Kroomteraste karastamine toimub temperatuuridel, mis asuvad kitsastes piirides 840—850° vahel. Kroomterase paremuseks on ka tema karastamine õlis, mis vähendab praaki mitmekordselt, võrreldes karastusega vees. Vastupidavus vananemisele on kroomterasel sama suur kui volframterasel.

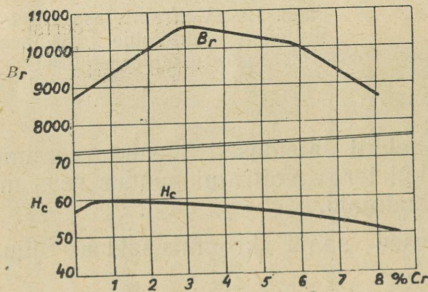
Tehas „Elektrostal” turustab kaks marki kroomterast, ЭХХ2 ja ЭХХ3А, mille magnetilised omadused ja keemiline koostis on toodud tabelis 3.

Tehase „Elektrostal” poolt toodetavate kroomteraste magnetilised omadused ja keemiline koostis.

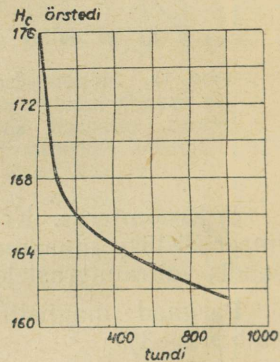
Terase mark	Keemiline koostis						Karastus-temperatuur °C	Jääkinduktsioon $B_r$ gaussides	Koertsitiivjõud $H_c$ örstedides
	C	Si	Mn	S	P	Cr			
ЭEX2	0,95—1,1	0,4	0,4	0,02	0,03	1,3—1,6	840	9000	55
ЭEX3A	0,9 —1,1	0,35	0,4	0,02	0,03	2,8—3,8	850	9000	60

d) **Koobaltteras.** Koobaltteras leiutati Jaapanis Esimese Maailmasõja ajal, ta on kõigist karastatavaist terastest parimate magnetiliste omadustega.

Koobaltisisaldus tõstab koertsitiivjõudu, kuna jääkinduktsioon muutub väga väikesel määral. Kuna koobalt on väga kallis, siis koobaltterase odavamiseks asendatakse osa koobaltit harilikult kroomiga. Magnetilised omadused muutuvad seejuures üsna vähe.



Joon. 13. Kroomterase jääkinduktsiooni ja koertsitiivmõju olenevus kroomisisaldusest.



Joon. 14. Koobaltterase koertsitiivjõu väärtused olenevalt ajast.

Koobaltterase harilikkude markide karastamine magnetiliste omaduste parandamiseks toimub nagu kroomterasegi puhul (kaardumise ja pragude vältimiseks) õlis.

Karastustemperatuur on 850—950°. Eriti suure koobaltisisaldusega teraste termiline töötlemine toimub kolme operatsiooniga:

1) Kiire soojendamine 1200—1300°-ni ja sellele järgnev aeglane jahutamine õhus.

2) Uus soojendamine 700—750°-ni, pooletunnine pidamine selle temperatuuri juures ja jahutamine õhus.

3) Karastamine soojendusega kuni 950—1060° ja jahutusega õhus.

Koobalteras vananeb kiiremini kui kroom- ja volframteras. Nii langeb koertsitiivjõud kõrge koobaltisaldusega terasel 1000 tunni jooksul 10% (joon. 14).

Suure koobaltisaldusega terased on karastatud olekus väga kõvad ja kergesti purunevad, mistõttu nende töötlemisel tuleb olla ettevaatlik. Kus see vähegi võimalik on, asendatakse lõikamisega töötlemist — lihvimisega.

Tehas „Elektrostal” turustab magnetilist koobalterast markide all ЭЕК5 ja ЭЕК15.

Tabelis 4 on toodud nende teraste magnetilised omadused ja keemiline koostis.

Tabel 4.

Koobalteraste keemiline koostis ja magnetilised omadused.

Terase mark	Keemiline koostis						Karastus-temperatuur °C	Jääkinduktsioon $B_r$ gaussides	Koertsitiivjõud $H_c$ örsteedides	
	C	Si	Mn	S	P	Cr				Co
ЭЕК5	0,9—1,1	0,35	0,4	0,02	0,03	5,5—6,5	5,5—6,5	950	8500	90
ЭЕК15	0,9—1,05	0,45	0,4	0,02	0,03	8—10	13,5—16,5	950	7000	150

e) **Nikkel-alumiiniumteras.** Permanentmagnetite valmistamiseks määratud sulamite hulgas seisavad erikohal 1932. a. jaapani uurija Mišima poolt leiutatud nikkel-alumiiniumterased.

See teras omandab kõrged magnetilised omadused juba valamisel ja ta ei vaja ka erilist termilist töötlemist, välja arvatud noolutamine.

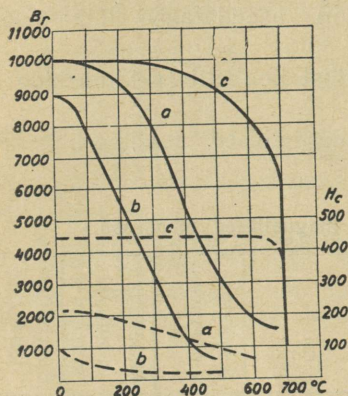
Neid teraseid uurides leidsid nõukogude metallurgid, et parimaid magnetilisi omadusi evib teras, mis sisaldab 28% niklit ja 11% alumiiniumi. Moskva tehase ATЭ poolt turustatakse kaks nikkel-alumiiniumterase marki: sulam 122—5, mille magnetilised andmed on  $H_c =$

$= 550$ ,  $B_r = 6000$  ja  $\left(\frac{BH}{8\pi}\right)_{\max} = 50\,000$ , ja sulam 156—6, mille andmed on  $H_c = 450$ ,  $B_r = 7500$  ja  $\left(\frac{BH}{8\pi}\right)_{\max} = 51\,000$ .

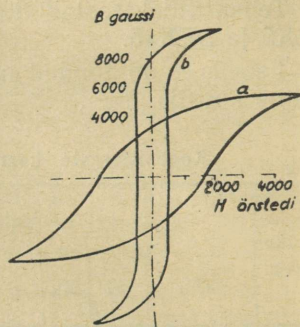
Nikkel-alumiiniumteraste üheks iseärasuseks on nende väike temperatuuritundlikkus. Sellist terast võib soojendada kuni 600° C, kusjuures magnetilised omadused peaaegu ei muutu. Sama soojendusastme juures koobalt- ja volframterased aga kaotavad oma magnetilised omadused

täiesti. Joon. 15 on näidatud magnetiliste omaduste olenevus temperatuurist koobalt-, volfram- ja nikkel-alumiiniumterase juures.

Nikkel-alumiiniumteraste suure kõvaduse tõttu ei ole neid peaaegu võimalik töödelda lõikamisega. Sellepärast antakse nikkel-alumiiniumterastes permanentmagnetitele juba valamisega õige kuju. Täpsete mõõdetega saamiseks kasutatakse ainult lihvimist. Suure magnetilise energia ja suure alumiiniumisisalduse tõttu on need magnetid kuni 40% kergemad kui teistest terastest valmistatud magnetid.



Joon. 15. Magnetiliste omaduste olenevus temperatuurist mitmesuguste teraste juures: a — koobaltteras, b — volframteras, c — nikkel-alumiiniumteras, täisjooned —  $B_r$ , punktiir —  $H_c$ .



Joon. 16. Plaatina-raua (a) ja nikkel-alumiiniumterase (b) hüstereesi silmused.

Nikkel-alumiiniumteras on üheks tähtsamaks tööstuslikuks magnetite valmistamise tooraineks, mis asendab enamikku teisi teraseid.

f) **Mitmesugused sulamid.** Peale nikkel-alumiiniumteraste turule ilmumist leiutati raua ja plaatina sulamid, mis sisaldasid 78% plaatinat. Karastatuna 1200° juures, omavad nad määratu suurt koertsitiivjõudu — 1800 örsteedi — ja jääinduktsiooni — 4000 gaussi.

Joon. 16 on toodud võrdluseks plaatina-raua sulami ja nikkel-alumiiniumterase hüstereesi silmused. Plaatina-koobalti sulamid omavad veelgi suuremat koertsitiivjõudu,  $H_c$  4000 örsteedi ja jääinduktsiooni  $B_r$  3000 gaussi. Plaatina-koobalti sulamid ületavad praegu oma magnetilise energia poolest kõiki teisi magnetiliselt kõvu materjale. Plaatina sulamite kasutusala on nende kõrge hinna tõttu võimalik ainult eriuhtudel (täpsed mõõteriistad jne.).

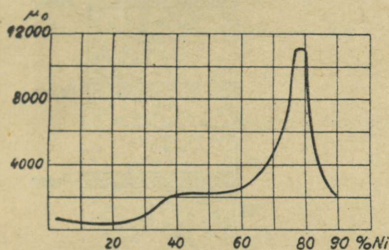
Suurt huvi pakub magnetiliste sulamite saamise võimalus mittemagnetilistest metallidest. Nii omavad sulamid vasest ja alumiiniumist

(Geissleri sulamid) peale teatud termilise töötlemise koertsitiivjõudu kuni 5000 örsteedi. Kuna aga selliste sulamite jääinduktsioon on väike — umbes 500 gaussi, siis need sulamid suurt tööstuslikku tähtsust ei ole omandanud.

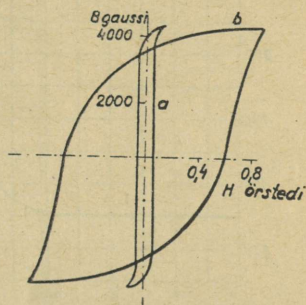
#### 4. Eriliste magnetiliste omadustega materjalid.

Peale eespoolvaadeldud magnetiliste materjalide kasutab kaasaegne elektrotehniline tööstus rida sulameid, millel on erilised magnetilised omadused.

Nii näiteks kasutab nõrkvoolu-tehnika materjale, millel on konstantne läbitavus. Suur nõudmine on materjalide järele, mis järsult muu-



Joon. 17. Niklisisalduse mõju raua ja nikli sulamite algläbitavusele.



Joon. 18. Permalloy ja „Armko” raua hüsteereesi silmused.

davad oma magnetilisi omadusi väikese temperatuuritõusuga. Kõrge-sagedustehnikas vajatakse materjale kunstlikult vähendatud pöörivoolude kadudega.

a) **Permalloy.** Joon. 17 on toodud raua ja nikli sulamite algläbitavuse olenevus niklisisaldusest. 78,5% niklisisalduse juures saame väga suure algläbitavusega materjali — *permalloy*.

Joon. 18 on toodud võrdluseks *permalloy* ja „*Armko*” raua hüsteereesi silmused. *Permalloy* on töödeldav nii soojas kui ka külmas olekus, iga mehaaniline töötlemine aga nõrgendab magnetilisi omadusi.

*Permalloy* termiline töötlemine koosneb kahest operatsioonist. Algul soojendatakse teda 900° juures tund aega ja jahutatakse pärast seda aeglaselt. Teise operatsioonina soojendatakse teda 600°-ni ja jahutatakse kiiresti.

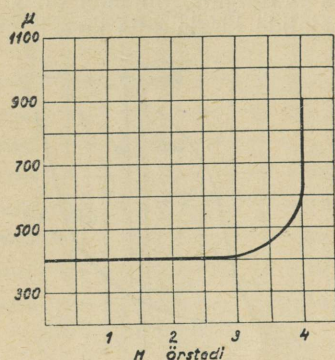
*Permalloy* maksimaalne läbitavus  $\mu_{\max} = 100\,000$ , algläbitavus on 12000, eritakistus — 0,021, küllastusinduktsioon  $B_s = 9000$ .

b) **Gaipernik.** Suure algläbitavusega sulamite hulka kuulub ka sulam, mis sisaldab 50% rauda ja 50% niklit, nn. *gaipernik*. Kuigi *gaiperniku* algläbitavus on väiksem kui *permalloy*’l, on ta väiksema niklisisalduse tõttu viimasest odavam. Teda kasutatakse transformaatrite südameke valmistamiseks, telegraafi ja telefoni releede juures jne.

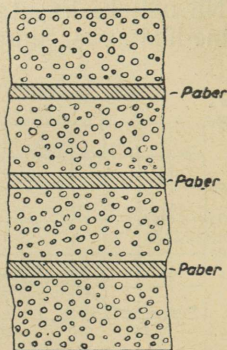
Gaiperniku algläbitavus  $\mu_0 = 3000$ , maksimaalne läbitavus  $\mu_{\max} = 80\,000$ , küllastusinduktsioon  $B_s = 15\,000$ , elektriline eritakistus on 0,046.

Huvitav sulam on veel invar (64% rauda, 36% niklit), mille joonpaisumise koefitsient on äärmiselt väike ja mida kasutatakse mitmesugustes aparatuurides bimetalli osana (vt. lk. 33).

c) **Perminvar.** Nõrkvoolu-tehnika vajab materjale, mille läbitavus jääks konstantseks teatud väljatugevuse muutumise intervallis. Selliseks materjaliks on perminvar, mis sisaldab 45% niklit, 30% rauda ja



Joon. 19. Perminvari läbitavuse ole-nevus väljatugevusest.



Joon. 20. Ferrocarti lehe skemaatiline ehitus.

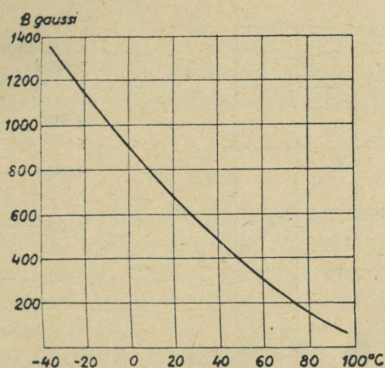
25% koobaltit. Peale termilise töötlemise on selle sulami läbitavus 300 ümber, küllastusinduktsioon  $B_s = 14\,000$ . Läbitavus jääb konstantseks kuni 2-örsteedise väljatugevuseni. Joon. 19 on antud läbitavuse ole-nevus väljatugevusest.

Tuleb märkida, et ka m u m e t a l l, mis sisaldab 74% niklit, 20% rauda, 5% koobaltit ja 1% mangaani, omab konstantset läbitavust, kuid ei hoi-a seda konstantsust nii hästi alal kui perminvar.

d) **Ferrocart.** Raadiotehnika arenguga tekkis vajadus materjali järele, mis omaks väikseid pöörivoolu kadusid kõrgete sageduste juures. Ka kõige õhemad lehtmaterjalid ei kõlba nende sageduste juures, mida kasutatakse raadiotehnikas. Tuleb seepärast kasutada pulbrist pressitud materjale. Selliseks pressitud materjaliks on ferrocart. Tema valmistusviis on järgmine: peen rauapulber (veel parem — permalloy), terajämedusega mitte üle 5 mikroni, segatult isoleerainega (bakeliit) kantakse paberile paksusega 8 mikronit. Selliselt saadud õhukesed paberilehed pressitakse üheaegsel soojendamisel plaatideks, analoogiliselt getinaksile, paksusega 3—4 mm, millest stantsitakse vastavad detailid. Joon. 20 on näidatud ferrocarti lehe skemaatiline ehitus.

Ferrocardi erikaal on 4 ümber, algläbitavus  $\mu_0 = 12$ . Väljatugevuse juures 100 örsteedi on induksioon 1250 gaussi.

e) **Kalmalloy.** Iseloomustavaks omaduseks sellel sulamil, mida varemalt nimetati termolloy'ks, on see, et tema magnetiliste omaduste kaotamise praktiline piir asub  $95^\circ$  juures (puhta raua juures on see  $768^\circ$  juures). Seda kalmalloy omadust kasutatakse mitmesugustes aparatuurides. Tähtsamate markide koostis: mark A — 66,5% Ni, 30% Cu, 3,5% Fe, mark B — 88% Ni, 9,5% Cu, 3,5% Fe. Joon. 21 on toodud kalmalloy induktiivsuse olenevus temperatuurist.



Joon. 21. Kalmalloy induktiivsuse olenevus temperatuurist (väljatugevus 75 örsteedi)

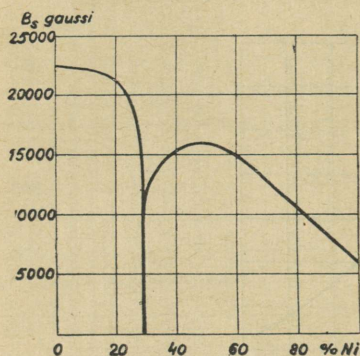
### 5. Mittemagnetilised sulamid.

Kaasaegsete elektrimasinate ja -aparatuuride ehitamisel kasutatakse laialdaselt mittemagnetiliste materjalidena värvilisi metalle ja nende sulameid. Nii valmistatakse elektromagnetite juhttorud, kontrolleriite segmendihoidjad jt. magnetvälja moonutamise vältimiseks vasest ja messingist. Kuna värvilised metallid on kallid ja defitsiitsed, siis on otstarbekohane neid sellistel juhtudel asendada mittemagnetiliste raua sulamitega, millel on suur mehaaniline tugevus ja kõrge eritakistus, mis vähendab pöörisvoolude kadusid. Neist sulameist kasutatakse mittemagnetilist malmi ja terast.

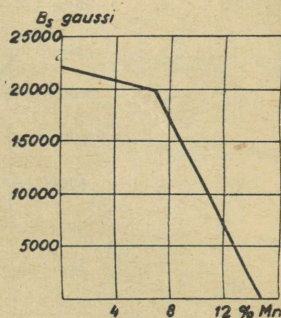
Selleks, et muuta malmi või terast mittemagnetiliseks, võib kasutada märgatavaid nikli või mangaani lisandeid. Kui mõõta maksimaalset magnetilist induksiooni raua-nikli sulamites mitmesuguse niklisalduse juures, siis saame joon. 22 kujutatud kõvera. Nagu sellest kõverast nähtub, on maksimaalne induksioon praktiliselt null 25–30% niklisalduse juures, s. t. et sulam on mittemagnetiline (vrd. joon. 17). Joon. 23 nähtub, et 14% või üle selle mangaanisalduse juures saame samuti mittemagnetilise sulami.

a) **Mittemagnetiline malm.** Mangaani või nikli juurdelisamine malmile võimaldab saada mittemagnetilist malmi. Liiga suurte niklikoguste lisamine teeb malmi kalliks, mistõttu ta ei suuda võistelda vase ja messingiga. 14% mangaanisaldusega malm aga on oma kõvaduse tõttu raskesti töödeldav.

NSV Liidus on tarvitusel mittemagnetiline malm, mis ei sisalda üldse niklit (mark ЧЛН). See malm sisaldab 3,4—3,9% C, 2,0—3,4% Si, 7—12% Mn ja 1—2% vaske, temal on  $\mu = 1,5$  ja eritakistus on 0,95 (vt. OCT 13-3096).



Joon. 22. Küllastusinduktsiooni olenevus niklisaldusest raua-nikli sulamis.



Joon. 23. Mn-Fe sulami küllastusinduktsiooni olenevus mangaanisaldusest.

b) **Mittemagnetiline teras.** Kuni viimase ajani kasutati mittemagnetilise terasena 25—30% nikli- ja 0,35—0,40% süsinikusaldusega nikkelteras. Viimasel ajal on saadud mittemagnetilist terast 10—12% niklisaldusega. Mittemagnetiline mangaanteras on raskesti töödeldav. Seda viga aga on võimalik parandada alumiiniumi lisamisega sulamisse. Nii on võimalik saada praktiliselt kasutatavat mittemagnetilist malmi ka ilma niklisalduseta.

Rea vastutavate detailide jaoks on tarvis eriti kõrge mehaanilise tugevusega mittemagnetilist terast, näit. turbogeneraatorite rootorite bandaažideks. Neil juhtudel võib kasutada terast, mis sisaldab 0,55—0,60% C, 7,5—8,5% Mn, 8—9% Ni, 3,8—4,2% Cr, 0,5—0,7% W. Selle terase tõmbetugevus on 75—100 kg/mm<sup>2</sup>, magnetiline läbitavus  $\mu = 1,2$ .

## II p e a t ü k k.

### JUHTMEMATERJALID.

Põhiliseks juhtmaterjaliks on praegu vask. Palju harvemini kasutatakse alumiiniumi, vase ja alumiiniumi sulameid, bimetalli ja rauda. Katsetamisel on eriti kergete metallide — naatriumi ja magneesiumi — kasutamise võimalused.

#### 6. Vask.

Vaske kasutatakse laialdaselt mitmesuguste elektromehaaniliste seadmete ja aparatuuride põhielementide valmistamiseks mähisetraadi, lintide ja lattide näol. Erakordselt tähtis on vask juhtmete ja kaablite valmistamisel. Mitmetes maades läheb 35—50% kogu tarvitatavast vasest kaablite valmistamiseks.

Enne Oktoobrirevolutsiooni oli meie maal vase tootmine väga väike, vaatamata sellele, et maake leidub meil üsna suurel määral (Kasahstanis, Uuralis, Taga-Kaukaasias). Tolle aja võrdlemisi tagasihoidliku tarvituse kattis tsaariaegne Venemaa peamiselt sisseveoga. Praegu on olukord järsult muutunud. Terve rea kaevanduste ja tehaste käikulaskmise tagajärjel on vase sissevedu viidud miinimumini.

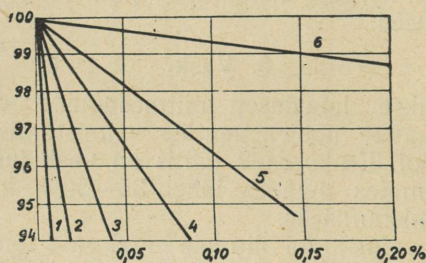
Elektrotehniliseks otstarbeks kasutatakse eriti puhast, nn. elektrolyüütilist vaske, mida saadakse elektrolüüsil väävelhapu vase lahuses. Võimalikult puhta vase kasutamise paremus on tingitud tema väiksemast eritakistusest. Isegi minimaalsed fosfori, alumiiniumi, raua, inglistina ja arseeni lisandid tõstavad järsult vase eritakistust.

Mõned lisandid mõjuvad halvasti ka vase mehaanilistele omadustele. Selles suhtes osutub kõige halvemaks vismut; juba 0,005% Bi sisaldus ei lase vaske traadiks tõmmata. Lisandite mõju vase elektrijuhtivusele näitab joon. 24.

Väga tähtis on märkida hapniku mõju vase omadustele. Vastupidiselt teistele lisanditele hapnikusisaldus kuni 0,06% isegi veidi tõstab vase elektrijuhtivust. Edaspidise hapniku hulga tõusuga aga elektrijuhtivus hakkab kiiresti vähenema. Hapnikusisaldus kuni 0,08% mõjutab vähe vase mehaanilisi omadusi, edasine hapnikusisalduse suurenemine aga tõstab vase rabedust. Tähelepanu väärib „hapnikuvaba” vase saamise meetod, mille abil on võimalik saada vaske mitte üle 0,02% hapnikusisaldusega. Selle vase saamiseks kasutatakse tema

sulatamisel ja valamisel eri režiimi vingugaasi atmosfääris. Ta on üliheade mehaaniliste omadustega, temast on võimalik tõmmata eriti peenikest traati (läbimõduga kuni 0,015 mm).

Elektrolüüsil saadud vaskplaadid, nn. katoovid (lisandeid mitte üle 0,05%), sulatatakse ümber plokkideks, mille näol nad saavad kaabli-tehastesse. Nende plokkide kaal ja vorm on normitud OCT/HKTI 5800/124. Plokid võivad kaaluda 85 ja 125 kg, kusjuures meil peaaegu eranditult kasutatakse kergema kaaluga plokkide. Suurem plokki kaal soodustab valtsimiseadeldiste jõudlust. Peale selle on raskemad plokki vajalikud vasklattide ja kollektorvase valmistamiseks (möödetes 130×160 mm), sest 85-kilosed plokki on trapetsikujulise põiklõikega (80—90)×95 mm, 125-kilosed aga ruudukujulise põiklõikega 110×110 mm.



Joon. 24. Lisandite mõju vase elektrijuhtivusele: 1 — fosfor, 2 — arseen, alumiinium, 3 — raud, antimon, 4 — inglistina, 5 — tsink, 6 — seatina, kadmium, hõbe, kuld, vismut, väävel.

Kaabli-tehastes valtsitakse juhtmetraadi tõmbamiseks määratud plokki soojalt jämedaks traadiks, läbimõduga 6—8,5 mm. Peale pinna puhastamist mustast tagist ja peitsimist nõrgas väävelhappes tõmmatakse ta vastava läbimõduga traadiks erilistel traaditõmbamise masinatel.

Vask omab iseloomulikku punast värvust, on võrdlemisi pehme ja sitke, mis võimaldab temast tõmmata üsna peenikest traati ja valtsida õhukesti lehti.

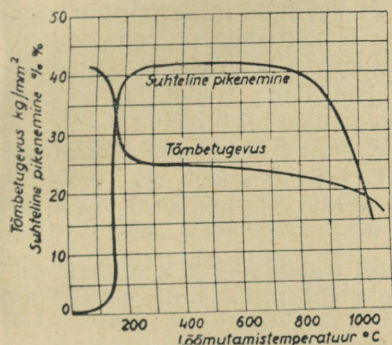
Vase mehaanilised omadused olenevad suurel määral tema termilisest töötlemisest. Nii omab külmalt tõmmatud traat suurt tõmbetugevust ja väikest suhtelist pikenedust. Kui aga seda traati lõõmutada, siis muutub vask pehmeks, tema suhteline pikenedust on suurem, kuid tõmbetugevus on vähenenud.

Lõõmutamise mõju vase omadustele on näidatud joon. 25. Selles graafikus on näha, et lõõmutamise temperatuuri tõusuga suhteline pikenedust algul järsku tõuseb, siis jääb teatud temperatuurini konstantseks ja järgneva temperatuuritõusuga hakkab vähenema. Tõmbetugevus aga väheneb temperatuuritõusuga pidevalt.

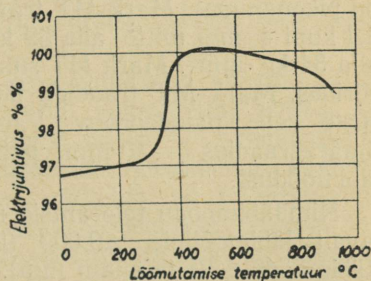
Joon. 26 on näidatud vase elektrijuhtivuse olenevus lõõmutamise temperatuurist. Võrreldes suhtelise pikenemise ja elektrijuhtivuse kõve-raid, ei ole raske järeldada, et lõõmutamine mõjutab mõlemaid omadusi peaaegu sarnaselt.

Rahvusvahelise standardiga on „etaloonvaseks” määratud lõõmutatud vask, mille elektrijuhtivus on 20° C juures 0,017241.

Praktikas hinnatakse elektrijuhtivust (eritakistuse pöördväärtust) protsentides etaloonvase elektrijuhtivusest. Meie kaablifehastes kasutatava vasktraadi eritakistus 20° C juures ei tohi tõusta üle 0,01754 (OCT/HKTI 7940/739).



Joon. 25. Lõõmutamise temperatuuri mõju vase mehaanilistele omadustele.



Joon. 26. Lõõmutamise temperatuuri mõju vase elektrijuhtivusele.

Kõva vase elektriline takistus on umbes 2–3% suurem kui lõõmutatud vasel, kusjuures traadi läbimõõdu suurenemisel see takistuste vahe väheneb. OCT-i järgi ei tohi eritakistus kõva traadi juures läbimõõduga kuni 0,99 mm tõusta üle 0,0182, traadil läbimõõduga 1,00–2,49 mm mitte üle 0,018 ja traadil läbimõõduga üle 2,5 mm mitte üle 0,0179.

Vase takistuse temperatuuritegur on 0,004, s. t. et temperatuuri tõusul vasktraadi takistus tõuseb 0,004 oomi iga takistuse oomi ja temperatuuri kraadi kohta.

Vase sulamistemperatuur on 1083°, keemistemperatuur 2310°. Joonpaisumise koefitsient on  $16,8 \cdot 10^{-6}$ , s. o. märgatavalt väiksem kui paljudel teistel elektri-isolatsiooni materjalidel, nagu paberil, õlil jt. Erisoojus on 80° juures 0,09846 ja 100° juures 0,09422. Vase erikaal on 8,9.

Vase kui juhtmaterjali paremused on järgmised:

- 1) väike eritakistus (ainult hõbedal on veel väiksem eritakistus, kuid tema kasutamine ei ole kalliduse tõttu kuigi laialt levinud);
- 2) küllalt suur mehaaniline tugevus;

- 3) hea töödeldavus;
- 4) küllaldane vastupidavus soojusele ja niiskusele;
- 5) montaaži lihtsus (jootmine, jätkamine);
- 6) jäätmete kasutamise võimalus kõrgeväärtusliku toormaterjalina.

a) **Ümmargune vasktraat.** OCT 7940 järgi toodetakse vasest kahte paljastraadi marki: MT — kõva (lõõmutamata) ja MM — pehme (lõõmutatud).

Ümmargune vasktraat turustatakse meie kaablitehaste poolt läbimõõdus 0,02—10 mm või ka üle selle. OCT 7940 järgi peab traat mark MM omama tõmbetugevust mitte alla 21 kg/mm<sup>2</sup> ja suhtelist pikenemist piirides 10—36% (mida suurem on traadi läbimõõt, seda suurem on pikenemine). Mark MT traadi tõmbetugevus peab olema läbimõõdul kuni 4 mm mitte alla 39 kg/mm<sup>2</sup>, jämedama traadi juures mitte alla 34 kg/mm<sup>2</sup>. Mark MT suhteline pikenemine peab olema 0,5—2,5% piirides. Mark MT traadiga läbimõõtude juures üle 1 mm teostatakse peale selle paindeproov. Paindeproovi kruustangidel on mokaade ümarusraadius 5—10 mm, painete arv ei tohi olla alla 4—7, sõltuvalt läbimõõdust.

Nimiläbimõõdu tolerantsid ümmarguse traadi juures kõiguvad vastavalt läbimõõdule  $\pm 0,003$  (läbimõõdule 0,1 mm) kuni  $\pm 0,08$  mm (läbimõõdule 10 ja enam mm).

b) **Profiiltraat.** Vasest saab väga hästi tõmmata ka profiiltraati. Sagedamini esinev paljastraadi ristlõige on püstkülik.

Vasest pehmet püstkülikulise ristlõikega paljastraati markeeritakse OCT 8616 järgi tähtedega MFM ja ta peab omama tõmbetugevust mitte alla 21 kg/mm<sup>2</sup> ja suhtelist pikenemist 28—36% piirides. Sellel vasel ei tohi tekkida pragusid ja kihitumist tema painutamisel ümber pulga, mille läbimõõt on võrdne katsetatava vase paksusega. Tolerantsid peavad olema vastavalt püstküliku külgede mõõdetele (0,1—9,3 mm)  $\pm 0,01$ — $\pm 0,07$  piirides.

c) **Vasklint, vasklatt ja kollektorvask.** Lint- ja lattvask võib olla vastavalt OCT 8616 pehme (mark MFM) või kõva (mark MFT). Pehme vask peab vastama samadele tingimustele nagu pehme püstkülikuline vask. Kõva vase tõmbetugevus ristlõigete juures kuni 500 mm<sup>2</sup> ei või olla alla 30 kg/mm<sup>2</sup>, ristlõigete juures üle 500 mm<sup>2</sup> mitte alla 25 kg/mm<sup>2</sup>.

Kollektorvasel on trapetsikujuline ristlõige. Tema kõvadus Brinelli järgi ei tohi olla alla 75 kg/mm<sup>2</sup>. Mõningatel juhtudel, kui on nõutav eriti suure kõvadusega kollektorvask, kasutatakse vähese kadmiumiisandiga vaske. Kollektor- ja lattvaske toodetakse 2—5 m pikkustes lattides, lintvaske aga rullides.

## 7. Alumiinium.

Peale vase on tähtsamaks juhtmematerjaliks alumiinium. Veel kümnekond aastat tagasi oli alumiinium meil peaaegu täies ulatuses importkaup. Praegu omame võimsat alumiiniumi tootmise baasi Volhovi ja Dnepri alumiiniumikombinaatide näol. Sealt peamiselt saavad meie kaablitehased alumiiniumi.

Kaabeltoodete valmistamiseks kasutatakse alumiiniumi mark A 99,5 (OCT 4035 järgi), mis sisaldab kuni 0,5% lisandeid. Suurema puhtusega alumiiniumi (mark A 99,7), milles ei tohi olla lisandeid üle 0,3%, kasutatakse elektrolüütiliste kondensaatorite elektroodideks ja alumiiniumpaberiks.

Alumiiniumi põhikasutuselaks elektrotehnikas on välisõhuliinid. Sakslased kasutasid vase puudumise tõttu alumiiniumi ka maa-aluste kaablite soonteks.

Väliselt on alumiinium hästi tuntav oma hõbevalge värvuse tõttu. Ta on vasest märgatavalt kergem, valtsitud alumiiniumi erikaal on 2,7, valatud alumiiniumi — 2,6. Sulamispunkt on 657° C, keemispunkt 1800° ümber. Kaablitehastesse tuleb alumiinium plokkidena, kaaluga 30—35 kg, pikkusega umbes 1300 mm, ristlõige on ruudukujuline (ruudu küljed 95—100 mm). Alumiiniumi töödeldakse samuti kui vaske algul soojalt valtsidel, pärast traaditõmbamismasinal külmalt.

Alumiiniumi joonpaisumise tegur on suurem kui vasel ja nimelt  $24 \cdot 10^{-6}$ , erisoojus on väga suur: 0,214.

Eritakistus ei või olla OCT/HKTI 7941/740 järgi suurem kui 0,0295, mõõdetuna 20° juures. Faktiliselt on lõõmutatud alumiiniumtraadi eritakistus veidi väiksem — 0,028.

Võrdse ristlõike ja pikkuse juures on alumiiniumtraadi oomiline takistus  $\frac{0,0295}{0,0175} = 1,68$  korda suurem kui vasktraadil.

Selleks, et saada sama takistusega alumiiniumjuhe, tuleb võtta tema ristlõige 1,68 korda vaskjuhtme ristlõikest suurem, s. t. alumiiniumjuhtme läbimõõt peab olema  $\sqrt{1,68} = 1,28$  korda vaskjuhtme läbimõõdust suurem. Siit on selge, et juhul, kui me oleme seotud gabariitidega, tuleb valida vaskjuhe.

Kui aga võrrelda võrdse pikkusega ja võrdse oomilise takistusega alumiinium- ja vaskjuhet, siis selgub, et alumiiniumjuhe on peaaegu kaks korda kergem. Siit järgneb lihtne majanduslik reegel: samasuguse elektrijuhtivusega juhtme valmistamiseks on kasulikum kasutada alumiiniumi sel juhul, kui tema tonni hind ei ole vase tonni hinnast üle kahe korra kallim. Selle ligikaudse arvestuse juures on tähelepanemata jäänud alumiiniumi väiksem mehaaniline tugevus. Alumiiniumi takistuse temperatuuritegur on praktiliselt samasuur kui vasel.

a) **Alumiiniumtraat.** Ümmargust paljast alumiiniumtraati toodetakse OCT 7941 järgi järgmiste markidena: AT — kõva (lõõmutamata), AM — pehme (lõõmutatud).

Traadil mark AM ei või olla tõmbetugevus alla  $8 \text{ kg/mm}^2$  ja suhteline pikenemine tõmbel mitte alla 10—18% (sõltuvalt läbimõõdust).

Traadil mark AT ei või tõmbetugevus olla alla  $16\text{--}17 \text{ kg/mm}^2$  ja suhteline pikenemine mitte alla 1—2%. Peale selle proovitakse kõva traati läbimõõduga üle 1,5 mm paindele kruustangidel mokaade ümarusraadiusega 5—10 mm, mille juures ta peab vastu pidama mitte alla 5—6 painutuse.

Pehme ja kõva alumiiniumtraadi läbimõõdu tolerantsid on määratud OCT 2974-ga ja kõiguvad 0,01—0,08 mm piirides läbimõõtudele 0,1—10 mm. Alumiiniumtraadi tolerantsid on vasktraadi tolerantsidest veidi kõrgemad.

b) **Alumiiniumlatted.** Alumiiniumlattide margid on OCT 5726 poolt määratud järgmistena: AM — pehmed, AT — kõvad, ATT — kõrgendatud kõvadusega.

OCT normides on ette nähtud püstkülkilise ristlõikega lattide tootmine küljepikkustega 0,1—150 mm, millelele vastavad tolerantsid  $\pm 0,02$  kuni  $\pm 0,8$  mm.

Kõige väiksemad tõmbetugevused ja suhtelised pikenemised võivad olla vastavalt markidele: AM —  $8 \text{ kg/mm}^2$  ja 15%, AT —  $12 \text{ kg/mm}^2$  ja 3%, ATT —  $16 \text{ kg/mm}^2$  ja 1%.

Turustatavate alumiiniumlattide pikkuseks on 3,5—6 m.

## 8. Pronks.

Mitmesuguste lisandite juurdelisamisel vasele võib saada mitmesuguseid pronksi liike (fosfor-, räni-, inglistina-, berüllium- ja teised pronksid), mida osaliselt kasutatakse ka juhtmetraadi valmistamiseks.

Berülliumpronks sisaldab 2,3—2,6% berülliumi. OCT 7567 järgi valmistatakse teda läbimõõtudega 0,1—10 mm. Tõmbetugevus ei või olla alla  $80 \text{ kg/mm}^2$  läbimõõtudele kuni 1 mm ja mitte alla  $100 \text{ kg/mm}^2$  läbimõõtudele üle 1 mm. Suhteline pikenemine ei tohi olla alla 0,5—1,0%. Eritakistus — mitte üle 0,065.

Inglistinapronksi nimetatakse sageli ka telefonipronksiks. OCT-i projekti järgi võib ta olla kahesugune: 1) pehme telefonipronks (mark TBM, mis sisaldab inglistina 0,15%, magneesiumi 0,35%, kadmiumi 0,15%, ülejäänud osa — vask) ja harilik telefonipronks (mark TBO, sisaldab inglistina 0,5%, magneesiumi 0,4%, kadmiumi 0,3%). Mõlemat liiki pronkstraat turustatakse läbimõõtes 0,1—3 mm, tolerantsidega  $\pm 0,01$  kuni  $\pm 0,04$  mm. Mark TBM traadi tõmbetugevus peab olema vastavalt läbimõõdule mitte alla  $58\text{--}68 \text{ kg/mm}^2$ , mark TBO traadil —  $65\text{--}75 \text{ kg/mm}^2$ . Suhteline pikenemine tõmbel võib kõikuda

0,5—1% piirides. Eritakistus  $20^{\circ}$  C juures ei tohi ületada 0,03 mark ТБМ puhul ja 0,037 mark ТБО puhul.

Uus vase sulam capalloy on kasutatav neil juhtudel, kui vajatakse suurt elektrijuhtivust, mehaanilist tugevust ja soojuskindlust (kontaktõngad, kollektori lamellid jne.). Selle sulami koostis on: vaske 99,4%, hõbedat 0,06—0,12%, kroomi 0,45—0,55%; lõõmutada tuleb seda sulamit  $450^{\circ}$  C juures 16—24 tundi. Capalloy elektrijuhtivus moodustab 80—90% vase elektrijuhtivusest, takistuse temperatuuritegur on 0,003. Tõmbetugevus — 52—55 kg/mm<sup>2</sup>. Brinelli kõvadus 140—160 kg/mm<sup>2</sup>. Capalloy võib pidevalt töötada temperatuuridel kuni  $400^{\circ}$  C.

### 9. Aldrey.

Ülalpool nägime, et alumiiniumil on kaugelt väiksem mehaaniline tugevus kui vasel. Seda puudust on võimalik kõrvaldada, kui puhta alumiiniumi asemel kasutada alumiiniumi sulameid teiste metallidega. Sel teel on võimalik alumiiniumi tõmbetugevust suurendada umbes kaks korda, ilma et eritakistus märgatavalt tõuseks.

Alumiiniumi sulameist on elektrotehnikas sagedamini kasutamisel aldrey. Aldrey ligikaudne koostis on: räni — 0,4—0,5%, magneesiumi 0,4—0,6%, rauda 0,2—0,3%, ülejäänud osa — alumiinium.

Aldrey kõrgendatud kõvadus saadakse tema erilise termilise töötlemise teel. Toormaterjal karastatakse enne traaditõmbamist  $500—515^{\circ}$  juures ja noolutatakse, millele järgneb traaditõmbamine. Teiskordselt noolutatakse valmistraati  $160—165^{\circ}$  juures kahe tunni jooksul. Sageli jäetakse esimene noolutamine lihtsustamise mõttes ära. Seiliselt valmistatud aldrey-traat on tõmbetugevusega 32—35 kg/mm<sup>2</sup> ja eritakistusega 0,031—0,033.

### 10. Raud.

Väikeste võimsuste ülekandmiseks on mõnikord otstarbekohane kasutada raudjuhtmeid, kuna väikese voolutugevuse juures juhtme ristlõike määramisel arvestatakse mitte juhtme takistust, vaid tema mehaanilist tugevust. Raua kasutamine teeb liini odavamaks ja hoiab kokku defitsiitseid värvilisi metalle.

Alalisvoolu puhul on raudjuhtmete eritakistus 7—8 korda suurem kui vasel. Vahelduvvoolu puhul lisanduvad sellele veel hüstereesikaod. Peale selle avaldub raudjuhtmes palju tugevamalt kui mittemagnetilistes materjalides pinnaefekt, mis veelgi suurendab raudjuhtme elektrilist takistust.

Selletõttu on alalisvoolu puhul soovitatav tarvitada minimaalse eritakistusega, minimaalsete hüstereesikadudega ja madala magnetilise läbitavusega rauda.

Raua valikul elektrijuhtmeteks on määrava tähtsusega ta süsinikusisaldus. Tehniliselt ja majanduslikult kõige kasulikum on kasutada

rauda, mis sisaldab 0,1—0,15% süsinikku. Sellise raua tõmbetugevus on 70—75 kg/mm<sup>2</sup>, suhteline pikenemine 5—8% ja elektrijuhtivus 13,5% vase elektrijuhtivusest, s. o. 20—30% suurem kui harilikul raual. Raua erikaal on 7,8, sulamistemperatuur — 1400°.

Terasalumiinium-õhukaablite südamikuna kasutatakse eriti tugevat tsingitud terastraati läbimõõduga 1—3 mm. Selle traadi tõmbetugevus peab olema 120—150 kg/mm<sup>2</sup> piirides, suhteline pikenemine mitte alla 4—5%.

Tsink-kate peab vastavalt läbimõõdule vastu pidama 5—8 üheminutilist leotamist 20%-lises vasesulfaadi lahuses. See katse teostatakse tsinkimise vastupidavuse kontrolliks atmosfääriliste mõjutuste vastu.

## 11. Bimetall.

Bimetalli all mõistetakse metalli, mis on kaetud teise metalli kihiga, kusjuures mõlemad metallid on omavahel ühendatud keevituse, elektrofüütilisel või mõnel teisel teel selliselt, et painutamisel, löiketöötlemisel jne. need kihid üksteisest ei eraldu. Laialdaselt kasutatakse korrosiooni kaitseks alumiiniumiga kaetud rauda (feran), alumiiniumiga kaetud alumiiniumisulameid (alclad) jne. Elektrotehnikas kasutatakse peamiselt juhtme bimetalli, s. o. vasega kaetud rauda ja termilist bimetalli, s. o. kahest erineva joonpaisumise koefitsiendiga metallist kokkukeevitatud linti.

Juhtme bimetalil omab suurt mehaanilist tugevust (raua tõttu) ja suurt elektrijuhtivust. Vase olemasolu bimetalli väliskihis soodustab kõrge elektrijuhtivuse saamist vahelduvvoolu juures, kuna eriti kõrgesageduslikud voolud tihenduvad juhtme välispinnal, peale selle kaitseb vask rauda korrosiooni eest.

Juhtme bimetalil leiab kasutamist kõige sagedamini ümmarguse traadi näol. See traat valtsitakse bimetalloplokist (terasplokk, mis on kaetud elektrofüütilise vase kihiga), kusjuures vasesisaldus valmis-traadis ei tohi tõusta üle 50% kogu bimetallist traadi kaalust.

OCT 5152 järgi valmistatakse seda traati läbimõõdudes 1; 2; 2,5; 3; 3,5 ja 4 mm. Läbimõõdu tolerants läbimõõdule 1 mm on +0,07 mm, teistele läbimõõdudele +0,08 kuni —0,03 mm. Traadi tõmbetugevus peab olema mitte alla 55—70 kg/mm<sup>2</sup> (mida peenem traat, seda suurem tõmbetugevus). Suhteline pikenemine ei tohi olla alla 2%.

Alalisvoolu elektritakistus 20° C juures 1 kilomeetri traadipikkuse kohta ei tohi olla üle allpooltoodud suuruste:

Läbimõõdu juures	1 mm	— 64	oomi,
„	2	„ — 16	„
„	2,5	„ — 10,24	„
„	3	„ — 7,11	„
„	3,5	„ — 5,22	„
„	4	„ — 4,00	„

Bimetalltraati turustatakse rullides, kaaluga 6—26 kg.

Peale ümmarguse traadi valmistatakse juhtme bimetallist lüliteid, juhtmelatte ja teisi elektriaparatuuri voolujuhtivaid osi.

Viimasel ajal on levinemas juhtme bimetall, mida saadakse vase galvaanilisel sadendamisel rauale. Seejuures saavutatakse väga ühtlane ja õhuke kate, kusjuures ühendus raua ja vase vahel on küllalt tihe.

Peale tehniliste kaalutluste on juhtme bimetalli kasutamise põhjuseks defitsiitse ja kalli vase kokkuhoid.

Termiline bimetall paindub temperatuuri mõjul ühele või teisele poole (kuna suurema joonpaisumisega metall pikeneb rohkem, väiksema joonpaisumisega metall vähem), mida kasutatakse ära mitmesuguste termoregulaatorite ja termiliste releede juures.

NSV Liidus toodetakse kahte marki termilist bimetalli: BM-1 invarist ja mittemagnetilisest terasest ja BM-2 invarist ja messingist. Invari kasutamise põhjuseks on tema eriti väike joonpaisumine. Toodetavate lintide laius on 15—30 mm, paksus 0,3—0,6 mm. Kummagi metallikihi paksus on peaaegu võrdne.

Vase ja alumiiniumi ühenduskohtades tekib kergesti nn. galvaaniline korrosioon. Selle nähtuse vältimiseks soovitatakse kasutada erimaterjali, mida nimetatakse elektroakupaaliks.

See materjal koosneb kahest kihist — vasest ja alumiiniumist: 30% on vask ja 70% alumiinium. Elektroakupaaali kasutatakse ühenduskohtades selliselt, et tema vaskkiht ühendatakse vaskjuhtmega ja alumiiniumkiht alumiiniumjuhtmega. Kuna keevituspind lehe sisemuses on kaitstud niiskuse sissetungimise eest, siis ei teki galvaanilist korrosiooni ja juhtme ühenduskoht on püsiv. Elektroakupaaali kasutatakse alumiiniumjuhtmete vaskklemmidega ühendamisel jne.

Rääkides mitmesugustest bimetallidest, tuleb mainida ka ülikergete metallide (naatrium, kaltsium jne.) kasutamist juhtmematerjalina. Need metallid omavad võrdlemisi väikese eritakistuse juures (naatriumil — 0,042, kaltsiumil — 0,0427) ka väikest erikaalu (naatrium — 0,97, kaltsium — 1,55), mispärast neist metallidest valmistatud juhtmed on väga kerged (väikseimat eritakistuse ja erikaalu korrutise suurust, mis iseloomustab antud pikkusega ja antud takistusega juhtme kaa'u, omab kõikidest metallidest naatrium); neid metalle on pealegi võimalik suurtes kogustes toota mittedefitsiitsetest materjalidest (keedusool, lubi) elektrolüüsi teel. Selletõttu kerkib üles nende metallide kasutamise küsimus õhuliinide juhtmetena ja ka teistel juhtmeil.

Kuna need metallid on keemiliselt väga aktiivsed ja õhu käes kiiresti ning energiliselt hapenduvad, siis on vajalik neid kaitsta terasest või mõnest muust materjalist kattega. Selliseid bimetalljuhtmeid — naatrium-teras — on seni kasutatud üksikuil juhtudel väga suurte voolutugevuste ülekandmisel lühikestele kaugustele.

## 12. Juhtmaterjalide korrosioon.

Korrosiooniks nimetatakse mitmesuguste materjalide, eriti metallide hävimist keemiliste või elektrokeemiliste mõjutuste tõttu. Korrosiooninähtus on määratu suure rahvamajandusliku kahju põhjuseks, kuna vaatamata kõigile kasutatavaile kaitsevahendeile ta hävitab aastas 30—40% toodetavast metallist. Enamikul juhtudel esineb korrosioon hapendumise (roostetamise), lahustumise jne. näol.

Metallide korrosioon võib olla kas puhtkeemiline või elektrokeemiline. Elektrokeemiline korrosioon võib olla kahesugune: galvaaniline või elektriline, viimane tekib välise vooluallika mõjul.

Puhtkeemiline korrosioon esineb siis, kui metall puutub kokku õhuga, veega või mõne metallile keemiliselt mõjuva ainega. Nii näiteks on kummi-isolatsiooniga vaskjuhtmed kaetud õhukese inglistinakihiga. Tinutamine on vaja'ik selleks, et kummis sisalduv väävel ei saaks mõjuda korrodeerivalt vasele (sel juhul muide ka vask mõjub kummile korrodeerivalt).

Õhu ja vee mõjul korrodeeruvad raudjuhtmed kergesti, mistõttu neid kasutatakse tsingituna. Teiselt poolt, kuigi alumiinium õhus hapendub, kattub ta kiiresti hapendikihiga, mis teda edaspidise hapendumise eest kaitseb. Vaskjuhtmed korrodeeruvad õhus väga vähe. Siiski tekib vask- ja alumiiniumjuhtmete keemiline korrosioon, kui nad mööduvad tehastest, millede heitegaasid on keemiliselt aktiivsed.

Alumiiniumist juhtmed korrodeeruvad mereõhu mõjul, mistõttu reas mais (näiteks Jaapanis) alumiiniumjuhtmed kaetakse lakikihiga.

Elektriline korrosioon tekib kõigil neil juhtudel, kui esineb alalisvoolu üleminek metallilt vette, niiskesse mulda või mingisugusesse juhtivasse vedelikku. Selle korrosiooniliigi all kannatavad kõige rohkem seatinast kaablimantlid, maandamisjuhtmed, torustikud ja teised maa sees asuvad metallseadmed. Selle korrosiooniliigi peamiseks põhjuseks on nn. rändavad voolud, mis satuvad maasse trammiroobastelt või mõnelt muult alalisvoolu kandvalt detaililt. Rändavate voolude poolt tekitatava kahju vähendamiseks tuleb kaablid asetada maasse võimalikult kaugele trammiliinidest ja elektrifitseeritud raudteest.

Parimaks ja radikaalseimaks korrosioonikaitse abinõuks kaablite juures on bituumeniga immutatud kiudmaterjalist mantliga isoleerimine.

Galvaaniline korrosioon pakub meile samuti huvi. Ta avaldub neil juhtudel, kui kahe erineva metalli ühenduskoht on kontaktis veega või ainult niiske. Näiteks tekib galvaaniline korrosioon vask- ja alumiiniumjuhtmete ühenduskohtadel, mis sageli viib ühenduskoha täielikule hävimisele. Galvaaniline korrosioon võib tekkida ka paiklikest materjalid ebapuhtustest. Kaitseks galvaanilise korrosiooni vastu tuleb metallid katta niiskuskindate kaitsekihtidega, mil'eks nad tinutatakse ja kaetakse seatinaga jne.

### III peatük k.

## TAKISTUSSULAMID JA MITMESUGUSED METALLID.

Käesolevas peatükis vaadeldakse takistussulamiteid, mida kasutatakse elektrotehnikas soojenduselementide materjalina, käivitus- ja reguleerimisreostaatide ja etaloonide materjalina, samuti ka mitmesuguseid metalle, mida kasutatakse mitmesugustel erijuhtudel.

### 13. Takistussulamite omadusi.

a) **Nõuded soojenduselementide materjalile.** Valdav enamik elektri-ahje ja muid elektrisojendajaid on ehitatud elektrienergia soojuseks muutumise printsiibil suure takistusega juhtmes. See toimub Joule'i seaduse järgi, mida väljendatakse järgmise valemiga:

$$Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t$$

Joule'i seaduse järgi on ajaüksuses ( $t = 1$  sek.) eralduv soojushulk  $Q$  võrdeline voolutugevuse ruuduga  $I^2$  ja soojenduselemendi takistusega  $R$ . Juhtme takistus aga on  $R = \frac{\rho \cdot l}{S}$ . Takistuse suurust on võimalik muuta juhtme pikkuse või ristlõike muutmise teel. Kuna konstruktiivseil kaalutlusil peab soojenduselemendi takistustraadi ristlõike küllaldase mehaanilise tugevuse ja korrosioonikindluse tagamiseks olema küllalt suur ja pikkus võimalikult väike, kui element tuleb paigutada võrdlemisi kitsasse ruumi, siis on tähtsamaks soojenduselemendile esitatavaks nõudeks suur eritakistus.

Enamikul juhtudel töötab soojenduselement pidevalt kõrge temperatuuri juures. Siit järgneb kaks tema materjalile esitatavat nõuet: materjal peab olema kõrge sulamistemperatuuriga ja peab hapendumata ja korrosioonita taluma pidevat töötamist kõrge temperatuuri juures. Selle juures ei tohi muutuda ka materjali omadused.

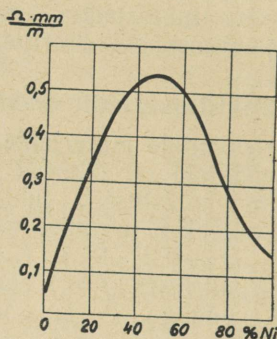
Mitte väikese tähtsusega ei ole ka takistuse temperatuuritegur. Suure temperatuuriteguriga takistusmaterjalist soojenduselementide kasutamisel tuleb võimsuse reguleerimiseks kasutada reostaati või suuremate võimsuste puhul isegi toita soojendajat astmelise transformaatori või pingeregulaatori abil, mis teeb seadeldise keerukaks ja kalliks. Siit järgneb nõue, et soojenduselemendi materjal olgu väikese temperatuuriteguriga.

Huvitavad on hõbeda ja telluuri sulamid, millel on negatiivne temperatuuritegur.

Nagu iga konstruktiivne materjal, nii ka soojenduselementide materjal peab olema küllaldase mehaanilise tugevusega nii normaaltingimustes kui ka töötemperatuuride juures. Peab meeles pidama, et metallide mehaaniline tugevus temperatuuri tõusuga tugevasti langeb (vrd. tab. 7).

Edasi on selge, et kirjeldatavad materjalid peavad olema kergesti töödeldavad, hästi keevitatavad ja joodetavad, ei tohi sisaldada defitsiit-seid koostosi ja peavad olema võimalikult odavad.

Nõukogude Liidus valmistatavaist sulameist vastavad püstitatud nõuetele järgmised: kroomnikkel, fekraal, kromaal ja osaliselt — madalamate temperatuuride puhul — ka konstantaan.



Joon. 27. Vasknikkel-sulamite eritakistuse olenevus koostises.

b) **Nõuded reostaatide materjalidele.** Kuna reostaadid harilikult töötavad mitte kõrgemate kui 250—300° temperatuuride juures, siis neilt materjalidelt ei nõuta kõrget sulamistemperatuuri ja korrosioonikindlust kõrge temperatuuri juures. Teised esimese rühma materjalidele esitatavad nõuded, nagu suur ja temperatuuri mõjul vähe muutuv eritakistus, mehaaniline tugevus, mis püsib vähemalt 300—400°-ni, odavus, kerge töödeldavus, jäävad püsima ka siin.

Nõukogude Liidus toodetavaist sulameist vastavad neile nõudeile konstantaan, manganiin, MCM-1 ja MCM-3.

c) **Nõuded takistus-etaloonide materjalidele.** Materjal, millest valmistatakse takistus-etaloonid, lisatakidused elektrimootorite jaoks jne., peab omama suurt eritakistust, äärmiselt madalat temperatuuritegurit, väga väikest termoelektromotoorset jõudu termopaaris vasega (muidu võivad mõõtmisel tekkida vead juhuslike termoelektromotoorsete jõudude tekkimisel skeemis), elektriliste omaduste ajaline püsivus ja korrosioonikindlus atmosfääriliste mõjutuste suhtes. Neile nõudeile vastab kõige paremini manganiin.

Ülaltoodud nõuete võrdlusest nähtub, et on otstarbekohane kasutada takistusmaterjalideks mitmesuguseid metallide sulameid. Üldise

reeglina omavad sulamid kõrgemat eritakistust ja väiksemat temperatuuritegurit kui puhtad metallid. Seda näitab piltlikult joon. 27, mis annab eritakistuse olenevuse koostisest vasknikkel-sulamite juures (vrd. joon. 8 ja 24).

d) **Takistussulamite põhiomadusi.** Ülaltoodud nõuete graduatsioon on muidugi üldine. Igal üksikul juhul tuleb lähtuda neist nõudeist, mida esitatakse vastavale aparaadile või soojendusriistale. Näiteks, kui soojenduselement töötab mittehapendavas atmosfääris, siis võib kasutada väiksema soojuskindlusega materjali. Või kui elektriahi töötab pikemat aega pidevalt kõrge temperatuuri juures, siis võib soojenduselemendi materjali temperatuuritegur olla ka suur. Madala töötemperatuuriga soojenduselemendiks võib kasutada ka reostaadi rühma materjale.

Takistussulamite tehniline iseloomustus ja keemiline koostis on toodud tabelites 5 ja 6.

#### 14. Takistussulamite liigid.

a) **Kroomnikkel.** Kroomnikkel on praegu üheks sagedamini kasutatavaks elektriahjudete ja soojendusriistade takistussulamiks. Tema maksimaalne töötemperatuur võib olla 1000—1100°. Kroomnikli markisid on väga palju, kuid kõikide tabelis 5 toodud koostisele lähedaste sulamite omadused on peaaegu sarnased. Kroomnikkel on põhiliselt kroomi ja nikli sulam (sellest ka tema nimetus) väheste raua- ja mangaanilisan-ditega. Rauda lisatakse kroomniklile juurde tema hinna vähendamiseks ja töödeldavuse (valtsimisel, tõmbamisel, sepistamisel jne.) parandamiseks, kuid ta alandab töötemperatuuri lubatavat maksimumi. Mangaan parandab samuti töödeldavust. Kroomisisalduse suurendamine mõjub töödeldavusele negatiivselt (tekib kõrgendatud kõvadus), suurendab aga eritakistust, vähendab takistuse temperatuuritegurit ja tõstab sulami korrosioonikindlust hapendumise suhtes.

Kroomnikkel on pideva soojenduse puhul pika eaga. Seda põhjustab asjaolu, et kõrge temperatuuril pealmine kroomniklikiht kattub õhukese hapendikihiga. See kiht on niivõrd tihe, et hapniku juurdepääs alumistele metallikihtidele on raskendatud. Hapendikiht sulab kõrgema temperatuuri juures kui kroomnikkel ise. Olenevalt kroomnikli koostisest muutuvad ka hapendikihi omadused, raud vähendab tema kaitsevõimet, kroom aga parandab. Kaitsevõime oleneb ka kihi pidevusest. Praod kaitsekihis soodustavad hapniku juurdepääsu alumistele metallikihtidele ja vähendavad kroomnikli eluiga. Soojenemise ja jahtumise vaheldumine kutsub esile nii metalli kui ka hapendikihi vahelduva paisumise ja kokkutõmbumise. Kuna hapendikihi keemiline koostis on erinev sulami omast (hapendikiht koosneb kroomoksüüdist  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , nikkeloksüüdist  $\text{NiO}$  ja teistest oksüüdidest), on tal ka erinev joonpaisumise koefitsient. Selle tulemusena hapendikiht vahelduva soojenemise ja

Tabel

Sulami nimetus	Koostis %/o								Mitmesugused lisandid mitte üle
	Vask	Nikkel	Kroom	Mangaan	Alumiinium	Räni	Süsinik	Raud	
Kroomnikkel	—	63—71	14—16	1—2	—	—	—	14—18	1
Fekraal . .	0,2—1,1	—	12—15	0,3—1	3,5—5,5	0,2—1	0,3	76,9—72,7	—
Kromaal . .	—	—	28—32	0,3—0,6	3,5—5	0,8	0,15	61—68	—
Konstantaan	56,9—60	39—41	—	1—1,4	—	—	—	—	0,5
Manganiin .	82,6—86,5	2,5—3,5	—	11—13	—	—	—	—	0,9
MCM-1 . .	1,5—2	—	—	18—22	—	1—1,5	0,4—0,7	74—79	—
MCM-3 . .	1,5	—	25	1,5	3	1	0,15	93,3	0,5

Kroomnikli, konstantaani ja manganiini keemiline koostis on võetud OCT HKTI 3271 järgi, teistel sulamitel — keskmiste analüüsandmete järgi.

Tabel 6.

Sulami nimetus	Erikaal	Sulamistemperatuur °C	Joonpaisumise koefitsient 10 <sup>-5</sup> /°C	Termoelektromotoorne jõud paaris vasega $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	Eritakistus $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Takistuse temperatuuritegur 10 <sup>-5</sup> /°C	Tõmbe-tugevus kg/mm <sup>2</sup>	Suhteline pikenemine %/o
Kroomnikkel	8,2	1375	1,2	—	1—1,1	12—40	70	25
Fekraal . .	7,6	—	—	—	1,15—1,3	8	70	20
Kromaal . .	7,1	—	1,55	—	1,25—1,35	4	60—80	21
Konstantaan	8,9	1270	1,22	30—40	0,46—0,52	lähedane nullile	40—65	28
Manganiin .	8,4	960	1,6	0,9—2	0,4—0,48	1—3	42	30
MCM-1 . .	—	—	—	—	0,85	60	—	—
MCM-3 . .	—	—	—	—	0,8	45	—	—

jähkumise puhul praguneb ja langeb maha, mis vähendab kroonnikli eluiga.

Temperatuuri tõusuga tõuseb ka kroonnikli hapendumiskiirus, mistõttu ei tohi ka väikestki osa soojenduselemendist üle soojendada. See kutsuks esile ülekuumendatud osa intensiivse hapendumise, traadi ristlõike vähenemise ja koos sellega takistuse suurenemise sellel kohal, mis omakorda kiirendab soojuse eraldumise tõusu — ja ülekuumendatud koha läbipõlemine toimub kiiresti.

Ei tule unustada ka seda, et kroonniklil asuv kaitsekiht annab kõrgete temperatuuride juures asbestiga ja šamotiga kergesti sulavat (ca 800°) räbu. Kui töötemperatuur on räbu sulamistemperatuurist kõrgem, siis räbu sulab ja jookseb traadilt maha, võimaldades hapnikule juurdepääsu metallile, tekib uuesti hapendikiht, mis omakorda annab räbu jne., kuni kroonnikeltraat põleb läbi.

Kroonniklist küttekehade kandjatena elektriühjades tuleb seepärast kasutada alundi (sinterkorund) või magnesiiti.

Kroonniklil tekkival kaitsekihil on teatavaid isoleerivaid omadusi. Ins. V. P. Tšeranev valmistas laboratooriumi elektriühje, mille küttekeha oli mähitud kroonnikke'traadist, tihedalt keerd keeru kõrvale. Sel juhul ei tohi naaberkeerdude vahel olla pinge üle 0,5 voldi.

Temperatuuri mõju tõmbetugevusele illustreerib tabel 7.

Tabel 7.

Temperatuur °C . . . . .	20	500	600	700	800	900	1000
Tõmbetugevus kg/mm <sup>2</sup> .	70	40	35	27	15	7	4

NSV Liidu tööstuse poolt toodetakse kroonniklit lintidena, traadina ja lehtedena. Traat turustatakse läbimõõtudes alates 0,1 mm (sortiment OCT HKTII 3934 vastavalt), lint ristlõikega 0,1×1,0 mm ja rohkem. Moskva tehas „Serp i Molot” toodab kroonniklit mark XH 60 ja tehas „Elektrostal” — mark 3XH 60.

Kroonnikkel on väga kallis, kuna ta sisaldab palju niklit. Viimasel ajal tõrjutakse ta välja odavamate sulamite poolt, milleks esmajärjekorras on fekraal ja kromaal.

b) **Fekraal.** Fekraal ei sisalda niklit, kuid vaatamata sellele ei jää ta oma omadustelt kroonniklist maha, eritakistuse poolest isegi ületab teda, samuti on ta eritakistus temperatuuri kõikumiste juures stabiilsem. Fekraal asendab kroonniklit eduga töötemperatuuride juures alla 800—900°. Kõrgemate temperatuuride juures muutub fekraal rabedaks ja tema mehaaniline tugevus väheneb. Fekraali puudusteks on veel väike plastilisus ja väga suur kõvadus. Väikese ristlõikega traatide ja lintide valmistamisel on suuri tehnoloogilisi raskusi.

Fekraali, samuti kroomnikli ja kromaali nimetused on tekkinud peamiselt koosteosade ladinakeelsete nimetuste esimeste tähtede liitmisel, antud juhul raud — kroom — alumiinium.

c) **Kromaal.** Suurem kroomisisaldus, võrreldes fekraaliga, tõstab kromaali töötemperatuuri kuni 1100—1200°, kuid mõjub negatiivselt töödeldavusele, kuna ka kõvadus tõuseb. Kromaalist lindi saamine ristlõikega alla 20×2 mm on üsna raske. Neil põhjustel on kromaalist küttekehade kasutamine levinud peamiselt suure võimsusega elektriühjades.

Fekraal ja kromaal turustatakse tehase „Serp i Molot” poolt markide all СИМХ-13-Ю ja СИМХ-30-Ю.

Eriti kõrge töötemperatuuriga sulameid võib saada koobalti lisamisel. Selle rühma sulamiks on k a n t a a l.

d) **Konstantaan.** Konstantaan on laialt levinud reostaatide ja soojendusaparatuuride materjaliks töötemperatuuride juures alla 500°. Sulami nimetus tuleb tema omadusest hoida takistust konstantsena ka muutuva temperatuuri puhul.

Konstantaanile on iseloomustav suur termoelektromotoorne jõud paaris vase ja teiste metallidega (vt. tab. 6). Selletõttu kasutatakse teda koos vase või rauaga termoelementide valmistamiseks, milledega mõõdetakse temperatuure kuni 500—600°. Konstantaani see omadus ei luba temast valmistada takistus-etaloone ja takistuskaste.

Konstantaani turustatakse traadina, läbimõõduga 0,03 mm ja jämedamat, ning lintide näol, ristlõikega alates 0,1×4 mm. Konstantaantraadil sortimendi määrab OCT НКТП 3934 ja lindil OCT НКТП 7593.

e) **Manganiin.** Manganiini kasutatakse suurel hulgal takistus-etaloonide, takistuskastide ja elektrimõõteriistade takistuste valmistamiseks. Teda võib odava sulamina kasutada ka reostaatide ja soojendusriistade materjalina, tuleb aga meeles pidada, et tema töötemperatuur ei tohi tõusta üle 300° C. Neil juhtudel, kui vajatakse eriti suurt takistuse konstantsust pikema aja jooksul, ei ole soovitatav manganiini soojendada üle 60°. Järk-järgulise hapendumise vältimiseks soovitatakse teda katta lakikihiga.

Manganiinile on iseloomulik kollakas värvus. Nimetuse on ta saanud suurest mangaanisisaldusest.

Madalate temperatuuride juures võib eduga kasutada meie kaabli-tehaste poolt turustatavat emailitud konstantaantraati (mark ПЭК) ja emailitud manganiintraati (mark ПЭМ).

Teistest selle rühma takistussulamitest võib märkida veel u u s - h õ b e d a t, n i k e l l i i n i ja r e o t a n i. Kuna nende töötemperatuur on madal (mitte üle 150°) ja nad sisaldavad märgatava hulga niklit, siis on nende kasutamine viimasel ajal vähenenud ja nende asemele on kasutamisele tulnud eespoolkirjeldatud sulamid.

## 15. Mitmesugused metallid.

a) **Volfram.** Volfram on praegu elektrilampide hõõgniitide valmistamise põhimaterjaliks. See niit töötab volframi hapendumise vältimiseks vaakuumis või sagedamini keemiliselt neutraalse gaasi — lämmastiku atmosfääris. Volframi kasutatakse ka veel kontaktide materjalina ja soojenduselementide materjalina kõrge temperatuuriga elektriühjades.

Volframi erikaal on väga suur — 20 ümber. Eritakistus on  $20^{\circ}$  juures 0,055, takistuse temperatuuritegur on 0,005. Sulamispunkt —  $3350^{\circ}$  C, keemispunkt —  $5700^{\circ}$  C. Joonpaisumise koefitsient on  $5 \cdot 10^{-6}$ . Volframniitide tõmbetugevus on väga suur — 200—400 kg/mm<sup>2</sup> (suurem tõmbetugevus on peenematel niitidel).

Volframmaakide pealeiukohad NSV Liidus on Ida-Siberis. Neist maakidest saadakse volfram keeruka keemilise protsessi teel peenikese pulbrina. Volframi kõrge sulamistemperatuur ei võimalda tema ümbersulatamist, mistõttu ta pressitakse terasvormides 1000—2000 atm. surve all pulkadeks ja lastakse eriahjudes 1000—1100<sup>o</sup> juures ja vesiniku atmosfääris kokku paakuda. Üksikute metalliterakeste kokkukeevitumise tagamiseks soojendatakse neid pulki veel erilistes elektriühjudes vesiniku atmosfääris 3000<sup>o</sup>-ni. Vesiniku atmosfääri kasutamiseks põleks volfram ära. Selliselt saadud pulgad sepistatakse erilistel tagumismasinatel ja tõmmatakse traadiks. Volframtraati võib saada läbimõõduga kuni 0,011 mm. Veel peenemat traati saadakse tõmmatud traadi peitsimisel kaalium- ja naatriumsalpeetri sulatatud seguga 340<sup>o</sup> juures.

b) **Molübdeen.** Molübdeeni kasutusala on sama mis volframilgi. Õhus soojendamisel ta hapendub sama kiiresti ja 600<sup>o</sup> juures hakkab põlema. Ta peab töötama keemiliselt neutraalses atmosfääris, temperatuuridel üle 1650<sup>o</sup> hakkab ta märgatavalt aurama.

Molübdeeni erikaal on 10,2, eritakistus 20<sup>o</sup> juures — 0,048, takistuse temperatuuritegur on 0,00473, sulamispunkt — 2500<sup>o</sup>, paisumiskoeffitsient  $5,2 \cdot 10^{-6}$ .

c) **Plaatina.** Plaatina on väärismetall, mis ei hapendu õhu mõjul ja on keemiliselt väga stabiilne. Tema eritakistus on 0,1, takistuse temperatuuritegur — 0,00307, sulamistemperatuur — 1760<sup>o</sup>. 1300<sup>o</sup> juures hakkab ta pudenema tolmuks. Plaatinat kasutatakse elektrotehnikas kontaktideks, termopaarideks temperatuuride mõõtmisel kuni 1600<sup>o</sup> (paaris plaatina-roodiumi sulamiga) ja laboratoorseis ahjudes temperatuuride juures 1100—1500<sup>o</sup>. Elektriühjude soojenduselementide valmistamiseks kasutatakse plaatinat traadina läbimõõduga 0,2—0,5 mm ja 0,0007 mm paksuse lindi näol. Elektromeetri liikuva süsteemi ülesriputamiseks kasutatakse plaatinatraati läbimõõduga 0,001 mm. Sellise traadi saamiseks kaetakse plaatinatraat hõbedaga, tõmmatakse peeni-

keseks traadiks, väline hõbedakiht lahustatakse salpeeterhappes, kuna p'laatina jääb happest puutumatusena peenikese traadina püsima.

d) **Seatina**. Enamik elektrotehnikas kasutatavat seatina läheb kaablite mantliteks, mis neid kaitseb niiskuse mõju eest. Peale selle kasutatakse teda akumulaatorite elektroodide ja sulavkaitsmete materjalina.

Seatina on halli värvusega metall, mille värske lõige on tugeva metallilise läikega, mis aga kiiresti õhu käes tuhmub pinnalise hapendumise tõttu. Seatina erikaal on 11,4, sulamistemperatuur 327<sup>o</sup>, keemistemperatuur 1560<sup>o</sup>. Seatal on suurekristalliline ehitus, salpeeterhappega peitsimisel muutuvad need kristallid ka palja silmaga nähtavaks. Seatina eritakistus on 0,222.

Seatina on üsna vastuvõetav materjal kaabli mantlite jaoks tänu oma madalale sulamistemperatuurile, pehmusele (seatinamantliga kaablite painutamine ei tee raskusi), omadusele vett mitte läbi lasta ja korrosioonikindlusele. Seatal aga on ka puudusi: ta on defitsiitne ja kallis, üsna raske, vähe elastne, mis põhjustab sagedaste painutuste puhul või korduvate paisumiste ja kahanemiste puhul temperatuurimuutuste tõttu tühemike tekkimist seatinakatte all, mis põhjustavad ionisatsiooni. Peale selle on seatina tundlik vibreerimisele (sageli korduvaile tõugetele ja löökidele), eriti kõrgendatud temperatuuri juures. Seatinamantliga kaabli asetamisel raudtee ligiduses, sildade lähedal ja laevadel võib see omadus kiiresti rikkuda seatinakatte.

Seatina ei ole alati ka päris korrosioonikindel. Mage ja soolane vesi, soolhape ja väävelhape ja paljud teised kemikaalid ei korrodeeri seatina, salpeeterhape, äädikhape, lubi ja mädanevad orgaanilised ained aga rikuvad teda. Lubjatükike, mis on pandud seatinast kaablimentli peale, sööb sellele augu sisse. Värskest segatud betoon, krohv, kriit ja parkained rikuvad õhu ja niiskuse juuresolekul seatina, mistõttu ei ole soovitatav asetada seatinamantliga kaableid hiljuti ehitatud betoonist kanalatsioonitruudesse. Merevesi sööb seatina sel juhul, kui ta sisaldab palju õhku, mida on tähele pandud madalasse vette paigutatud kaablite juures.

Mehaanilise tugevuse suurendamise otstarbel (mis annab võimaluse vähendada mantli seina paksust) ja vibreerimiskindluse tõstmiseks lisatakse sageli seatinale antimoni, kadmiumi, inglistina, vaske ja telluuri. Sellised sulamid aga on väiksema korrosioonikindlusega kui seatina ise.

Seatina on väga mürgine. Seatinamürgitused esinevad eriti siis, kui seatina töötlemine toimub kõrgendatud temperatuuri juures, kus seatina aurub ja ventilatsioon on vilets.

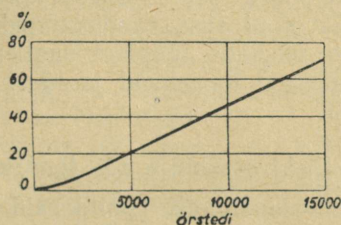
OCT 8032 järgi valmistatakse seatina nelja marki, vastavalt puhusele: C1, C2, C3, C4. Parim mark on C1 ja halvim — C4. Kaablimentliteks kasutatakse marki C3, mis sisaldab kuni 0,3% lisandeid. Sea-

tina tuleb kaablitehastesse plonnidena, kaaluga kuni 50 kg. Plonnide pinnal ei tohi olla pulbrilisi seatina oksüüde. Akumulaatorite tööstuses kasutatav seatina peab olema puhtaim — mark CI, lisanditega mitte üle 0,01%.

Seatinamaake leidub NSV Liidu piirides mitmel pool — Kasahstanis, Altais, Kaug-Idas, Kaukaasias jne. Suurimad seatinatehased on Tšimkendis (Lõuna-Kasahstanis), Alagiris (Kaukaasias), Ridderi kombinaat (Altai)

e) **Elavhõbe.** Elavhõbe on ainuke normaaltemperatuuri juures vedel metall. Tema hangumistemperatuur on  $-39^{\circ}$ , keemistemperatuur on  $357^{\circ}$ . Erikaal — 13,55, eritakistus — 0,95.

Elavhõbedat kasutatakse elektrotehnikas elavhõbedalampides, aladajais, dielektrikute omaduste mõõtmisel elektroodi materjalina ja teistel laboratoorse praktika juhtudel.



Joon. 28. Vismuti takistuse suurenemine magnetvälja mõjul.

Õhu käes soojendamisel hapendub elavhõbe kergesti. Elavhõbe ja tema soolad on mürgised. Eriti tuleb alla kriipsutada elavhõbede aurude kahjulikku mõju inimesele, mistõttu ruumid, kus töötatakse kas või väikeste elavhõbede kogustega, peavad omama head ventilatsioonit. Tuleb ette näha kõik ohutustehnika poolt määratud profülaktilised vahendid (piima ja rasva väljaandmine jne.).

f) **Vismut.** Vismut on rabe metall, erikaaluga 9,8. Sulamistemperatuur —  $271^{\circ}$ , keemistemperatuur —  $1450^{\circ}$ . Vismuti huvitavamaks omaduseks on tema eritakistuse suurenemine magnetvälja mõjul. Vismuti eritakistus on 1,2; eritakistuse tõus %-des on toodud joon. 28, olenevalt talle mõjuva magnetvälja tugevusest. Vismutit kasutatakse (lamedast traadist spiraalina) elektrimasinate magnetvälja mõõtmiseks jne. Termopaaris hõbedaga annab vismut üsna suure termoelektromotoorse jõu — 80 mikrovolti/ $^{\circ}$ , mis on ligi kaks korda suurem kui termopaaril vask — konstantaan. Veel suuremat termoelektromotoorset jõudu omab termopaar vismut ja hõbe 5–6% vismuti-lisandiga.

Sulatatuna on vismuti eritakistus ligi kaks korda väiksem. Peab mainima, et vismut ja antimon on ainukesed metallid, mille takistus on vedelas olekus väiksem kui tahkes olekus, kõikidel teistel metallidel tõuseb takistus sulamisel tugevasti.

## IV peatükk.

### ELEKTROTEHNILINE SÜSI.

Söest toodete hulka, mida kasutatakse elektrotehnikas, kuuluvad elektrimasinate harjad, voltakaare elektroodid, elektriahjude elektroodid, elektriahjude ja reostaatide takistused (söe kasutamine on siin analoogiline takistussulamite kasutamisele samaks otstarbeks), galvaaniliste elementide elektroodid, söest tooted nõrkvoolu-tehnika tarveteks (membraanid, mikrofoni süsi, raadiolampide anoodid jne.).

Enne söest toodete üksikute tüüpide vaatlemist käsitleme nende valmistamiseks tarvitatavoid tooraineid ja söest toodete valmistamise tehnoloogilist protsessi.

#### 16. Elektrotehnilise söe toorained.

Elektrotehnilise söe valmistamise põhitooraineteks on grafiit, naftakoks, pigikoks, antratsiit, nõgi, kivisöetõrv. Abimaterjalidena tulevad kasutamisele vase tolm, vase sulfaat, väävelhape, tsingipulber, tinapulber, tseeriumfluoriid, boorhape, vedel klaas, parafiin, bensool.

Grafiidist on kasutamisel peamiselt siberi päritoluga aliberi ja kureiski grafiit. Aliberi grafiit on suurekristalliline, hõbevalge läikega. Kureiski grafiit, ebaselgelt väljendatud kristallidega, on oma omadustelt sarnane aliberi grafiidiga. Tuhasisaldus vähendab elektrijuhtivust ja mõjutab ka teisi toodete omadusi negatiivselt.

Naftakoks saadakse naftast. Kasutatakse peamiselt valgustussüte ja nõrkvoolu-tehnikas kasutatavate süte valmistamiseks.

Antratsiit on kivisöe liik. Puhtamaid sorte kasutatakse mikrofonipulbri valmistamisel.

Nõgi saadakse roheline mineraalõli põletamisel erilistes ahjudes vähese õhu juurdevooluga.

Kivisöetõrv on tihe ja sitke vedelik, värvuselt tumepruun kuni must. Saadakse teda kivisöe koksistamisel. Tema erikaal on 1,12—1,28, viskoossus 80° juures 1,27—2,15. On kasutamisel sideainena elektrotehnilise söe valmistamisel.

Kivisöepigi on tumeda värvusega tahke mass, mida saadakse kivisöetõrvast selle utmise jäädina.

Vasepulber on põhitooraineks pronksgrafiitlaagrite valmistamisel, teda kasutatakse ka elektrimasinate harjade valmistamisel.

Kange väävelhape saadakse tehnilisest väävelhapest selle kontsentreerimisel.

Elektrotehniliste süte valmistamise põhitoorainetest tuleb veel märkida tinatolmu, mida saadakse inglistina peenendamisel; ta läheb isemäärivate laagrite ja mõne mootori harjaliigi valmistamiseks.

## 17. Elektrotehnilise söe valmistamise põhioperatsioonid.

Need operatsioonid on järgmised:

1) Kuivade toormaterjalide ettevalmistus:

a) suurte toormaterjali tükkide purustamine põskpurustajais;

b) tooraine kaltsineerimine (hõõgutamine) niiskuse ja lenduvate koosteosade kõrvaldamiseks.

2) Sideainete ettevalmistus — vee kõrvaldamine kivisöetõrvast, bensoolist ja naftaliinist, tõrva prepareerimine, s. o. tema töötlemine kõrge temperatuuri (kuni 275<sup>o</sup>) juures talle küllaldase sitkuse ja siduvuse andmiseks, pigi ja tõrva segu valmistamine.

3) Söe jahvatamine kuulveskites.

4) Jahvatatud toormaterjali sõelumine. Jahvatuse peenus määratakse sõela aukude arvuga ruuttollis, millest materjal veel läbi läheb.

5) Peenendatud koosteosade segamine selleks, et saada ühtlast ja sideainega hästi segatud massi. Segamist teostatakse erilistes segajates.

6) Segatud massi tihendamine kollerveskis, kus toimub veelkordne hõõrumine ja osakeste vahel asuva õhu väljasurumine.

7) Massi stantsimine, mille ülesandeks on massile pressi täitmiseks vajaliku silindri kuju andmine ja viimase liigse õhu massist väljapressimine. Stantsimist teostatakse friktsioon- ja karussellpressidel.

8) Vajaliku kuju ja mõõdetega esemete pressimine toimub hüdraulilistel, horisontaalsetel ja vertikaalsetel pressidel.

9) Esemete kuivatamine ja silumine erilistel laudadel.

10) Esemete põletamine erilistes ahjudes (Mandheimi ahjud) 1480<sup>o</sup> juures 14—16 ööpäeva jooksul. Põletamisprotsessi jooksul muutuvad esemed mehaaniliselt tugevaks, struktuurilt ühtlaseks, omandavad vajaliku kõvaduse ja elektrijuhtivuse. Põletamisprotsess koosneb kolmest faasist: a) ülessoojendamine, b) põletamine ja c) jahutamine.

11) Elektrotehnilise söe vasetamine lahustuva vask-anoodiga elektrolüütilises vannis. Voolutihedus 0,5 ja 3 A/dm<sup>2</sup>.

12) Mõningate elektrotehniliste süte tahistamine, mis valmistatakse algul torukujulistena, kusjuures olemasolevatesse õõnsustesse surutakse pärast taht, mis on valmistatud vedela klaasiga segatud naftakoksist. Mõnel juhul lisatakse tahi koostisse ka tseeriumfluoriidi. Tahistamist teostatakse käsipressidel.

## 18. Elektrimasinate harjad.

Elektrimasinate harjad on libisevaiks kontaktideks masina pöörlevail osadel voolu ära- ja juurdejuhtimiseks, teostavad ankrumähistes indutseeritud vahelduvvoolu kommuteerimist (alaldamist) alalisvooluks. Rõngal töötamisel teostavad harjad ainult voolu juurde- ja ärajuhtimist.

Algul kasutati alalisvoolu-masinate juures metallharju, peamiselt vasest. Kuna nende harjade üleminekutakistus oli võrdlemisi väike, siis tekkisid ankrumähise lühiühendatud sektsioonis suured kommutatsiooni lisavoolud ja masin töötas alati sädemete tekkimisega. Söest harjadel on võrreldes metallharjadega palju suurem üleminekutakistus, mis mõjutab positiivselt kommuteerimise kvaliteeti.

Suure tähtsusega on harja ülemineku-eritakistuse suurus arvestatuna harja ja kollektori kokkupuutepinna üksuse kohta. Kui märkida üldist üleminekutakistust oomides tähega  $R$ , siis ülemineku-eritakistus väljendub valemiga  $q_k = R \cdot S \cdot \Omega \cdot \text{cm}^2$ .  $q_k$  suurusele avaldavad mõju järgmised tegurid:

- 1) kollektori või rõnga materjal,
- 2) voolutihedus harjade kontaktpinnal,
- 3) voolu liik (alaline või vahelduv) ja alalisvoolu puhul tema suund (harjalt kollektorile või rõngale või vastupidi),
- 4) kontaktpinna temperatuur,
- 5) kontaktpinna keemiline seisukord,
- 6) surve harjale,
- 7) kollektori või rõnga ringkiirus,
- 8) mehaanilised tegurid (masina ja harjade värisemine jne.).

Suurimat üleminekutakistust omavad amorfsest (mittekristallisest) söest valmistatud harjad. Väiksema takistusega on harjad, mille koostises on teatav hulk looduslikku grafiiti, ja veel väiksema takistusega on puhtast grafiidist harjad (välja arvatud mark  $\Gamma$ -3).

Väikseima kontakttakistusega on vask-grafiit- ja pronks-grafiit-harjad, kusjuures metallisisalduse tõusuga väheneb ka kontakt-eritakistuse suurus.

Terasest ja malmist rõngaste puhul on üleminekutakistus suurem kui vask- ja pronksrõngaste puhul.

Positiivsel harjal (s. o. voolu suuna juures metallilt söele) on üleminekutakistus suurem kui negatiivsel harjal (s. o. voolu suuna juures söelt metallile). Sellepärast antakse pingelangu iseloomustuseks kahe harja summaarne pingelang, või keskmine kahe eri polaarsusega harja pingelangudest.

Kontakttakistus langeb voolutiheduse tõusuga ja kontaktpinna temperatuuri tõusuga.

Kollektori või rõnga pinna mustumise, hapendumise või mehaanilise vigastumise korral suureneb kontakttakistus.

Kollektori või rõnga ringkiiruse muutumine avaldab kontakttakistusele väikest mõju, tuleb aga meeles pidada, et ringkiiruse suurenemisega kaasas käiv soojenemine tõstab kontakttakistuse suurust. Üksikuist lamellidest koosneval kollektoril on kontakttakistus suurem kui ühest tükist koosneval rõngal — harjade värisemise tõttu.

Elektrimasinais põhjustavad harjad elektrilisi ja mehaanilisi kadusid. Need kaod jagunevad kolme ossa:

- 1) üleminekukaod, mis olenevad kontakttakistusest;
- 2) soojuskaod, mis olenevad harja oomilisest takistusest;
- 3) hõõrdumiskaod, mis olenevad kollektori ringkiirusest, harjade survetugevusest, harjade kontaktpinnast ja harjade hõõrdumise koefitsiendist.

Harjade hõõrdumise koefitsient suureneb harjade kõvaduse tõusuga. Ta on suurem, kui harjad töötavad kollektoril, võrreldes töötamisega rõngal, samuti on ta suurem, kui harjad töötavad terasest või malmist rõngastel, võrreldes töötamisega pronks- või vaskrõngastel.

Harjade hõõrdumise koefitsient oleneb samuti hõõrduvate pindade seisukorrast (hapendumine, mustumine, kulumise aste).

Elektrimasinate harjade valikul tuleb lähtuda järgmistest tingimustest:

1) Kas hari töötab kollektoril või rõngal. Kuna harjade töötamistingimused rõngal on kergemad kui kollektoril kommuteerimise puudumise tõttu, samuti harjade värisemise puudumise ja väiksema sädemete tekkimise tõttu, siis on harjade valik palju lihtsam kui kollektori puhul.

2) Kas harjad töötavad ainult masina käivitamisel või kogu masina töötamise ajal.

Palju keerulisem on harjade valik kollektorite jaoks. Sel ajal, kui kommuteerimiseks on tarvis suure kontakttakistusega harju, mis võimaldavad vähendada lühistusvoolusid ankrumähise sektsioonides kommutatsiooni ajal, vähendavad niisugused harjad masina kasutegurit, kuna nad suurendavad kõiki kolme liiki kadusid.

Seepärast tuleb leida kompromisslahendus ja valida madalapingeliste hea kommutatsiooniga masinaile väikese kontakttakistusega harjad. Masina pinge suurenemisega ja kommutatsiooni tingimuste halvamisega tuleb üle minna suurema kontakttakistusega harjadele, et vältida sädemete tekkimist ja garanteerida harjade ja kollektori minimaalset soojenemist masina töö. Harjade valik on vastutav ja keerukas töö. Selle juures on tarvis arvestada kõiki nende töö tehnilisi tingimusi.

Elektrimasinate harju ja teisi elektrotehnilisest söest tooteid valmistab meil „Elektrougli” tehas Kudinovos.

Elektrimasinate harjade valmistamise põhimaterjalideks on naftakoks, tahm, grafiit, vase pulber, vase sulfaat, vask- ja messingvõrk. Tsementeerivaks aineks kasutatakse kivisöetõrva ja -pigi.

Olenevalt harjade valmistamiseks kasutatavaist tooraine kogustest ja valmistusviisidest saadakse mitmesuguste omadustega harju, mille klassifikatsiooni näitab tabel 8.

Tabel 8.

„Elektrougli” tehase harjade klassifikatsioon, füüsilised ja elektrilised omadused.

Rühm	Mark	Kõvadus Shore'i järgi	Eritakistus $\frac{\Omega}{\text{mm}^2}$ m	Ülemineku pingelang	Lubata- v voolutihedus $A/\text{cm}^2$	Hõõrdetegur	Lubata- v joon- kiirus m/sek.	Erisurve $\text{g}/\text{cm}^2$
Süsi- grafiit	T-1	50—70	40—60	väga suur	4,5	suur	10	240—320
	T-2	40—55	40—60	suur	5	”	12	240—300
Grafiit	Г-1	35—50	30—45	”	6	”	15	200—240
	Г-2	30—45	24—35	”	8	keskmine	20	160—240
	Г-3	25—37	10—22	”	10	”	25	120—200
	Г-4	10—18	10—20	keskmine	12	madal	30	120—160
Grafiit- vask	M-1	30—42	4—10	”	14	keskmine	15	160—200
	M-3	28—38	6—16	”	12	”	20	160—200
Vask- grafiit	МГ	6—12	0,05—0,10	madal	25—30	”	20	120—150
	МГ-1	5—7	0,10—0,25	”	22—25	madal	20	120—150
	МГ-2	4—6	0,2—0,4	”	22—25	”	25	120—150
	МГ-3	3—5	0,3—0,45	”	20—22	”	25	120—150
Pronks- grafiit	БГ	5—10	0,2—0,3	”	30	keskmine	—	150—200

Harjade omadustest on nendel kasutamise ala.

Süsi-grafiitharju (kõvad, T-1—T-2) kasutatakse alalisvoolu elektrimasinate kollektoritel peamiselt pingele juures 220 volti ja üle selle, 110—440-voldistes vahelduvvoolu masinates, lisapoolusega transportmootorites, lisapoolusteta kraanade ja tõstukite mootorites eriti raskeis kommuteerimise tingimustes, kompressorites, kaevandusmootorites pingele juures üle 80 volti, üheankru-umformerites alalisvoolu-poolel, samuti ka vahelduvvoolu kollektormootorites.

Grafiitharju mark Г-1, samuti ka süsi-grafiitharju kasutatakse normaalse alalisvoolu ja vahelduvvoolu masinate kollektoritel pingele juures 110—440 volti, lisapoolusega transportmootorites pingega 550—1500 volti, keevitusgeneraatorites, vaguni valgustamise dünamotes, kaevandusmootorites kuni 80 volti, üheankru-umformerite alalisvoolu-poolel, vahelduvvoolu kollektormootorites, vahelduvvoolu universaal-ventilatsioonimootorites, alalis- ja vahelduvvoolu aparatuuride kontaktides.

Harju mark Г-2 kasutatakse alalisvoolu masinais pingega 110—440 volti, hea kommutatsiooniga ja keskmise voolutihedusega transportmootorites, vahelduvvoolu generaatorite ergutajate kollektoritel, keskmise võimsusega valtsimismasinate mootorites ja elektriaparaatide kontaktideks. Harju Г-3, mis on heade lihvimisomadustega, kasutatakse kuni 220-voldiste alalisvoolu masinate kollektoritel, vahelduvvoolu masinate rõngastel, turbogeneraatorite ergutajates, alalisvoolu turbogeneraatorite kollektoritel väikeste ringkiiruste juures, võimsate valtsimismasinate mootorites, üheankru-umformerites, alalisvoolu keevitusgeneraatorites, vahelduvvoolu hüdrogeneraatorite ja teiste sünkroonmasinate rõngastel. Viimaks kõige pehmemaid harju, mark Г-4, millel on head määrimisomadused, kasutatakse vahelduvvoolu generaatorite rõngastel keskmiste ringkiiruste juures.

Vaskgrafiitharju mark M-1, mis sisaldavad vaske umbes 50%, kasutatakse üheankru-umformerite rõngastel, sünkroonmootorite rõngastel, autostarterite kollektoritel ja kontaktidena elektriaparaatides. Harju mark M-3, vasesisaldusega 25%, kasutatakse väikeste umformerite rõngastel, sünkroon-elektrimootorite rõngastel, madalavoldiste dünamomasinate kollektoritel (näiteks akumulaatorite laadimise masinatel).

Vaskgrafiitharjadest on väikese grafiidisaldusega harjad mark МГ kasutamisel sünkroon- ja asünkroonmootorite rõngastel ja üheankru-umformerites. Alalisvoolu juures kasutatakse neid madalavoldistes generaatorites (elektrolüüsi juures), autogeneraatorite ja -starterite kontaktidena. Mark МГ-1 sisaldab 10—15% grafiiti ja leiab kasutamist peamiselt autode ja traktorite elektrimasinais. Mark МГ-2 sisaldab 15—20% grafiiti ja kasutatakse kõigil neil juhtudel kui mark МГ ning sünkroongeneraatorite rõngastel, samuti hüdrogeneraatorite rõngastel suure voolutiheduse juures. Lõpuks sisaldab mark МГ-3 20—24% grafiiti ja kasutatakse samadel kohtadel kui mark МГ-1.

Pronggrafiitharjad (БГ) on hea elektrijuhtivusega. Kasutatakse vahelduvvoolu sünkroongeneraatorite teras- ja malmrõngastel, üheankru-umformerites suurte ringkiiruste juures.

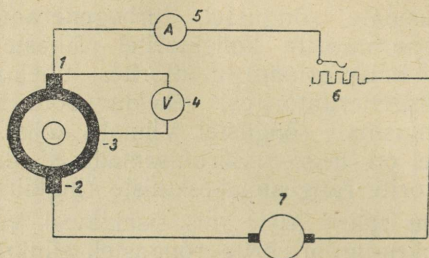
Väikese eri- ja üleminekutakistusega harjadena kasutatakse ka tabelis 8 puuduvaid marke: МС (vaskvõrguga), ЛС (messingvõrguga), МФ (vasklehtedega), ЛФ (messinglehtedega).

Peale käsitletud harjade valmistatakse veel grafiiteeritud harju, mis on suure mehaanilise tugevusega ja väikese lihvimisvõimega. Need harjad töötavad hästi tõukeliste koormuste ja raskete kommuteerimisitingimuste juures. Kasutatakse kiirkäiguliste masinate juures. Nende valmistamise tehnoloogilise protsessi erinevus seisab selles, et toormaterjalina kasutatav antratsiit grafiiteeritakse põletamisega 2200—2500<sup>0</sup> juures takistuselektriahjudes.

Valmisharjad proovitakse vastavalt standardile BÖT nr. 1.

Ülemineku pingelang määratakse kindlaks püsiva ringkiirusega tiirleval kollektoril ja vask- või pronksrõngal, millele on hari juurde lihvitud.

Joon. 29 on toodud harjade proovimise seadeldise ühendusskeem pingelangu määramisel.



Joon. 29. Harja ülemineku pingelangu määramise skeem.

Üksikosade tähistus: 1—proovitav hari, 2—voolu ärajuhtiv hari, 3—pöörlev rõngas, 4—täpne voltmeeter, 5—ampermeeter, 6—voolutugevuse reguleerimise reostaat, 7—alalisvoolu-allikas.

## 19. Söest elektroodid termiliseks otstarbeks.

Söest elektroode kasutatakse:

- 1) elektriühjude soojenduselementideks, kus nad esinevad takistus-tena,
- 2) elektrivoolu üleandmiseks peensöest koosnevale soojendus-  
elementidele takistusühjades.

Elektroodid valmistatakse järgmistest materjalidest:

1. Kaltsineeritud naftakoks . . . . .	57,2%
2. Elektroodi söepuru . . . . .	11,4%
3. Tahm . . . . .	11,4%
4. Pigi . . . . .	5,7%
5. Prepareeritud tõrv . . . . .	14,3%

Valmistatavate elektroodide läbimõõdud on: 35, 45, 50, 60, 75, 100 ja 110 mm, pikkused 500 ja 1000 mm. Söest torude läbimõõdud on 16/5 kuni 60/44 mm samade pikkuste juures. Elekterkeevituse elektroodide läbimõõdud on 4 kuni 15 mm ja pikkus 120 kuni 330 mm.

Elektroode kasutatakse ferrosulamite, kaltsiumkarbiidi, lihvimis-  
materjalide, alumiiniumi tootmisel, elektrolüüsi ja elekterkeevituse  
juures. Elektroode valmistatakse Moskva elektroodide tehases, Dnep-  
rovski elektroodide tehases ja Kudinovo tehases „Elektrougli”.

Elektroodide eritakistus . . . . .	50—70
Söest torude eritakistus . . . . .	50—80
Keevituselektroodide eritakistus (mark CK) . . . . .	60—80

## 20. Valgustussöed.

Valgustuse otstarbeks kasutatakse voltakaare elektroodidena eri liiki söetooteid, nn. valgustussütt, mis valmistatakse kas tahiga või ilma. Taht valmistatakse pulbrilisest segust ja vasktraadist. Taht annab leegile kindla värvuse, tõstab kaarlambi ökonoomsust ja soodustab õiget kraatri tekkimist elektroodil. Elektroodi kanali täitmine tahimassiga toimub käsipressil, misjärel toimub kuivatamine. Leegi intensiivse põlemise soodustamiseks segatakse tahimassile juurde fluori ühendeid, mis eriti tõstab leegi heledust. Eristatakse alalis- ja vahelduvvoolu süsi. Alalisvoolu positiivne elektrood on tahiga ja tema läbimõõt valitakse  $1\frac{1}{2}$ —2 korda suurem kui negatiivsel elektroodil, kuna ta kuumeneb tugevamalt ja ühesuguste läbimõõtude juures põleks kiiremini ära.

Positiivsel elektroodil võetakse voolutiheduseks  $1 \text{ A}/28 \text{ mm}^2$ , negatiivsel elektroodil  $1 \text{ A}/11 \text{ mm}^2$ .

Vahelduvvoolu puhul on elektroodid võrdse läbimõõduga ja voolutihedus valitakse  $1 \text{ A}/9$ — $11 \text{ mm}^2$ .

Tähtsamad valgustussüte margid on:

1) Prožektorsöed, mis annavad suure valgusintensiivsusega kaare (mark ПИГ).

2) Kinoaparaatide söed:

a) alalisvoolu jaoks mark „Ekstra K”, tahiga ja sama mark tahita;

b) vahelduvvoolu jaoks mark „Ekstra-Efekt” tahiga.

3) Kinoülesvõtete söed mark „Ekstra-Efekt”:

a) mark „KC (+)” ja mark „KC (—)” alalisvoolule;

b) mark KC vahelduvvoolule.

Söed valmistatakse pulkadena läbimõõduga 5—30 mm ja pikkusega 120—450 mm.

Tahipulber valmistatakse valgustussüte praagist (60%) ja vesiklaasist (40%). Valgustussöed peavad olema ühtlase ehitusega, metallilise kõlaga ja küllalt kõvad, nad ei tohi jätta jälge paberile või käele.

## 21. Galvaani elementide söed.

Exhib. d. 12. 1917

Leclanché ja Bunseni galvaani elementide positiivse poolusena kasutatakse eriliselt valmistatud sütt plaatide või silindrite näol. Mõõdet ümmarguse ristlõike puhul on  $6 \times 55$  kuni  $20 \times 250$  mm ja ristkülikulise ristlõike puhul  $4 \times 116$  kuni  $10 \times 40 \times 500$  mm.

Olenevalt mōõdetest on olemas kaks nende süte valmistamise retsepti.

Väikese ristlõikega elemendi sõed valmistatakse järgmise retsepti järgi:

1) Kureiski grafiiti . . . . .	32,8%
2) Ennemalt valmistatud süte massi jäätmed . . . . .	16,4%
3) Elemendisüte praak . . . . .	16,4%
4) Tahm nr. 3. . . . .	12,4%
5) Prepareeritud tõrv . . . . .	22,0%

Suure ristlõikega süte valmistamise retsept:

1) Anoodsüte praak . . . . .	22,68%
2) Elemendisüte praak . . . . .	25,78%
3) Aliberi grafiit . . . . .	3,10%
4) Prepareeritud tõrv . . . . .	30,92%
5) Tahm . . . . .	17,12%

Süte eritakistus on 50—60.

Kõvadus Shore'i järgi mitte alla 40.

## 22. Mitmesugused tooted söest.

a) **Elavhõbealadajate anoodid.** Elavhõbealadajate anoodid valmistatakse massist, mis sisaldab:

Kloori elektrolüüsi juures kasutatavate elektrodide jäätmeid . . . . .	69,5%
Prepareeritud tõrva . . . . .	30,5%

Anoodidelt nõutakse väga väikest tuhasisaldust — 0,1%.

Anoodid on pulgakujulised, läbimõõduga 10, 12, 15, 18 ja 25 mm. Tuhasisalduse vähendamiseks anooode grafitteeritakse, s. o. põletatakse teiskordselt 2200—2500° juures elektri-takistusahjudes.

b) **Söest reguleeritavad takistused.** Kahe söest eseme kokkupuutel oneneb nende üleminekutakistus suurel määral esemete-vahelisest survest. Seda omadust kasutatakse elektrotehnikas üsna suurte voolutugevuste sujuvaks ja peeneks reguleerimiseks. Söest reguleeritavad takistused valmistatakse söeplaadikestest või -spiraalidest, mida surutakse kokku muudetava survega. Nii näiteks võimaldab takistus, mis koosneb 25 söerõngast paksusega 0,5 mm, välise läbimõõduga 50 mm ja sise-mise läbimõõduga 43 mm, tabelis 9 toodud takistuse suurusi, olenevalt survest.

Tabel 9.

Surve kg . . . . .	0,1	0,2	0,5	1,0	5,0	10	15	20
Takistus oomides . .	23,3	14,3	7,7	4,0	0,96	0,54	0,39	0,33

c) **Mikrofoni pulber.** Söepulbri omadus muuta oma takistust temale avaldatava surve tõttu oneneb suurel määral üleminekutakistuse muu-

tumisest üksikute söeterakeste vahel ja seda kasutatakse mikrofonides, kus vastavalt häälelainete võnkumisele muutub ka surve pulbrile. Pulber omakorda muudab oma takistust, mis tekitab vooluringis voolutugevuse võnkumisi. Mikrofoni pulbrit toodetakse kahte marki: 1) МБ — kohalikpatarei telefoniaparaatidele ja 2) ЦБ — keskpatarei telefoniaparaatidele.

Pulbri tooraineks on antratsiit, mis peenendatakse tükkideks läbimõõduga 5 mm ja vähem, sõelutakse läbi 80-ne auguga sõela ja põletatakse Alfa ahjudes (mark ЦБ) 900—1000° või Mandheimi ahjudes (mark МБ) 1480° juures ja sõelutakse uuesti. Nende pulbrite eritakistus on ЦБ — 400 oom·cm ja МБ — 150 oom·cm.

d) **Mikrofoni membraanid.** Membraanid valmistatakse massist, mis sisaldab 75% pigikoksi ja 25% tõrva.

Pigi jahvatatakse kuulveskis, sõelutakse ja hõõrutakse 24 tunni jooksul kollerveskis, kuivatatakse kuivatustrumlites ja sõelutakse uuesti. Pärast seda segatakse ta 300—315° juures keedetud tõrvaga. Segu töödeldakse valtsidel, jahvatatakse kuulveskites ja sõelutakse uuesti. Saadud pulbrit pressitakse 3000-atmosfäärilise surve all membraanid, mida veel põletatakse 1480° juures.

e) **Söest kontaktid.** Elektriaparatuuri jaoks valmistatakse söest kontakte mark T, Г-1 ja hõbegrafiitkontakte. Kontaktide T ja Г-1 valmistamiseks kasutatakse harjade jäätmeid ja praakgrafiiti, pigi ja soodat, hõbegrafiitkontaktide jaoks — hõbedapulbrit ja aliberi grafiiti. Tehnilised tingimused on samad mis harjade juures.

f) **Söeniitlampide niidid.** Söeniitlampide niidid valmistatakse eriliste taimede kiududest. Need kiud söestatakse õhu juurdepääsuta, immutatakse saadud süsi suhkrulahusega ja söestatakse uuesti.

Niidi läbimõõdu ühtlustamiseks asetatakse ta süsivesinike atmosfääri ja lastakse vool läbi. Suurema voolutiheduse tõttu kuumenevad peenemad niidiosad rohkem ja neile kohtadele sadeneb suuremal määral süsinikku.

Söeniitlambid on väikese ökonoomsusega, mistõttu neid valgustamiseks enam ei kasutata. Peamine kasutusala on lampreostaatides ja valgustuseks seal, kus lamp allub põrutustele, kuna söest niit on põrutustele vähem tundlik.

g) **Söepuru.** Söepuru valmistatakse kolme marki, mis üksteisest erinevad tera jämeduse poolest:

Mark УК-1 — tera jämedus 0,5—1,5 mm,

„ УК-2 — „ „ 1,4—3 „

„ УК-3 — „ „ 2,9—6 „

Kasutatakse elektri ahjudes soojenduselemendina. Tema paremuks on suur eritakistus. Valmistatakse väikese tuhasisaldusega süte praagist, mis peenendatakse ja sõelutakse kaks korda.

## V p e a t ü k k.

### ELEKTRI-ISOLATSIOONI MATERJALIDE ÜLDISI OMADUSI.

Elektri-isolatsiooni materjale (dielektrikuid) kasutatakse elektri-seadmete voolu või laenguid kandvate osade isoleerimiseks. Isolatsioon ümbritseb voolujuhet selliselt, et vool ei saa liikuda elektriseadmes teisiti, kui see on ette nähtud.

Käesoleval ajal on elektrotehnika kasutuses pikk rida väga mitmesuguseid elektri-isolatsiooni materjale, mille omadused on üsna mitmekesised. Käesolevas peatükis vaatleme lühidalt elektri-isolatsiooni materjalide üldisi omadusi ja nende põhilisi iseloomustusi, mis võimaldavad nende kasutamist mitmesugustel konkreetsetel juhtudel.

Isolatsioonimaterjalide omadusteks on nende käitumise iseärasused elektriväljas; need omadused määravad ka nende materjalide kasutamise võimalused dielektrikuna. Näitarvudeks, mis võimaldavad hinnata neid omadusi, on: mahu- ja pinna-eritakistus, dielektriline läbitavus, dielektriliste kadude nurk ja läbilöögitugevus. Peale puhtelektriliste omaduste omavad küllalt suurt praktilist tähtsust ka isolatsioonimaterjalide füüsikalised ja keemilised omadused: mehaaniline tugevus, termiline püsivus ja soojusjuhtivus, keemiline püsivus, hügrooskoopsus jne. Üksikutel kasutamisuhtudel võivad need või teised omadused omandada esmajärgulise tähtsuse. Käesoleva peatüki lõpposas vaatleme lühidalt dielektrikute põhilisi füüsikalisi ja keemilisi omadusi.

#### 23. Mahu-eritakistus.

Oma kasutamisetotstarbe seisukohalt ei tohi elektri-isolatsiooni materjalid neile rakendatud püsiva pingele all juhtida mingit voolu. Teiste sõnadega — elektri-isolatsiooni materjalide eritakistus peab olema lõpmata suur.

Praktiliselt aga juhivad kõik kasutatavad elektri-isolatsiooni materjalid püsiva pingele all teataval määral voolu, mis harilikult on küll väga väike. Nii ei ole elektri-isolatsiooni materjalide eritakistus lõpmata suur, kuigi ta on üsna suur. Mida suurem on dielektriku eritakistus, seda parem on tema kvaliteet.

Tuntakse mitut suurust, mis iseloomustavad dielektriku eritakistust. Niinimetatud mahu-eritakistus iseloomustab dielektriku voolujuhtivust läbi tema massi (ruumala), s. o. läbi dielektriku paksuse.

Mahu-eritakistuse formaalne määramine toimub valemi abil, mis annab täieliku mahutakistuse suuruse  $R$  antud materjalist välja lõigatud keha kahe äärmise ristlõike  $M$  ja  $N$  vahel, kui keha pikkus on  $l$  ja kui ta kogu pikkuses omab ühtlast ristlõiget  $S$  (joon. 30):

$$R = \rho_v \cdot \frac{l}{S}. \quad (5,1)$$

Siin on  $\rho_v$  materjali mahu-eritakistus. Valemist (5,1) määrame suuruse  $\rho_v$  ja saame

$$\rho_v = R \cdot \frac{S}{l}. \quad (5,2)$$

Elektri-isolatsiooni materjalide eritakistuse mõõtmisel võetakse  $R$  — oomides,  $S$  —  $\text{cm}^2$  ja  $l$  —  $\text{cm}$ . Asetades need ühikud valemisse (5,2), saame mahu-eritakistuse mõõduühikuks  $\frac{\text{oom} \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}}$  või oomsentimeeter.

Mõnikord mahu-eritakistuse mõõduühikuna kasutatavad oom/cm ja oom/cm<sup>2</sup> on ebaõiged ega ole millegagi põhjendatud.

Tuletame meelde, et ka juhtmematerjali eritakistuse määramine toimub valemite (5,1) ja (5,2) järgi, sellejuures aga mõõdetakse  $l$  meetrites ja  $S$  mm<sup>2</sup>, nii et juhtmematerjalide eritakistuse mõõduühikuks on  $\frac{\text{oom} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ . Kerge on leida, et oom · cm on 10 000 korda suurem ühik kui  $\frac{\text{oom} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ .

Isegi sellise suure mõõduühiku kasutamisel nagu oom · cm, väljendub heade elektri-isolatsiooni materjalide mahu-eritakistus üsna suurtes arvudes (vt. tabel 10). Nii on elektri-isolatsiooni materjalide eritakistused umbes 10<sup>22</sup>—10<sup>26</sup> korda suuremad kui vase eritakistus.

Kivimite eritakistuste määramiseks (maandamiste jne. puhul) on otstarbekohasem kasutada valemites (5,1) ja (5,2)  $S$  mõõduühikuna m<sup>2</sup> ja  $l$  mõõduühikuna m, mis annab üksusena oom · m, mis on 100 korda suurem kui oom · cm.

Elektri-isolatsiooni materjalide eritakistus on üldiselt võrdlemisi muutlik.

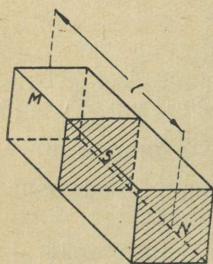
Kõigepealt oleneb tema suurus temperatuurist, ta väheneb üsna tugevasti temperatuuri tõusuga. See olenevus on vastupidine sellele, mida nägime metallide juures. Seda olenevust illustreerivad joon. 31 ja 96.

Hügrokoopsete materjalide takistus väheneb üsna märgatavalt niiskumisel, kuna vee eritakistus on palju väiksem kui praktiliselt kasutatavail isolatsioonimaterjalidel ja ka väike hügrokoopne niiskus

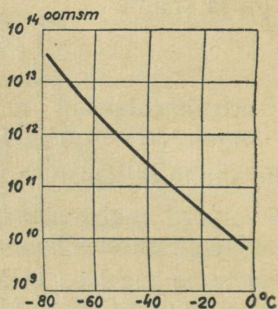
võib tugevasti mõjutada eritakistuse suurust. Näiteid selleks võime leida joon. 75, 81 ja 89.

Nii näeme, et temperatuuri ja niiskuse tõusuga dielektrikute eritakistus väheneb, nende isolatsiooni omadused halvenevad. Allpool näeme, et see mõju laieneb ka teistele näitarvudele, ka dielektriliste kadude nurk ja läbilöögitugevus halvenevad soojendamisel ja niiskumisel.

Väga madalate temperatuuride juures muutub paljude madalakvaliteediliste isolatsioonimaterjalide eritakistus üsna suureks. Näitena toome niiske presspaani eritakistuse olenevuse temperatuurist (joon. 31), kusjuures presspaan hoiti pikemat aega enne jahutamist



Joon. 30. Mahu-eritakistuse formaalne määramine.



Joon. 31. Niiske presspaani mahu-eritakistuse olenevus temperatuurist.

80% niiskuse käes. Ka jää, mis hariliku temperatuuri juures juhib märgatavalt elektrit, omandab  $-80^{\circ}$  kuni  $-200^{\circ}$  juures eritakistuse  $10^9$ — $10^{12}$  oom  $\cdot$  cm.

Tuleb arvesse võtta, et niiskete materjalide juures temperatuuri tõus algul neid kuivatab; seetõttu võib algul märgata eritakistuse tõusu, seni kui niiskus aurub, temperatuuri edasise tõusuga eritakistus langeb.

Paljudel materjalidel, eriti hügrokoopsetel, võib tähele panna eritakistuse vähenemist seoses rakendatud pinge suurenemisega. Nii ei ole voolukadu enam võrdeline pingega, s. t. Ohmi seadus ei ole sel juhul enam täpne (joon. 73). See nähtus on seletatav veesakeste kaju muutumisega elektrivälja mõjul.

Märgime veel, et dielektriku pingestamisel vool alguses tõuseb normaalsest kõrgemale ja siis langeb sekundi või selle osa jooksul normaalse suuruseni. See nähtus, mis on seletatav laengute ümberkorraldumisega, ei oma tähtsust konstantse pinge juures, kuid vahelduva pinge puhul, kus laengute ümberkorraldumine toimub pidevalt, võib ta põhjustada dielektrilisi kadusid.

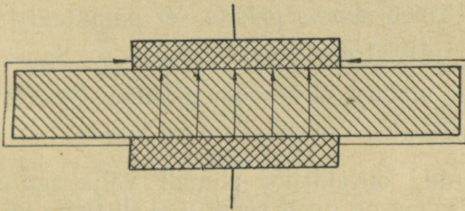
Tabel 10.

Materjal	$\rho_{\varphi}$ oom · cm
Merevaik	$10^{18} - 10^{19}$
Parafiin	$10^{17}$
Eboniit	$10^{16}$
Vilgukivi	$10^{15}$
Presspaan	$10^{11}$
Marmor	$10^9$

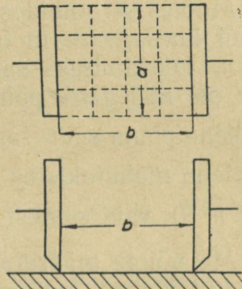
Tabelis 10 on antud mahu-eritakistuse suurused mõningate dielektrikute kohta, mõõdetuina normaalingimustes.

#### 24. Pinna-eritakistus.

Peale voolukao läbi dielektriku paksuse esineb veel voolukadu elektrootide vahel dielektriku pinna kaudu. Pinna niiskumise, mustumise ja pinnakihis valguse, õhuhapniku jne. mõjul toimuvate keemiliste reaktsioonide tõttu osutub dielektriku pinnakiht suuremaks voolu-



Joon. 32. Voolukadu dielektriku mahu ja pinna kaudu.



Joon. 33. Pinna-eritakistuse formaalne määramine.

juhiks kui dielektriku mass. Et arvestada ka voolukadu pinna kaudu, tuleb tarvitusele võtta uus dielektrikute iseloomustuse näitav — pinna-eritakistus.

Nii koosneb isolatsiooni kogutakistus kahest takistusest — mahu-takistusest (takistus voolujuhtivusele läbi materjali paksuse) ja pinna-takistusest (takistus voolujuhtivusele mööda materjali pinda), kusjuures mõlemad takistused on lülitatud paralleelselt ja kogu juhitud vool on võrdne mõlema voolu summaga, nagu nähtub joon. 32.

Olenevalt isolatsiooni ja elektrootide kuju ning mõõdete vahekor-  
rast, samuti mahu- ja pinna-eritakistuste suhtest, võib üks või teine vooluliik olla suurem.

Pinna-eritakistus määratakse formaalselt järgmiselt. Olgu dielektriku pinnaga ühendatud kaks elektroodi, mis on teineteisega paralleelsed (joon. 33). Nende pikkus olgu  $a$  ja nendevaheline kaugus  $b$ . Pinnakihi takistus elektroodide vahel on seda suurem, mida pikem on voolu tee  $b$ . Tõepoolest, kui jagada elektroodide-vaheline pinnaosa ribadeks (punktiirjoon joon. 33), mis on paralleelsed elektroodide servadele, siis on selge, et üksikute ribad takistused on ühendatud järjestikku. Teiselt poolt on elektroodide-vaheline takistus seda väiksem, mida suurem on voolu teekonna laius  $a$ . Seda on kerge selgitada, kui me jaotame elektroodide-vahelise pinnaosa ribadeks, mis on risti elektroodidele. Sel juhul üksikute ribad takistused on ühendatud paralleelselt. Pinnakihi kogutakistus elektroodide vahel on:

$$R = \varrho_s \cdot \frac{a}{b}, \quad (5,3)$$

kus  $\varrho_s$  on pinna-eritakistus; siit järgneb:

$$\varrho_s = R \cdot \frac{b}{a}. \quad (5,4)$$

Mõõtes  $R$  oomides ja  $a$  ning  $b$  cm-tes (või mõnes teises mõlemal juhul ühesuguses mõõduühikus), saame  $\varrho_s$  mõõduühikuna oomi.

$\varrho_s$  märkimiseks sageli kasutatav mõõduühik oom/cm<sup>2</sup> on ebaõige ega ole millegagi põhjendatud. Tuleb silmas pida, et pinnatakistus ei olene pinna suurusel (s. t. korrutisest  $a \cdot b$ ), vaid suhtest  $\frac{a}{b}$ . Samuti ei olene mahutakistus dielektriku mahust elektroodide vahel (korrutisest  $l \cdot S$ ), vaid suhtest  $\frac{l}{S}$ .

Me võime määrata  $\varrho_s$  kui antud dielektriku pinnalt väljalõigatud ruudu takistust, kusjuures voolu suund on ühelt ruudu küljelt tema vastasküljele. Ruudu külje pikkus ei oma tähtsust, sest oluline on, et  $a = b$ , selleks et  $\varrho_s = R$ .

Kui asendada antud elektroodid teistega, eelmistega geomeetriselt sarnastega (s. t. suurendame samas vahekorras  $a$  ja  $b$ ), siis suurus  $R$ , nagu selgub valemist (5,4), ei muutu. Märgime, et see „sarnasuse seadus” ei ole maksev mahutakistuse kohta, kuna antud keha asendamisel temaga sarnasega muutub suhe  $\frac{l}{S}$  valemis (5,2), sest  $l$  suurendamisel  $n$  korda suureneb  $S$   $n^2$  korda ja  $R$  väheneb  $n$  korda.

Ülaltoodud arutlused on õiged ainult sel juhul, kui  $a$  suurus on märksa väiksem  $b$  suurusel, kuna teisel juhul avalduks elektroodide servade mõju, s. t. voolukadu väljaspool elektroodide-vahelist pinda.

Pinna-eritakistuse suurused on mitmesuguste elektri-isolatsiooni materjalide juures üsna muutlikud. Kõigepealt mõjutab  $\varrho_s$  suuruset väga suurel määral niiskus: niiskumisel  $\varrho_s$  väheneb (joon. 83).

Kuna niiskumine algab pinnalt, siis on  $q_s$  tema kõikumistele tundlikum kui  $q_v$ . Temperatuuri tõusmisel  $q_s$  harilikult algul veidi suureneb pinna kuivamise tõttu, pärast aga väheneb. Nii omavad  $q_v$  ja  $q_s$  olenevused mitmesugustest teguritest ühesugust iseloomu, mis on ka arusaadav, kuna oma füüsikaliselt sisult on need näitarvud väga sarnased.

$q_s$  iseloomustab teataval määral  $q_v$  suurust mingisuguse paksusega pinnakihi, hügrokoopsete (kiuliste, poorsete ja teiste selliste) materjalide juures  $q_v$  aga on määratud üksikute kiudude  $q_v$  suurusega, s. t. üsna õhukese veekihikese olemasoluga igal üksikul kiul. Üsna tugevasti võib  $q_s$  väheneda dielektriku pinna tolmumise ja mustumise tõttu.

Elektri-isolatsiooniliste konstruktsioonide (isolaatorite jne.) pinnatähtsuse tõstmiseks valmistatakse see mõnikord lainelisena, et suurendada voolu teekonna pikkust isolatsiooni pinnal, s. t. suurust  $a$  valemis (5,3). Lainelisus ei tohi olla liiga tihe ja sügav, kuna see raskendab isolaatori pinna puhastamist.

Tabel 11.

Materjal	$q_s$ oomi
Merevaik	$10^{18}$
Parafiin	$10^{15}$
Vilgukivi	$10^{12}$
Presspaan	$10^{11}$
Marmor	$10^8 - 10^9$

Tabelis 11 on toodud mõningate elektri-isolatsiooni materjalide pinna-eritakistuste suurused normaaltingimustes.

Metalli kokkupuutumisel väikese mahu- ja pinna-eritakistusega dielektrikuga võib tekkida unipolaarne juhtivus, s. t. kontakti alalisvoolu-takistus on ühes suunas märgatavalt suurem kui vastupidises suunas. Praktiliselt saab vool sel juhul läbida kokkupuutekohta ainult ühes suunas. Selline nähtus esineb näiteks mõningate kristalliliste mineraalide juures ja leiab kasutamist raadioaparaatide detektorites. Teistest tugevasti väljendatud unipolaarse juhtivusega dielektrikutest märgime vase alahapendit  $\text{CuO}$ , mida kasutatakse kuivalaldajais. Vaskoksüüdalaldaja põhiosaks on alahapendiga kaetud vaskplaadike, voolujuhtivaks suunaks on vask  $\rightarrow$  vaskoksüüdi kiht.

Mõnede, peamiselt madalate  $q_v$  ja  $q_s$  suurustega materjalide juures esineb nn. Jonsen-Rabeki nähtus, mis seisab selles, et antud dielektrikuga kondensaatori koormamise momendil püsiva pingega toimub tugev kondensaatori plaatide külgetõmbumine dielektrikule (survega kuni mitusada  $\text{g/cm}^2$ ). See nähtus seletub elektrostaatilise külgetõmbumise ga elektroodi ja dielektriku kokkupuutekohtades, kusjuures võrdle-

misi suure kontaktakistuse tõttu on pingelang kontaktil küllalt suur. Eriti silmapaistev on Jonsen-Rabeki nähtus mõningate kildkivisortide juures. Külgetõmbumine on dielektriku pinna siledusest, ta suureneb ka pinge suurenemisega.

## 25. Dielektriline läbitavus.

Dielektriline läbitavus iseloomustab isolatsioonimaterjali elektrimahtuvuse tekitamise võimet (teised nimetused: dielektriline tegur, dielektriline konstant). Antud kuju ja mõõdetega kondensaatori mahtuvus on võrdeline dielektriku dielektrilise läbitavusega. Kuna õhu (õigemini vaakuumi) puhul dielektriline läbitavus on üks, siis võime öelda, et dielektriline läbitavus on arv, mis näitab, mitu korda suureneb kondensaatori mahtuvus, kui tema plaatide vahe täidame õhu asemel antud isolatsioonimaterjaliga.

Lihtsa tasapinnalise kondensaatori juures (joon. 30) väljendub mahtuvus küllaldase täpsusega valemiga

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{4\pi \cdot l}. \quad (5,5)$$

Siin on  $\varepsilon$  — dielektriline läbitavus. Valemi (5,5) abil saame mahtuvuse sentimeetrites, kui  $S$  on  $\text{cm}^2$  ja  $l$  —  $\text{cm}$  ( $\varepsilon$  on nimetu arv). Sentimeetrid võib muuta praktilisteks mahtuvuse mõõduühikuiks — mikrofaraditeks ( $1 \mu\text{F} = 9 \cdot 10^5 \text{ cm}$ ) ja faraditeks ( $1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 9 \cdot 10^{11} \text{ cm}$ ).

Valemite (5,1) ja (5,5) võrdlemisel selgub, et nad oma ehituselt on üsna sarnased. Siit võime tuletada järgmise reegli: selleks, et isolatsiooni mahutakistuse valemist, kus  $R$  on väljendatud oomides, saada mahtuvust  $C$  sentimeetrites väljendavat valemit, tuleb võtta esimese valemi pöördväärtus ja suurus  $q_v$  asendada suurusega  $\frac{4\pi}{\varepsilon}$ .

Väljendades seda sidet võrrandina, võime iga homogeense dielektrikuga kondensaatori või isolatsiooni piirkonna kohta, olenemata tema kujust ja geomeetristest mõõdetest, kirjutada, et

$$C \cdot R = \frac{\varepsilon \cdot q_v}{4\pi}. \quad (5,6)$$

Dielektrilise läbitavuse suurus on väga tähtis isolatsioonimaterjali praktilise kasutatavuse hindamiseks. Täitsa selge on see, et kui me tahame saada suure mahtuvuse ja väikeste gabariitmõõdetega ning kaaluga kondensaatorit, siis on kasulik kasutada suure  $\varepsilon$  väärtusega dielektrikut. Mõnel juhul aga ei ole soovitatav suure mahtuvuse olemasolu, nagu kaabliiniide isolatsiooni juures, kus see toob kaasa liini laenguvoolu suurenemise.

Väga tähtis on arvestada  $\varepsilon$  suurust siis, kui meil on ühendatud mitu isolatsioonimaterjali järjestikku (kihiline dielektrik). Vahel-

duva pinge puhul on elektrivälja tugevus igas kihis erinev, ta on pöörvõrdeline antud kihi dielektrilise läbitavusega. Nii siis tuleb kihiliste isolatsioonide konstrueerimisel ja arvutamisel arvestada nähtust, et suure dielektrilise läbitavusega materjalid kipuvad enamiku pingest üle kandma väiksema dielektrilise läbitavusega materjalidele. Eriti halvas olukorras on õhukihi kesed (õhu juures on  $\epsilon$  väga väike), millede järjestikku ühendamisel nende dielektrikutega, mille  $\epsilon$  on suur, tekib võrdlemisi suur väljatugevus, mis kergesti võib viia läbilöömiseni.

Kahekihilise tasapinnalise kondensaatori lihtsam juhtum on toodud joon. 34. Tähistame:  $l_1$  ja  $l_2$  — kihtide paksust,  $\epsilon_1$  ja  $\epsilon_2$  — dielektrilise läbitavusi,  $E_1$  ja  $E_2$  — väljatugevusi kummaski kihis ning  $U_1$  ja  $U_2$  — pinget nendes. Kihtide järjestikku ühendamisel saame:

$$U = U_1 + U_2 = E_1 \cdot l_1 + E_2 \cdot l_2. \quad (5,7)$$

$U$  on kondensaatori täispinge ja

$$E_1 \cdot \epsilon_1 = E_2 \cdot \epsilon_2. \quad (5,8)$$

Võrrandsüsteemi (5,7) ja (5,8) lahendamisel saame uued võrrandid

$$E_1 = \frac{U}{l_1 \cdot \epsilon_2 + l_2 \cdot \epsilon_1} \cdot \epsilon_2 \text{ ja} \\ E_2 = \frac{U}{l_1 \cdot \epsilon_2 + l_2 \cdot \epsilon_1} \cdot \epsilon_1, \quad (5,9)$$

Joon. 34. Kahekihilise tasapinnalise kondensaatori.

mille järgi on lihtne leida väljatugevusi mõlemas kihis kui ka pingeid kummaski kihis, tingimusel, et  $U_2 = E_2 \cdot l_2$  ja  $U_1 = E_1 \cdot l_1$ .

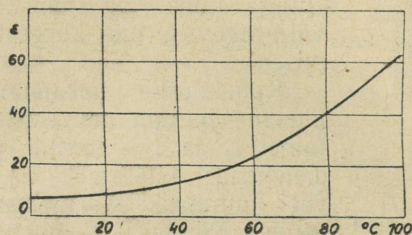
Potentsiaali languse graafik mõlemas kihis on toodud joon. 34 murdjoonena  $PQR$ , väljatugevuse suuruse graafik aga joonena  $KMN$ . Selge on, et  $\text{tg } \alpha_1 = E_1$  ja  $\text{tg } \alpha_2 = E_2$ . Kui meil oleks kondensaatori plaatide  $M$  ja  $N$  vahel ainult üks dielektrik (ükskõik missuguse dielektrilise läbitavusega), siis tema potentsiaalilang oleks määratud punktiirjoonega  $PR$  ja väljatugevus horisontaaljoonega  $ST$ . Väljatugevus oleks olnud kogu dielektriku massis ühesugune ja oleks võrduanud

$$E = \frac{U}{l} = \text{tg } \alpha,$$

kus  $l$  on kondensaatori plaatide  $M$  ja  $N$  vaheline kaugus. Eeltoodust nähtub, et kahe erineva suurusega dielektriku kihi kasutamisel ühe asemel suureneb väljatugevus selles kihis, kus  $\epsilon$  on väiksem (joon. 34 toodud juhul oletatakse, et  $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ), ja väheneb selles kihis, kus  $\epsilon$  on suurem.

Enamikul juhtudel, vähemalt valdavama osa tahkete dielektrikute juures kasvab dielektriline läbitavus temperatuuri tõusuga (joon. 35 ja 64).

Elektrimasina isolatsiooni mahtuvus võib masina töötamise temperatuuri juures olla mitu korda suurem kui külmalt. Sageduse suurenemisel toimub järk-järguline dielektrilise läbitavuse vähenemine. Enamiku isolatsioonimaterjalide niiskumine toob kaasa nende dielektrilise läbitavuse suurenemise.



Joon. 35. Portselani dielektrilise läbitavuse olenevus temperatuurist.

Tabelis 12 on toodud mitmesuguste materjalide dielektriline läbitavus normaalolukorras.

Tabel 12.

Materjal	$\epsilon$	Materjal	$\epsilon$
Õhk . . . . .	1	Portselan . . . . .	5
Transformaatorõli . . . . .	2,2	Mitmesugune klaas . . . . .	6—12
Presspaan . . . . .	3	Piiritus . . . . .	25
Parafineeritud paber . . . . .	3,5	Vesi . . . . .	80
Getinaks . . . . .	4,5	Rutiil . . . . .	173

## 26. Dielektrilised kaod.

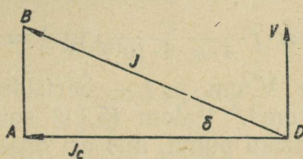
Alalisvoolu juhtimise tõttu dielektriku poolt tekib teatud elektrilise võimsuse kadu. Vahelduva pingega elektrivoolu juures on see võimsuse kadu märksa suurem.

See asjaolu on üsna iseloomulik dielektrikuile. Juhtmematerjalides alalise pinge ja temaga võrdse efektiivse vahelduva pinge puhul esinevad võimsuse kaod on võrdsed (kui mitte arvestada pinnaefekti ja teisi sekundaarnähtusi).

Dielektrikus vahelduva pinge tõttu esinevaid võimsuse kadusid nimetatakse dielektrilisteks kadudeks.

Vahelduva pingega koormatud isolatsiooni vektordiagramm on toodud joon. 36. Kui dielektrilisi kadusid ei oleks, läheks läbi isolatsiooni ainult mahtuvuslik vool  $\overline{AO} = I_C$ , mis ennetaks faasis pinge vektorit  $90^\circ$  võrra. See vool ei anna võimsuse kadusid.

Dielektriliste kadude olemasolu tõttu on isolatsiooni läbiv kogu vool  $\overline{OB} = I$  vektori  $I_C$  suhtes nihutatud teatava terava nurga  $\delta$  võrra. Seda nurka nimetatakse dielektriliste kadude nurgaks. Dielektriliste kadude nurk on isolatsioonimaterjali näitarvuks, mis iseloomustab tema võimet tekitada võimsuse kadu vahelduvas elektriväljas. Selge on, et dielektrik on seda halvem, mida suurem on kõigi teiste võrdsete tingimuste juures nurk  $\delta$ .



Joon. 36. Dielektriku kadude vektordiagramm.

Teades nurga  $\delta$  suurust (praktiliselt antakse selle  $\text{tg}$ ), on kerge määrata dielektriliste kadude suurust isolatsioonis mahtuvusega  $C$ , mis on koormatud vahelduva pingega  $U$  ja sagedusega  $f$ . Tagasi tulles vektordiagrammi juurde joonisel 36 näeme, et võimsuse kadu on võrdne pinge  $U$  ja vektori  $AB$  korrutisega (viimane on voolu  $I$  vektori projektsioon pinge vektorile). Täisnurksest kolmnurgast  $AOB$  saame:

$$AB = AO \cdot \text{tg } \delta.$$

Kuna aga mahtuvuslik vool on:

$$AO = I_C = U \cdot 2 \pi f \cdot C,$$

siis saame dielektriliste kadude lõplikuks valemiks:

$$P = U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot \text{tg } \delta. \quad (5,10)$$

Kui  $U$  on antud voltides,  $f$  — hertsides ja  $C$  — faradites, siis dielektrilised kaod  $P$  väljenduvad vattides.

Valemil (5,10) on väga lai kasutamisalala. Ta on õige igasuguse elektroodide ja välja suuruse ja kuju juures tingimusel, et dielektrik on ühtlase ehitusega. Ebaühtlase väljatugevuse juures on dielektrilised kaod üksikuis dielektriku mahü osades üsna erineva suurusega, valem (5,10) aga annab siiski õige üldise dielektriliste kadude suuruse, olenemata nende paiknemisest dielektrikus.

Kui on tarvis peale dielektriliste kadude üldsuuruse määrata ka nende paiknemist dielektriku mitmesugustes osades, siis võime seda teostada järgmisel lihtsal viisil.

Oletame, et meid huvitavas elektrivälja osas on dielektrikust välja lõigatud kuup servapikkusega 1 cm, kusjuures jõujooned läbivad tema vastastahke neile risti. Sellise kuubi mahtuvus on valem (5,5) järgi, kui  $S = 1 \text{ cm}^2$  ja  $l = 1 \text{ cm}$ ,

$$C = \frac{\epsilon}{4\pi} \text{ cm} = \frac{\epsilon}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11}} \text{ faradit.}$$

Pinge  $U$  voltides piki jõujooni asuval kuubitahul on arvuliselt võrdne väljatugevusega  $E$ , mis on mõõdetud  $V/\text{cm}$ :

$$U = E \text{ V/cm} \cdot 1 \text{ cm} = E \text{ V.}$$

Asetades  $C$  ja  $U$  väärtused valemisse (5,10), saame dielektriliste erikadude suuruse, s. t. kaod  $1 \text{ cm}^3$  dielektriku kohta antud piirkonnas:

$$p = E^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{\epsilon}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^{11}} \cdot \text{tg } \delta = E^2 \cdot f \cdot \frac{\epsilon \cdot \text{tg } \delta}{1,8 \cdot 10^{12}}. \quad (5,11)$$

Kui  $E$  väljendatakse  $V/\text{cm}$  ja  $f$  — hertsides, siis saame dielektrilised erikaod  $p$  —  $\text{W}/\text{cm}^3$ . Valem (5,11) sobib igasuguse väljakuju juures, ka sellise dielektriku puhul, mis eri osades on eri omadustega.

Valem (5,10) näitab, et antud isolatsioonis on dielektrilised kaod võrdelised pinge ruudu ja sagedusega, kui  $C$  ja  $\text{tg } \delta$  jäävad muutmatuks.

Kui valemis (5,10) ja (5,11) võtta  $f = 0$  (alaline pinge), siis saame  $P = 0$  ja  $p = 0$ , kuna need valemid ei võta arvesse väga väikesi võimsuse kadusid alalise pinge juures.

Valem (5,11) näitab eriti selgelt, et teiste võrdsete ekspluatatsiooni-tingimuste juures on dielektrilised kaod seda suuremad, mida suuremad on  $\epsilon$  ja  $\text{tg } \delta$ .

Selge on, et võimsuse erikaod on alalise pinge ja väljatugevuse  $E \text{ V/cm}$  juures elektri-isolatsiooni mahuüksuse kohta:

$$p' = \frac{E^2}{\varrho_v} \text{ W/cm}^3, \quad (5,12)$$

kus  $\varrho_v$  on mahu-eritakistus  $\text{oom} \cdot \text{cm}$ . Jagades valem (5,11) valemiga (5,12), leiame dielektrikus vahelduva pinge sagedusega  $f$  ja selle pinge efektiivse väärtusega võrdse alalise pinge poolt tekitatavate kadude suhte:

$$\frac{p}{p'} = \frac{f \cdot \epsilon \cdot \varrho_v \cdot \text{tg } \delta}{1,8 \cdot 10^{12}}. \quad (5,13)$$

Tehnikas sagedamini kasutatava sageduse  $f = 50 \text{ kHz}$  kohta oleks see:

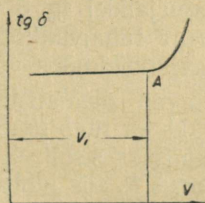
$$\frac{p}{p'} = \frac{\epsilon \cdot \varrho_v \cdot \text{tg } \delta}{3,6 \cdot 10^{10}}. \quad (5,14)$$

Kuna peab olema  $p \geq p'$ , siis

$$\text{tg } \delta \geq \frac{3,6 \cdot 10^{10}}{\epsilon \cdot \varrho_v}. \quad (5,15)$$

Heades isolatsioonimaterjalides, millel on väike  $\operatorname{tg} \delta$ , on dielektriliste kadude suurus väike, vähemalt tagasihoidlike tööpingete ja väikeste sageduste juures. Vaatamata sellele on dielektriliste kadude nurk tähtsaks isolatsioonimaterjali iseloomustuse näitavuks. Mitmesugused isolatsioonimaterjali valmistamise tehnoloogilise protsessi defektid (puudulik kuivatamine, ebaühtlane ehitus, ebaõige pressimise režiim) on hõlpsalt avastatavad kõrgendatud  $\operatorname{tg} \delta$  kaudu.

Isolatsiooni kvaliteedi hindamisel omab peale  $\operatorname{tg} \delta$  absoluutse suuruse paljudel juhtudel suurt tähtsust veel  $\operatorname{tg} \delta$  muutumise iseloomu olenevus rakendatud pingest — nn. ioniseerimise kõver. Paljudel juhtudel on see olenevus selline, nagu on näidatud joon. 37, teatud piirkonnas  $\operatorname{tg} \delta$  on peaaegu muutusetu. Pinge tõusmisel üle



Joon. 37. Ioniseerimiskõver.

teatud piiri hakkab  $\operatorname{tg} \delta$  kõver järsult tõusma. Kõvera käänupunkti (punkt A joon. 37) nimetatakse ioniseerimise punktiks ja ta vastab isolatsiooni sisemuses olevate õhu (ja teiste gaaside) mullikeste ioniseerimise (koroona või vaiksete lähenduste tekkimise) algusele. Sellised õhumullikesed tekivad hõlpsalt ebatihedas ja halvasti kuivatatud kiud- ja press-isolatsioonis.

Õhu ioniseerimine on seotud kahe üsna tähtsa momendiga:

a) märgatava energia neeldumisega, mis tõstab järsult  $\operatorname{tg} \delta$  suurst, ja

b) keemiliste protsessidega, mis seisnevad peamiselt selles, et õhumullis olev hapnik muutub osooniks. Osoon mõjub, eriti minimaalsegi niiskuse juuresolekul, tugeva hapendajana enamikule orgaanilistest isolatsioonimaterjalidest, kutsudes esile nende järk-järgulise hävinemise. Mineraalsed isolatsioonimaterjalid on osoonile tavaliselt vastu pidavad.

Need mõlemad asjaolud tingivad seda, et enamikul juhtudel peab isolatsiooni tööpinge olema väiksem kui ioniseerimise pinge  $U_i$ , mis vastab punktile A joon. 37. Suurema väärtusega isolatsiooniks tuleb lugeda sellist, millel on kõrgem ioniseerimise pinge ja ioniseerimiskõvera tõus peale punkt A on lamedam.

Suure tähtsusega on isolatsiooni kvaliteedi hindamisel, eriti kõrgepinge isolatsiooni juures, ka  $\text{tg } \delta$  suuruse jälgimine pikema aja jooksul püsiva vahelduva pinge juures.  $\text{Tg } \delta$  suuruse kõikumine ja tema aeglane, kuid pidev tõus vihjab võrdlemisi madalale isolatsiooni kvaliteedile.

Tähtis on ka  $\text{tg } \delta$  olenevus temperatuurist.  $\text{Tg } \delta$  suureneb üldise reeglina temperatuuri tõustes (vrd. joon. 65 ja 88); sellelt seisukohalt on isolatsiooni töötamise tingimused dielektriliste kadude mõttes kõrgematel temperatuuridel raskemad. Mõnedel materjalidel jõuab  $\text{tg } \delta$  juba võrdlemisi madalate temperatuuride juures maksimumini, mille järel ta veidi väheneb; edaspidise temperatuuritõusuga aga suureneb ta tugevasti ja järjekindlalt. Väga madalate temperatuuride juures on enamikul isolatsioonimaterjalidel  $\text{tg } \delta$  üsna väike. Nii näiteks on ta  $-100^{\circ}$  juures väljendatav tuhandikkudes, kuna normaaltemperatuuri juures ta väljendub sajandikkudes või isegi kümnendikkudes.

Temperatuuri tõusul võivad dielektrilised kaod suureneda mitte ainult  $\text{tg } \delta$  suurenemise, vaid ka mahtuvuse suurenemise tõttu. Kuna isolatsiooni kvaliteedi hindamiseks sisuliselt pole tähtis  $\text{tg } \delta$  suurus ise, vaid dielektriliste kadude suurus  $P$ , siis juhtudel, kui mahtuvus on muutlik, on õigem dielektrilisi kadusid iseloomustada suurusega  $P$  või korrutisega  $\eta = \epsilon \cdot \text{tg } \delta$  (seda korrutist nimetatakse dielektriliste kadude teguriks).

Hügrokoopsete materjalide juures kutsub niiskumine esile  $\text{tg } \delta$  suurenemise.

Vahelduvvoolu sagedus avaldab teatavat, mitte eriti suurt mõju  $\text{tg } \delta$  suurusele. Harilikult on  $\text{tg } \delta$  maksimum madalate sageduste juures, kuna sageduse suurenemisel kuni raadiotehnikas kasutatavate sagedusteni  $\text{tg } \delta$  aeglaselt väheneb.

Tabelis 13 on toodud  $\text{tg } \delta$  suurused mõningate elektri-isolatsiooni materjalide kohta normaaltingimustes.

Õhu ja teiste gaaside  $\text{tg } \delta$  võib lugeda nulliks väljatugevuste juures, mis on madalamad neist, mille juures tekivad vaiksed lahendused.

Tabel 13.

Materjal	$\text{tg } \delta$
Kvartsklaas . . . . .	0,0002
Transformaatorõli . . . . .	0,0005
Mikaleks . . . . .	0,002
Portselan . . . . .	0,01
Mikaniit . . . . .	0,1

## 27. Läbilöögitugevus.

Seni vaatlesime mitmesuguseid nähtusi dielektrikuis, mille juures ei muutunud isolatsioonimaterjalide omadused ega tekkinud häireid isoleerimise funktsioonide täitmisel. Isolatsiooni aga ei saa koormata ükskõik kui suure pingega. Rakendatava pinge tõstmisel teatava suuruseni toimub nn. isolatsiooni läbilöömine. Selle juures langeb isolatsiooni takistus äärmiselt väikese suuruseni, mille tulemusena tekib lühis. Kui vooluallika võimsus on küllalt suur, siis läbilöömise tagajärjel võib läbilöögikohal tekkida voltakaar, mis sulatab, söestab või põletab ära isolatsioonimaterjali.

Pinget, mille juures toimub läbilööök, nimetatakse läbilöögi pingeks, ja ta on üheks tähtsamaks isolatsioonimaterjali iseloomustuse näitavaks.

Tuleb järsult vahet teha ühelt poolt tahke ja teiselt poolt vedela või gaasilise dielektriku läbilöömise vahel.

Tahkes dielektrikus jääb peale läbilöömist ka sel juhul, kui voltakaare poolt läbilöögikoht ei ole rikutud, materjalisse jälg augukese või rebendi näol, mille läbilööginge on lõpmata väike, võrreldes esialgse läbilöögingega. Nii tähendab tahke materjali läbilööök vastava masina või aparaadi tõsist avariid, mis vajab remonti — rikutud isolatsiooni uuendamist.

Kui aga vedela või gaasilise dielektriku läbilöögi järel kõrvaldada pinge, siis täitub läbilöödud koht materjaliosakeste liikuvuse tõttu uuesti ja läbilöödud materjali omadused taastuvad (kui selle juures ei ole toimunud keemilisi muutusi materjalis võimsa ja vältava voltakaare mõjul). Näitena võib tuua õlilüliti.

Selge on, et paksem elektri-isolatsiooni materjali kiht kannatab välja ka suuremat pinget. Mitmesuguste materjalide ühepaksused kihid aga omavad erinevat vastupanu läbilöögile. Suurust, mis iseloomustab materjali vastupanu läbilöögile, nimetatakse tema läbilöögitugevuseks.

Homogeense elektrivälja juures väljendub side läbilööginge  $U_a$ , dielektriku paksuse  $\Delta$  ja läbilöögitugevuse  $E_a$  vahel valemiga:

$$U_a = E_a \cdot \Delta. \quad (5,16)$$

Edaspidi näeme, et real juhtudel valem (5,16) on ainult ligikaudne. Vaatamata sellele annab ta võimaluse määrata  $E_a$  väärtust, mida saab kasutada elektri-isolatsiooni materjalide praktiliseks hindamiseks.

Kui  $U_a$  väljendada kilovoltides,  $\Delta$  — millimeetrites, siis  $E_a$  saame kV/mm, mis on levinenumaks läbilöögitugevuse mõõduühikuks tehnikas. Füüsikas kasutatakse sagedamini  $V/cm \cdot 1 \text{ kV/mm} = 10 \text{ kV/cm} = 10\,000 \text{ V/cm}$ .

Oma füüsikalise iseloomu poolest võib läbilööök olla kas soojuselise läbilöögi või puht-elektrilise läbilöögi tüüpi (teised

läbilöögi tüübid, nagu keemiline, kus toimub dielektriku järk-järguline hävinemine elektrilise pinge poolt esile kutsutud keemiliste protsesside tõttu, ei oma praktilist tähtsust).

Soojuselise läbilöögi iseloomu selgitamiseks peame meelde tule-tama, et temperatuuri tõusmisel dielektriku omadused halvenevad, eriti tõusevad võimsuse kaod (alalise pinge juures) ja dielektrilised kaod (vahelduva pinge juures). Dielektriku koormamisel pingega tekib tema soojenemine elektrienergia kadude muutumise tõttu soojusenergiaks. Dielektriku soojenemisel suurenevad dielektrilised kaod veelgi, mis omakorda tõstab dielektriku temperatuuri jne. Kui rakendatud pinge on küllalt suur, siis eralduva soojuse hulk muutub suuremaks kui dielektriku jahtumisest tingitud soojuskaod ja dielektriku temperatuur võib tõusta lubamatule kõrgusele. Nii tekkiv kõrge temperatuur põhjustabki materjali hävimise (sulamise, põlemise, keemilise lagunemise jne. vastavalt materjali omadustele). Seda materjali hävimist kõrge tempe-ratuuri tõttu nimetataksegi soojuseliseks läbilöögiks.

Enamikul juhtudel toimub soojuseline läbilöök selliselt, et dielektriku keskmine temperatuur tõuseb üsna tagasihoidlikult. Järsum tempe-ratuuri tõus esineb ainult mõnes kohas, kus juhuslikult esineb väiksem  $q_v$  suurus või suurem  $\eta = \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$  suurus (see on praktiliselt paratamatu tehnilise isolatsioonimaterjali ebaühtlase ehituse tõttu). Paikliku soo-jenemise tõttu soojuse eraldumine neis kohtades suureneb ja kord tek-kinud temperatuuride ebaühtlus dielektriku massis muutub veelgi järsumaks. Enamiku isolatsioonimaterjalide väike soojusjuhtivus omalt poolt takistab temperatuuride tasakaalustumist. Sellise protsessi are-nemise tulemusena toimub piiratud dielektriku osa ülemäärane soojene-mine, millele järgneb soojuseline läbilöök.

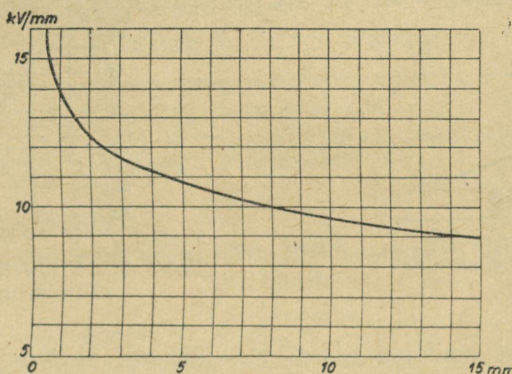
Elektrilise läbilöögi põhjuseks on materjali struktuuri hävinemine elektrivälja puhtmehaaniliste jõudude mõjul. Nagu teada, omavad aine pisimad osakesed ühe või teise märgiga elektrilaengu. Nende osakeste tõmbe- ja tõukejõudude tasakaal kujundab aine teatava seisukorra. Liiga tugev väline elektriväli võib põhjustada (kujutame endile seda protsessi puhtskemaatiliselt) nende osakeste paigaldnihkumist, mistõttu tekibki elektriline läbilöök.

Praktilises elektrotehnikas on sagedamini tegemist soojuselise läbi-löögiga kui elektriliselega.

Selge on, et kui on tegemist teguritega, mis soodustavad tugevaid paiklikke ülekuumenemisi dielektrikus (madal  $q_v$  või suur  $\eta$ , järsk kadude tõus soojenemisel, dielektriku väike soojusjuhtivus ja suur paksus, mis ei soodusta soojuse ärajuhtimist), siis võib oodata soojuse-list läbilööki. Vastupidiselt, väikeste ja temperatuurist vähe olenevate kadude ja heade jahutusvõimaluste puhul on tõenäolisem elektriline läbilöök.

Soojuselise läbilöögi juures on isolatsiooni läbilöögitugevus seda suurem, mida suurem on  $\rho_v$  (või mida väiksem on  $\eta$ ), mida aeglasem on kadude tõus soojenemisel ja mida suurem on materjali soojusjuhtivus.

Ühe ning sama materjali juures ei jää läbilöögitugevus püsivaks suuruseks. Soojuselise läbilöögi juures vähendavad läbilöögitugevust need tegurid, mis soodustavad soojust eraldumist ja ülekuumenemist. Nii väheneb  $E_v$  temperatuuri tõusu juures, alaliselt pingelt vahelduvale pingele üleminekul, vahelduva pinge sageduse suurenemisel.  $E_a$  väheneb teataval määral ka isolatsioonikihi paksuse suurenemisel (joon. 38), kuna selle juures halvenevad soojuste ärajuhtimise tingimused. Seepärast valem (5,16) ei ole ka alalise ja ühtlase elektrivälja juures päris täpne: faktiliselt tõuseb läbilöögipinged veidi aeglasemalt kui isolatsiooni paksus.



Joon. 38. Portselani läbilöögitugevuse olenevus paksusest.

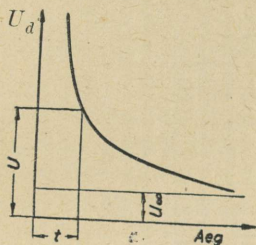
Kuna soojuselise läbilöögi protsess toimub ajas ja läbilööki tekib peale materjali hävitamiseks vajaliku temperatuuri saavutamist, siis läbilöögitugevuse suurus oleneb ka isolatsiooni pingega koormamise ajast. Läbilöögitugevuse olenevuse graafilist kujutust pingega koormamise ajast nimetatakse isolatsiooni „ea kõveraks” (joon. 39).

Pinge rakendamise vältuse suurenemisel väheneb läbilöögipinged algul kiiresti, pärast aeglasemalt, kuni ta jõuab piirkonda, kus ta praktiliselt on ajast olenematu. Kõverat joon. 39 tuleb mõista järgmiselt: kui isolatsioon on koormatud teatava pingega  $U$ , siis toimub läbilööki aja  $t$  möödumisel; kui aga pinged kõrvaldatakse enne aja  $t$  möödumist, siis jääb isolatsioon terveks. Nii võib isolatsioon lühikese aja jooksul välja kannatada palju suuremat pinget kui pikema aja jooksul. Isolatsioon kannatab välja määramata aja jooksul ilma kahjuta ainult sellist pinget, mille suurus ei ületa suurust  $U_{\infty}$ , s. o. suurust, milleni isolatsiooni ea kõver kunagi ei lasku.

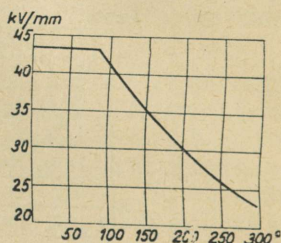
Aeg, mille jooksul ea kõver laskub praktiliselt stabiliseerunud läbilöögi väärtuseni, võib olla mitmesugune — mõnest sekundist paljude tundideni. Ta on seda suurem, mida suurem on isolatsiooni täielik soojusmahtuvus ja mida suurem on selle soojusjuhtivus, s. t. mida aeglasemalt saavutatakse tasakaal soojuse eraldumise ja selle neelamise ning ärajuhtimise vahel.

Vaadeldav läbilöögi pinge olenevus pingega koormamise ajast omab väga suurt praktilist tähtsust. Isolatsiooni proovimisel läbilöögil on tarvis peale proovimispinge suuruse kindlaks määrata ka pingega koormamise aeg proovimisel.

Elektrilise läbilöögi juures ei olene läbilöögitugevus temperatuurist või oleneb sellest õige vähesel määral.  $E_a$  peaaegu ei olene elektrilise läbilöögi juures vahelduva pinge sagedusest. Koormamise aeg ei



Joon. 39. Isolatsiooni „ea” kõver.



Joon. 40. Klaasi läbilöögitugevuse olenevus temperatuurist.

mõjuta elektrilist läbilööki üldse: kui läbilöök ei teostunud esimese sekundi murdosa jooksul, siis ei toimu ta ka edaspidi. Elektrilise läbilöögi juures väheneb läbilöögitugevus väga tugevasti elektrivälja ebaühtluse tõusuga, s. t. elektrootide teravad servad ja nurgad jne. vähendavad järsult läbilöögitugevust ja mõjutavad äärmiselt halvasti isolatsiooni töötingimusi (soojuselise läbilöögi juures see mõju oli väiksem). Elektrilise läbilöögi juures esineb läbilöögitugevuse vähenemine ka isolatsioonikihi paksuse kasvuga, kuid seda ainult ebaühtlases elektriväljas. Täiesti ühtlases elektriväljas, mida saab tekitada ainult eriliste kunstlike võtete abil, elektrilise läbilöögi puhul läbilöögitugevus isolatsioonikihi paksusest ei olene.

Kindlaks teha asjaolu, kas antud olukorras on tegemist elektrilise või soojuselise läbilööbiga, on võimalik isolatsiooni mitme proovimisega läbilöögil mitmesuguste temperatuuride, mitme vahelduvvoolu sagedusega või mitmesuguse koormamise aja juures. Kui seejuures iga kord saadakse peaaegu ühesuguse väärtusega  $E_a$ , siis on tegemist elektrilise läbilööbiga, ja vastupidi. Juhul, kui  $E_a$  suurust ei mõõdetud, on pärast läbilööki selle iseloomu kindlakstegemine sageli täiesti või-

matu; materjali söestumise, sulandumise jne. aste oleneb ainult vooluallika võimsusest.

Mõningal juhul võib ühe ning sama materjali juures tähele panna ühe läbilöögi tüübi muutumist teiseks. Nii võib temperatuuri tõusmisel seni madalatenä püsinud kadude suurenemise tõttu elektriline läbilöök muutuda soojuseliseks. Joon. 40 on toodud üks selline näide: siin kuni 90° läbilöök ei olene temperatuurist ja meil on tegemist elektrilise läbilöögi-giga. Alates aga sellest temperatuurist toimub läbilöögitugevuse vähenemine temperatuuri tõusmisel, mis iseloomustab soojuselise läbilööki. Real juhtudel võib tähele panna elektrilise läbilöögi muutumist soojuseliseks isolatsioonikihi paksuse suurenemisel, vahelduva pinge sageduse suurenemisel jne.

Tabelis 14 on toodud mitmesuguste isolatsioonimaterjalide ligikaudsed läbilöögitugevuse väärtused.

Tabel 14.

Materjal	$E_d$ kV/mm	Materjal	$E_d$ kV/mm
Vilgukivi . . . . .	50—300	Kummi . . . . .	30—50
Hele lakkriie . . . . .	35—50	Immutamata kaablipaber	3—5
Tume lakkriie . . . . .	50—70	Immutatud " "	40—80

## 28. Elektri-isolatsiooni materjalide mitmesugused füüsikalised-keemilised omadused.

a) **Mehaaniline tugevus.** Tuntakse järgmisi mehaanilise tugevuse liike: tõmbetugevus, survetugevus, paindetugevus jne. Kõik need iseloomustused peavad paika staatilise koormamise juures, s. o. sujuval, tõugeteta koorma tõusmisel kuni materjali purunemiseni. Sageli aga omab suurt tähtsust ka materjali rabeduse hinnang, tema vastupidavus järskudele koormamistele ja löökidele. Viimast iseloomustab löök-paindetugevus, mis on võrdne löögil materjali purustava koorma elavjõu ja proovikeha ristlõikepinna suhtega. Materjali tugevust staatilise koormamise suhtes mõõdetakse kg/cm<sup>2</sup>, kuna tugevust löökpainde suhtes — kg · cm/cm<sup>2</sup> ehk kg/cm. Materjali elastsust iseloomustab tema võime painduda vigastuseta ümber teatava raadiusega pulga. Brinelli kõvadust määratakse karastatud teraskuuli materjali pealispinnasse surumise sügavuse mõõtmisega, kõvadust Moosi järgi määratakse sellega, et tehakse kindlaks, missugune vastavasse järjestusse asetatud mineraal jätab materjalile esimesena jälje joone tõmbamisel.

b) **Termiline püsivus.** Tähtsamaks dielektrikute omaduseks on töötamise võime kõrgendatud temperatuuride juures isoleerimisfunktsioonide ja materjali enese riknemiseta. Tuleb silmas pida, et töötempe-

ratuuri tõusmisel kasvab tugevasti ka iga elektrimasina ja aparaadi võimsus, kuna kaal ja gabariitmõõted seejuures vähenevad. Elektriisolatsiooni materjalid enamikul juhtudel aga määravad lubatava töötemperatuuri.

Real materjalidel on kindel sulamispunkt, s. o. tahkest olekust vedelasse ülemineku temperatuur. Amorfsel ainetel nagu klaas, bituumenid, vaigud jne. puudub teravalt väljendatud sulamispunkt, nende pehmenemine toimub teatava temperatuuri-intervalli piirides ja nende pehmenemistemperatuur on suhteliseks mõisteks. Temperatuur, mille juures kindla mehaanilise koormuse mõjul materjal hakkab kindla suurusega deformatsiooni andma, on tema termilise püsivuse kriteeriumiks. Peale termilise püsivuse eritletakse veel tulekindlust, s. o. materjali või tema poolt eraldatavate gaaside mitte põlema hakkamist leegi või sädeme mõjul, kuumuskindlust, s. o. omadust mitte põlema hakata tulise esemega kokku puutel, ja kaarekindlust, s. o. vastupidavust voltakaare mõjule (ei tohi jätta voolu juhtivaid jälgi ega hävineda).

Kõik need suurused, mida määratakse eriliste võtetega, iseloomustavad materjalis tekkivaid muutusi lühiajalise soojendamise tagajärjel. Suure praktilise tähtsusega on pikemaajalise soojendamise tõttu (eriti hapniku juurdepääsul) tekkiv materjali omaduste pidev halvenemine — nn. soojuseline vananemine.

Elektrimasinaehituses kasutatavad isolatsioonimaterjalid jaotatakse soojuskindluse klassidesse, mis määravad suurima lubatud töötemperatuuri, mida võib rakendada määramata pika aja jooksul. See jaotus on suhteline, kuna mitmesugused samasse klassi kuuluvad materjalid omavad veidi erinevaid lubatavaid töötemperatuure, igal juhul aga on see jaotus orienteerumiseks suure väärtusega. Eritletakse viis soojuskindluse klassi: O, A, B, BC ja C.

O-klassi materjalid on orgaanilised kiudained (paber, puuvill, siid jne.), mis töötavad õhu käes. Maksimaalne töötemperatuur on 90°.

A-klassi kuuluvad samad materjalid, kuid immutatult (lakiga, kompaundiga, õliga jne.) või töötamisel õlis. Kuna kiudaine ei puutu töötamisel õhuga kokku ega allu otseselt tema hapendavale mõjule, siis A-klassi materjalide töötemperatuur on võrreldes O-klassiga tõstetud 105°-ni. A-klassi materjalide hulka kuulub ka emailitud traadi lakkate.

B-klassi kuuluvad vilgukivi ja asbesti preparaadid, kui side- ja immutusaineteks on kasutatud orgaanilisi lakke või kompaunde. Eriliste kuumuskindlate lakkide kasutamisel (kõne alla ei tule asfaltlakid) saame klass BC isolatsiooni. Selle klassi maksimaalne töötemperatuur on 140°, kuna B-klassi kuuluvail isolatsioonimaterjalidel on see 130°.

Lõpuks kuuluvad C-klassi vilgukivi ja asbest, samuti portselan, klaas, kvarts, mikaleks ja nendega sarnased mineraalained. Nende

töötemperatuuri ei piirata üldse, kuna ta on igal juhul alla neid temperatuure, mille juures dielektriku omadused halvenema hakkavad.

c) **Soojusjuhtivus.** Soojusjuhtivus on üks tähtsamaid isolatsioonimaterjalide omadusi, kuna kadude tõttu tekkiv soojus juhitakse ära isolatsioonikihi kaudu. Mida suurem on kõigi teiste võrdsete omaduste kõrval dielektriku soojusjuhtivus, seda väiksem on juhtme soojenemine ja seda suurem on viimase lubatav koormus vooluga.

Kaks kondensaatorplaati  $M$  ja  $N$ , mille omavaheline kaugus on  $l$  cm, omavad erinevat temperatuuri, mille juures plaat  $M$  on kõrgema temperatuuriga kui plaat  $N$ , nende temperatuuride vahe on  $\theta^{\circ}$ . Plaadilt  $M$  plaadile  $N$  tekib soojuse vool isolatsioonikihis ristlõikega  $S$  cm<sup>2</sup>. Igas sekundis voolab plaadilt  $M$  plaadile  $N$  soojuse hulk  $P$  (soojusvoo võimsus), mida saab määrata Fourier valemiga

$$P = \frac{S \cdot \theta}{\beta \cdot l}, \quad (5,17)$$

kus  $\beta$  on materjali soojuseline eritakistus. Tema pöördväärtust nimetatakse materjali erisoojusjuhtivuseks.

Arvutuste hõlbustamiseks elektrotehnikas ei mõõdetata  $P$ -d mitte kalories/sekundites, vaid vattides, ja  $\beta$ -d — soojuselistes oomsentimeetrites. Valemit (5,17) võib kirjutada järgmiselt:

$$P = \frac{\theta}{T}, \quad (5,18)$$

kus

$$T = \beta \cdot \frac{l}{S} \quad (5,19)$$

abil väljendatud suurust nimetatakse isolatsiooni piirkonna täielikuks soojuseliseks takistuseks ja teda mõõdetakse soojuselistes oomsentimeetrites.

Vaadeldes toodud valemeid, leiame, et valem (5,19) on üsna sarnane valemiga (5,1), kusjuures  $\beta$  on analoogiline elektrilisele mahueritakistusele; valem (5,18) on kujult sarnane hariliku Ohm'i seaduse valemiga, kusjuures  $P$  vastab voolutugevusele, temperatuuride vahe — pingele plaatide  $M$  ja  $N$  vahel; ja  $T$  — täielikule isolatsioonikihi mahutakistusele  $R$  kondensaatori plaatide vahel.

Kiudainete soojusjuhtivus tõuseb immutamise tõttu. Heaks kompaundide soojusjuhtivuse tõstmise vahendiks on neile peene liiva juurdelisamine.

Tabelis 15 on toodud  $\beta$  väärtused soojuselistes oomsentimeetrites mitmesuguste metallide ja dielektrikute kohta.

Materjal	$\beta$ soojuselis- tes oom·cm	Materjal	$\beta$ soojuselis- tes oom·cm
Vask . . . . .	0,24	Vesi . . . . .	170
Alumiinium . . . . .	0,50	Tsement . . . . .	350
Teras . . . . .	1,2	Asbest . . . . .	600
Seatina . . . . .	3	Immutatud kaablipaber . . . . .	650
Kvarts . . . . .	15	Lõng . . . . .	1700
Portselan . . . . .	95	Liiv . . . . .	1800
Muld . . . . .	100—300	Siid . . . . .	2200
Asfalt . . . . .	150	Immutamata kaablipaber . . . . .	2500
Tellis . . . . .	160		

d) **Hügrokoopsus.** Kõik materjalid, nende hulgas ka elektri-isolatsioonimaterjalid on suuremal või väiksemal määral hügrokoopsed, s. o. neelavad vett või mõnda muud vedelikku.

Hügrokoopsus võib olla mitmesugune, olenevalt materjali ehituse iseloomustest. Võime eraldada pinnalist hügrokoopsust, kui materjal kattub hõlpsalt õhukese veekihikesega ainult pinnal, materjali sisse-  
misse selle juures vesi aga ei tungi (näiteks klaas), ja mahulist hügrokoopsust, mille juures vesi tungib materjali sisse (enamik orgaanilisi materjale).

Väga hügrokoopsete materjalide hulka kuuluvad kõik kiudained, samuti mõned soolad (märgime neist klooralkaliumi, mida kasutatakse laboratoriumides niiskuse kõrvaldajana, tsinkkloriidi, mille jäljed tõstavad väga suurel määral vulkaniseeritud fiibri hügrokoopsust, fosforhappe anhüdriidid, silikagel jt.). Väikseima hügrokoopsusega ainete hulka kuuluvad mõned süsivesinikud, nagu bituumenid, parafiin, tse-  
resiin, stirol, samuti kvarts.

Hügrokoopsusega ei tule ära segada aine keemilist ühinemist veega. Vastandina keemiliselt seotud veele on võimalik hügrokoopset vett materjalist kõrvaldada lihtsa soojendamisega 100<sup>o</sup>-ni.

Hügrokoopsus on tähtsaks elektri-isolatsioonimaterjalide omaduseks. Hügrokoopse vee olemasolu vähendab väga suurel määral, nagu me nägime, materjalide isolatsioonivõimet: ta vähendab eritakistust ja läbilõõgitegevust, suurendab dielektriliste kadude nurka. Elektri-isolatsioonimaterjalide hügrokoopsuse vähendamiseks kasutatakse laialdaselt mitmesuguste mittehügrokoopsete ainetega immutamist.

Üldise reeglina on isolatsioonimaterjalide suur hügrokoopsus ebasoovitav. Mõned materjalid nagu paber ja papp töötavad immutatud olukorras väga hästi, mistõttu nende juures suur hügrokoopsus on koguni kasulik immutusaine suurema sissetungimise soodustamiseks.

Vee ja teiste vedelikkude imamisvõime igakülgseks kindlaksmääramiseks isolatsioonimaterjalis tuleb teostada mitmete näitarvude määramisi.

1. Materjali niiskus, s. o. hügrokoopse vee sisaldus hantitud materjalis. Kui me võtame saadud materjalist proovi ja soojendame teda  $100^{\circ}$  juures seni, kui ta kaal enam ei muutu, siis saame niiskuse kaalu-% järgmise valemi järgi:

$$h_0 = 100 \cdot \frac{A-B}{A} \% \quad (5,20)$$

kus  $A$  on proovi esialgne kaal ja  $B$  — kuivatatud proovi kaal.

2. Hügrokoopusus. Hügrokoopuse all kitsamas mõttes mõistetakse veeaurude neelamist materjali poolt otse õhust. Kui me asetame kuivatatud proovi, kaaluga  $B$ , hüdrostaati (kinnisesse anumasse, mille põhjale on valatud vesi, mille aurud küllastavad hüdrostaadis olevat õhku) ja hoiame teda seal teatava aja (harilikult 24 tundi), siis proov võtab kaalus juurde. Kui proovikeha kaal peale kahekümnenelja-tunnist hüdrostaadis olekut on  $C$ , siis on hügrokoopusus kaalu %-tides:

$$h_1 = 100 \cdot \frac{C-B}{B} \% \quad (5,21)$$

3. Veeimamisvõime. Kui proovikeha hoida teatav aeg, näiteks 24 tundi, vees, siis toimub vee imamine energilisemalt kui õhust. Proovikeha kaal peale vees olekut olgu  $D$ ; siis leiame veeimamisvõime:

$$h_2 = 100 \cdot \frac{D-B}{B} \% \quad (5,22)$$

Selge on, et alati on  $h_2 > h_1$  ja  $h_1 \geq h_0$ .

4. Oliimamisvõime. Sageli on huvitav kindlaks määrata isolatsioonimaterjali hügrokoopusust mitte vee, vaid transformaatorõli suhtes, mõnikord aga ka erivedelikkude, nagu laki suhtes. Määramine toimub analoogiliselt eelmisele, kusjuures proovikeha hoitakse õlis 24 tundi. Kui proovikeha peale õlis hoidmist kaalub  $E$  üksust, siis oliimamisvõime — väljendub valemiga:

$$h_3 = 100 \cdot \frac{E-B}{B} \% \quad (5,23)$$

## VI peatükk.

### ELEKTRI-ISOLATSIOONI MATERJALIDE PROOVIMINE.

#### 29. Eritakistuste mõõtmine.

Dielektrikute eritakistuste määramiseks mõõdetakse vastavast dielektrikust väljalõigatud proovikeha takistust, mis on lülitatud eriliste elektrootude abil alalisvoolu vooluringi, misjärel teostatakse ümberarvutus proovikeha ja elektrootude kuju ning mõõteid arvesse võttes.

Dielektrikute proovikehadel on tavaliselt väga suur takistus, mis küünib kuni  $10^{14}$ — $10^{18}$  oomini ja isegi kõrgemale. Seepärast ei kõlba nende takistuste mõõtmiseks sellised meetodid nagu Wheatstone'i sild. Pealegi on silla skeemid ebamugavad dielektrikute takistuste mõõtmiseks, kuna viimaste takistused olenevad pingest, silla süsteemis aga toimub mõõdetavas takistuses pinge muutumine.

Ühe tavalisema dielektriku proovikeha takistuse mõõtmise viisi juures lülitatakse mõõdetav takistus  $R_x$  (joon. 41) alalisvoolu-ringi järjestikku alalisvoolu-allikaga  $B$  ja peegelgalvanomeetriga  $G$ , mis on mõõtmise piirkonna suurendamise otstarbel varustatud šundiga  $S$ . Mõõdetavas takistuses tekkivat pingelangu  $U$  mõõdetakse pretsisioon-voltmeetriga  $V$ .

Puhvertakistus  $R_b$  on selleks, et vältida suuri voolutugevusi proovikeha läbilöögi või juhusliku lühise puhul. Maandamise ülesandeks on kõrgete potentsiaalide tekkimise vältimine maa suhtes galvanomeetril ja šundil.

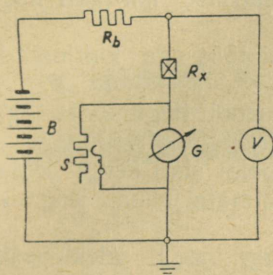
Voolutugevuse  $I$  määramiseks loetakse galvanomeetri osuti hälve skaalal millimeetrites antud šundi takistuse  $S$  juures. Peab teada olema galvanomeetri tundlikkus (s. o. voolutugevus amprites, mis annab galvanomeetrit läbides osuti hälbe  $\alpha = 1$  mm) ja galvanomeetri sisetakistus  $R_g$ . Voolutugevus määratakse valemiga

$$I = \alpha \cdot C \cdot \frac{R_g + R_s}{R_s}. \quad (6,1)$$

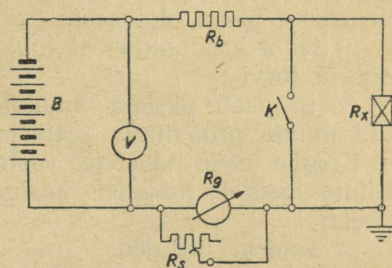
Voolutugevuse lugemist teostatakse üks minut pärast proovikeha pinge alla lülitamist (võetakse arvesse voolutugevuse järk-järgulist alanemist pärast alalise pingega koormamise algust).

Otsitav takistuse suurus leitakse valemi abil:  $R_x = \frac{U}{I}$ . Tõtt öelda, sellest suurusest tuleks lahutada veel paralleelselt lülitatud galvanomeetri ja šundi takistused, need aga on võrreldes dielektriku takistusega lõpmata väikesed ja neid võib jätta arvestamata.

Vaadeldud meetodit nimetatakse otsese hälbe meetodiks (kuna läbi proovitava takistuse minev vool määratakse otseselt galvanomeetri osuti hälbe abil). Selle meetodi puuduseks on vajadus teada



Joon. 41. Otsese hälbe meetodi skeem.



Joon. 42. Võrdlusmeetodi skeem.

galvanomeetri tundlikkust, mis aja jooksul võib muutuda. Allpool kirjeldatav võrdlusmeetod on sellest puudusest vaba ja ei vaja pealegi pretsisioonvoltmeetri kasutamist, kuna voltmeetriga mõõdetav proovikehale rakendatud pinge suurus ei kuulu takistuse määramise valemisse. Selle meetodi juures aga peab olema takistus-etalon (harilikult 50 000—100 000 oomi), millega võrreldakse mõõdetavat takistust.

Joon. 42 on toodud võrdlusmeetodi skeem. Teostatakse kaks galvanomeetri osuti hälbe lugemist. Esimene lugemine toimub lüliti  $K$  suletud seisus; selle juures saame voolutugevus jaoks, mis läbib takistuse  $R_b$  (takistus  $R_x$  on lühistatud), kaks väljendit:

$$\alpha_1 \cdot C \cdot \frac{R_g + R_{s1}}{R_{s1}} = \frac{U}{R_b}, \quad (6,2)$$

kus  $U$  on alalisvoolu-allika elektromotoorne jõud (pingelangu vooluallikas eneses ja galvanomeetris ei arvestata).

Teine lugemine  $\alpha_2$  teostatakse lüliti  $B$  lahtises seisus, kui šundi takistus on  $R_{s2}$ . Takistusi  $R_x$  ja  $R_b$  läbiv vool on:

$$\alpha_2 \cdot C \cdot \frac{R_g + R_{s2}}{R_{s2}} = \frac{U}{R_x + R_b}. \quad (6,3)$$

Valemid (6,2) ja (6,3) moodustavad võrrandsüsteemi kahe tundmatuga —  $R_x$  ja  $C$ . Neist võrranditest saame:

$$R_x = R_b \cdot \left( \alpha_1 \cdot \frac{R_{s2}}{R_{s1}} \cdot \frac{R_g + R_{s1}}{R_g + R_{s2}} - 1 \right). \quad (6,4)$$

Sellesse võrrandisse ei kuulu suurused  $C$  ja  $U$ .

Elektroodide valik mõjutab tugevasti mõõtmistulemuste täpsust dielektrikute eritakistuste määramisel, seda eriti tahkete dielektrikute puhul.

Elektroodide materjalile esitatavad nõuded on järgmised:

1) ta peab andma hea mehaanilise ja elektrilise kontakti kogu elektroodi pinna ulatuses;

2) tema kasutamine ei tohi tekitada raskusi töös ega kahjustada töötaja tervist;

3) ta peab püsima muutumatuna eksperimendi tingimustes ega tohi muuta proovitava materjali omadusi.

Kõigile neile nõuetele vastavat materjali pole alati kerge leida. Mitmesugustel juhtudel kasutatakse elektroodimaterjalina järgmisi aineid:

a) **Tahked metallid** (vask, pronks, messing jne.). Elektroodid valmistatakse valamise, hõõveldamise, treimise, painutamise, lihvimise jne. teel. Sellised elektroodid on kasutamisel lihtsad käsitada, nende ühendamine proovikehaga toimub lihtsa pealepaneku teel. Samal ajal aga on need elektroodid ka kõige ebatäiuslikumad, kuna ei elektroodi ega ka proovikeha pindu ei saa lugeda täiesti siledaks ja tegelik kontakti pind elektroodi ja proovikeha vahel on ainult osa kogu kokkupuutepinnast. Sellised elektroodid annavad suurendatud takistuste väärtusi eriti mahu-eritakistuse määramisel. Kontakt paraneb surve suurendamisel elektroodile, liiga suure surve juures aga võib deformeeruda proovitav materjal.

Neid elektroode võib kasutada ainult üsna ligikaudsete mõõtmiste juures.

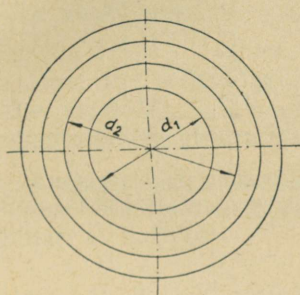
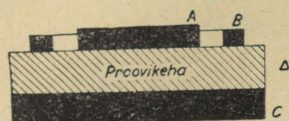
Paremat kontakti võib saada õhukese metall-lehe kasutamisel, mis surutakse proovikeha pinnale kummist vaheplaadi abil.

b) **Elavhõbe**. Elektroodi moodustamiseks valatakse elavhõbe proovikehale asetatud põhjata vormi, proovikeha ise pannakse nõusse valatud elavhõbedale ujuma. Elavhõbe annab kindlaima kontakti kogu kokkupuutepinnaga. Eriti täpsete mõõtmiste juures proovikeha pinnal õhumullikeste vältimiseks valatakse elavhõbe vormi vaakuumis. Elavhõbedast elektroodid on NSV Liidus kasutamisel orgaanilise päritoluga plastmasside eritakistuse mõõtmistel (OCT 3069—3070).

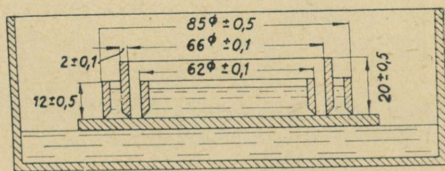
Elektroodimaterjalina omab elavhõbe ka rea puudusi. Tema vormivalamine võtab palju aega ja nõuab hästi ligilihvitud vorme, kuna muidu ta voolab vormist kergesti välja. Elavhõbe on mürgine, tema aurude sissehingamisel või tema kokkupuutel nahaga tekivad rasked mürgitused. Eriti raskendatud on elavhõbeda kasutamine kõrgendatud

temperatuuride juures, kus tema aurumine ja hapendumine on eriti intensiivne.

c) **Juhtivad metallsed kattekihid** võimaldavad ühendada elavhõbeda (hea kontakt) ja tahkete metallide paremusi (kasutamise lihtsus, määrimise teostamise võimalus kõrgendatud temperatuuridel, kahjutus tervisele). Proovikeha pind kaetakse vajalikkudel kohtadel, kasutades vastavaid šabloone, metallikihi kesega (hõbe, vask, nikkel jne.) katoodtolmustamise, vaakuumis aurustamise või mõnel muul sobival teel. Sellised katted töötavad hästi, kuid vajavad vasta-



Joon. 43. Rõngaselektroodid.



Joon. 44. Elavhõbedast elektroodid OCT 3069—3070 järgi.

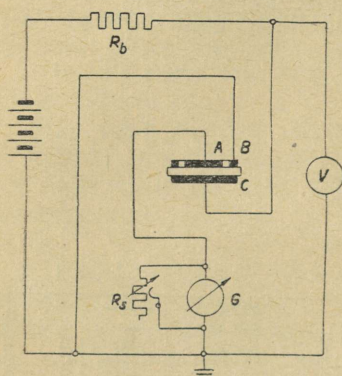
vaid seadmeid selle kihikesse tekitamiseks. Mõnel juhul võib elektroodina kasutada ka tušist, grafiidist või mõnest muust sellisest aineist katet.

Elektroodidele antakse, olenemata nende materjalist, kõige sagedamini joon. 43 toodud kuju. Dielektrikust proovikehaga, millele on antud plaadi kuju paksusega 1 cm, puutuvad kokku kolm elektroodi: silinder A läbimõõduga  $d_1$ ; rõngas B läbimõõduga  $d_2$ , mis on konsentriline silindriga A; alumine elektrood C. Sagedamini kasutatakse mõõteid  $d_1 = 5$  cm,  $d_2 = 7$  cm.

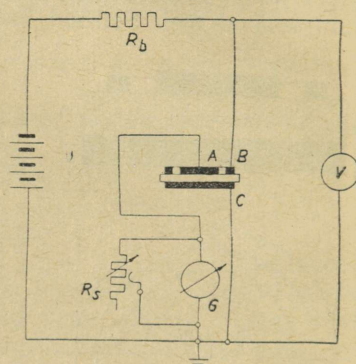
OCT 3069—3070 näeb ette  $d_1 = 6,2$  cm ja  $d_2 = 6,6$  cm. Elavhõbedast elektroodide ehitust OCT 3069—3070 järgi demonstreerib joon. 44.

Mahu-eritakistuse määramiseks kasutatakse elektroodi mõtteskeemi lülitamist joon. 45 järgi. Selle juures pinge  $U$  ja voolutugevuse  $I$  jagatis annab elektroodide A ja B vahelise takistuse  $R_{vz}$ . Elektroodidel A ja B on sama potentsiaal (ei arvestata väga väikest pinge-

langu galvanomeetris); elektroodide  $A$  ja  $B$  vaheline pinnakao vool ei läbi galvanomeetrit. Kui elektrood  $B$  (nn. kaitserõngas) puuduks, mõõdaks galvanomeeter mitte ainult mahutakistuse kaudu tekkivat voolukadu, vaid mahutakistuse ja pinnatakistuse kaudu voolavate voolutugevuste summat elektroodide  $A$  ja  $C$  vahel, mis tekitaks mõõtmisvea. Kaitserõngal on ka veel teine ülesanne — ühtlase elektrivälja loomine elektroodide  $A$  ja  $C$  vahel (elektroodi  $A$  servade mõju kaota-



Joon. 45. Mahu-eritakistuse mõõtmine otsese hälbe meetodil.



Joon. 46. Pinna-eritakistuse mõõtmine otsese hälbe meetodil.

mine). Nii on siis mahutakistuse kaudu voolava voolu tee pikkus  $d$  cm ja selle voolu all oleva dielektriku ristlõike pind on ringi pindala läbimõõduga  $d_1$  cm, s. o.  $\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2$  cm<sup>2</sup>. Proovimisel oleva dielektriku mahu-eritakistuse leidmiseks saab kasutada valemit:

$$q_v = R_{vx} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \text{ oom} \cdot \text{cm}.$$

Kihilise ehitusega materjali juures, mille takistus piki kihti on väiksem kui risti kihti ja sisemiste kihtide takistus on väiksem kui välimiste kihtide takistus (selliseks materjaliks on näiteks getinaks, milles bakeliit on väliskihvides rohkem polümeeriseeritud kui sisemistes), mõõdetakse nn. materjali sisemist takistust. Sisemiseks takistuseks loetakse takistust kahe elavhõbedaga täidetud materjalisse puuritud augu vahel.

Pinnatakistuse mõõtmiseks kasutatakse samu rõngaselektroode, mõõtmisele kuulub aga elektroodide  $A$  ja  $B$  vaheline takistus  $R_{sx}$ , elektrood  $C$  maandatakse (joon. 46). Sel juhul saame arvutada eri-

takistust järgmise täpse valemi järgi, mis võtab arvesse ka elektroodide kõveruse:

$$Q_x = R_x \cdot \frac{2,74}{\log \frac{d_2}{d_1}} \text{ oomi.} \quad (6,5)$$

Kui vahe  $d_2 - d_1$  on väike, võrreldes  $d_1$  suurusega, siis võib kasutada lihtsamat ligikaudset valemit:

$$Q_x = R_x \cdot \frac{\pi \cdot \frac{d_1 + d_2}{2}}{\frac{d_2 - d_1}{2}} = R_x \cdot \pi \cdot \frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1} \text{ oomi,} \quad (6,6)$$

kus  $\frac{d_2 - d_1}{2}$  on elektroodide vaheline kaugus ja  $\pi \cdot \frac{d_2 + d_1}{2}$  on keskmine voolu teekonna laius [s. t.  $a$  ja  $b$  suurused valemites (5,3) ja (5,4)].

Joon. 45 ja 46 toodud skeemid võimaldavad  $R_x$  mõõtmist otsese hälbe meetodil; analoogiliselt lülitatakse elektroodid vooluringi ka võrdlusmeetodi kasutamisel.

Vedelate dielektrikute takistuse mõõtmisel valitakse puhtad ja hästi lihvitud elektroodid, mis on valmistatud metallist, mida dielektrik keemiliselt ei mõjuta.

### 30. Dielektriliste kadude ja dielektrilise läbitavuse mõõtmine.

Dielektriliste kadude nurga ja isolatsiooni mahtuvuse mõõtmiseks on mitu eri meetodit. Levinenumaks seadeldiseks on Scheringi poolt soovitatud silla skeem, mida kasutatakse sageduste juures 25—500 herti. Scheringi silla põhimõtteline skeem on toodud joon. 47. Tema neli õlga moodustavad:

1) mõõdetav objekt, mida vaatleme kui kondensaatorit mahtuvusega  $C_1$  ja kadude nurgaga  $\delta_1$ ;

2) etaloonkondensaator, mahtuvusega  $C_2$ , mille dielektrilised kaod on praktiliselt null ( $\delta_2 = 0$ );

3) muudetav oomiline takistus  $R_3$  ilma induktiivsuset ja mahtuvuset;

4) üksteisega paralleelselt lülitatud muudetav mahtuvus  $C_4$  ja oomiline takistus  $R_4$ .

Kui valida  $R_3$  ja  $C_4$  väärtused selliselt, et sild oleks tasakaalustatud, s. o. et vool diagonaalil asuvas vibratsioonigalvanomeetris oleks võrdne

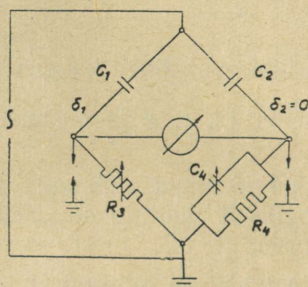
nulliga, siis Scheringi silla teooriast saame kaks võrrandit otsitavate suuruste leidmiseks:

$$\operatorname{tg} \delta_1 = 2\pi f \cdot C_4 \cdot R_4, \quad (6,7)$$

$$C_1 = C_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_1}. \quad (6,8)$$

Silla toitevool saadakse transformaatorist.

Silla ohutuks kasutamiseks kõrgete pingete juures maandatakse 3. ja 4. öla ühenduspunkt. Kui see maandamine katkeb või tekib proovitava esemel läbilöökk, siis lüüakse läbi ka sädemevahed 1. ja 3. öla ühenduspunkti ja maa või 2. ja 4. öla ühenduspunkti ja maa vahel.



Joon. 47. Scheringi silla põhimõtteline skeem.

Kondensaatori  $C_2$  dielektrikuks on õhk. Kõva või vedela dielektriku kasutamine ei ole võimalik, kuna sel juhul oleks  $\delta_2 > 0$ .

Takistus  $R_4$  tavaliselt võetakse võrdseks  $\frac{1000}{\pi}$  oomi. Tänu sellele saame mõõtmiste teostamisel voolu juures sagedusega 50 hertsi lihtsustatud valem

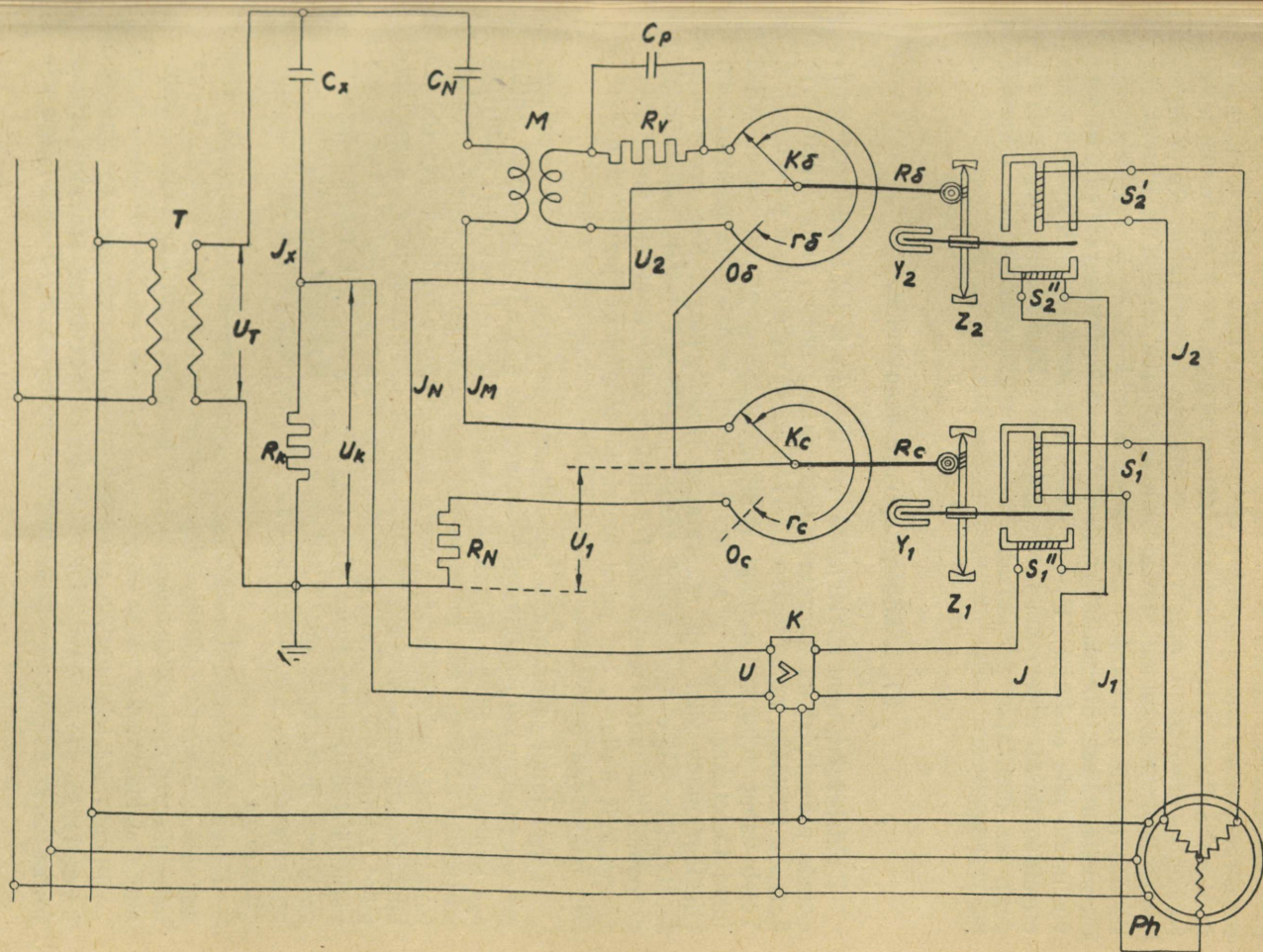
$$\operatorname{tg} \delta_1 = 0,1 \cdot C_4, \quad (6,9)$$

kus  $C_4$  on väljendatud mikrofaradites.

Silla tundlikkuse suurendamiseks võime silla diagonaalsesse lülitada vibratsioongalvanomeetri mitte otse, vaid lampvõimendaja kaudu.

Teades isolatsiooni geomeetrilisi mõõteid ja mahtuvust, võime juhul, kui see isolatsioon on homogeenest materjalist, määrata ka tema dielektrilist läbitavust. Tasapinnalise kondensaatori juures teostub see valem (5,5) abil.

Viimasel ajal on tarvitusele võetud Schering-Geigeri automaatne sild, mis võimaldab tasakaalustada silda täiesti automaatselt 1—2 sekundi jooksul. Selline seadeldis on varustatud registreerimisabinõuga ja sild registreerib automaatselt, ilma inimese kaasabita, suurusi  $C_1$  ja  $\operatorname{tg} \delta_1$  olenevalt ajast, mis on eriti tähtis kestvate proovimiste juures.



Joon. 48. Automaatse Schering-Geigeri silla skeem.

Eriti käepäraseks osutub automaatne sild kiirete  $C_1$  ja  $tg \delta_1$  muutuste registreerimisel, mille jälgimine oleks võimatu silla käsitsi tasakaalustamisel. Selle silla skeemil (joon. 48) on märgitud:  $T$  — transformaator,  $C_x$  — proovitav objekt,  $C_N$  — etaloonkondensaator,  $R_c$  ja  $R_\delta$  — reokordid, mis tasakaalustavad silla proovitava objekti mahtuvuse ja kadude nurga muutumisel mõõtemehhanismide  $Y_1Z_1$  ja  $Y_2Z_2$  abil, mis on mehaaniliselt ühendatud reokordide hammaslattidega (induktiivsete voolumõõtjate eeskujul),  $V$  — võimendaja,  $Ph$  — mõõtemehhanismide ergutusmähiste toitevoolu faasiregulaator. Reokordide hammaslattidega on ühendatud kirjutusabinõu, mis registreerib nende liikumist liikuvallindil.

### 31. Läbilöögitugevuse proovimine.

Elektri-isolatsiooni materjalide või tervete isolatsiooni-konstruktsioonide proovimist nii kõrgete pingete rakendamisel, mis võivad esile kutsuda läbilööki, nimetatakse läbilöögitugevuse prooviks. Tuleb vahet teha kahte tüüpi läbilöögitugevuse proovi vahel. Ühel juhul tõstetakse pinget proovitava esemel aeglaselt ja pidevalt kuni läbilöögi momendini; nii määratakse läbilöögipinge. See proovimine teostatakse kõige sagedamini teatud paksusega isolatsioonimaterjali proovidel, kusjuures elektroodid valitakse selliselt, et elektriväli oleks võimalikult ühtlane. Sel juhul annab läbilöögipingega jagatis materjalikihi paksusega proovitava materjali läbilöögitugevuse suuruse.

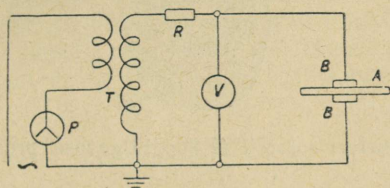
Teisel juhul rakendatakse proovitavale esemele kindel proovipinge, mis on suurem kui isolatsiooni tööpinge; see pinget hoitakse peal teatud aja jooksul. Kui selle aja jooksul ei toimu läbilööki või muid elektrilise lahenduse nähtusi, siis loetakse ese proovi väljakannatanuks. Tahke isolatsiooniga valmisesemetete proovimine pingega, mille juures toimub läbilöök, on arusaadavalt võimalik ainult üksikesemetega, kuna läbilöögi tekkimisel ese täiesti rikutakse. Kindla pingega (mis ei kutsu veel välja läbilööki) proovimist võib teostada terve partii juures, ilma et seejuures isolaatorite omadused muutuksid. Rakendatava pingega suurus määratakse igal üksikjuhul standardiga, normidega või tehniliste tingimustega.

Kõige sagedamini teostatakse proovimist vahelduva pingega. Kui aga on nõutav proovimine alalise pingega all või impulssidega (väga lühiajaliste pingete rakendustega), siis transformaatorilt saadav kõrgepinge alaldatakse.

Plaadi- või lehekujulise proovikeha läbilöögitugevuse proovimiseks kasutatakse joon. 49 toodud skeemi. Kõrgepinge saadakse transformaatorilt  $T$ ; pinget on reguleeritav potentsiomeetri  $P$  abil (väga väi-

kese võimsusega transformaatori juures võib seda asendada reostadiga). Proovikeha  $A$  asub elektrodide  $B-B$  vahel. Elektrodid omavad tavaliselt silindri kuju, mille proovikeha poole suunatud servad on ümar-  
 datud, ühtlasema elektrivälja saamiseks. Transformaatori sekundaar-  
 vooluringi lülitatakse takistus  $R$ , mis piirab voolutugevust läbilöögi  
 puhul. Pinge tõuseb kindla kiirusega sujuvalt läbilöögi momendini.  
 Läbilööki võib nähtava sädeme kõrval jälgida ka elektrostaatiliselt volt-  
 meetri  $V$  osuti langemise järgi.

Tuleb märkida, et kindlam on mõõta pinget proovikehal elektro-  
 staatiliselt voltmeetriga, kui kasutada voltmeetrit transformaatori  
 madalpinge osas ja arvutada pinget transformaatori transformeerimise



Joon. 49. Läbilöögitugevuse proovimise skeem.

teguri järgi. Viimasel juhul on selliste proovikehade juures, kus pinge  
 tõusuga takistus tugevasti langeb, võimalikud vead, mis ei jäta tule-  
 musli tugevasti mõjutamata.

Analoogilist skeemi kasutatakse ka valmisesemete läbilöögituge-  
 vuse proovimisel. Elektrodideks, mille vahele lülitatakse skeemi proo-  
 vitav isolatsioon, on elektrimasinate katsetamisel ühelt poolt mähis ja  
 teiselt poolt masina kere (maandatud elektrod); kaablite juures on  
 üheks elektrodiks vooluga koormatud kaablisoon ja teiseks elektroo-  
 diks koormamata kiud või seatinamantel.

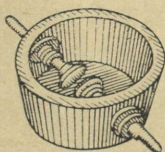
Proovimistransformaatori võimsus peab olema küllalt suur laadimis-  
 voolude loomiseks suure mahtuvusega proovikehade juures. Läbilöögi-  
 pinge peale transformaatori võimsus otsest mõju ei avalda.

Kui proovikeha on küllalt paks ja omab suurt läbilöögitugevust,  
 plaadikese teised mõõted aga on väikesed, siis võib, enne kui toimub  
 läbilöök, teostuda pinnalahendus elektrodide vahel. Sel juhul aseta-  
 takse proovikeha (kui ei ole võimalik saada suurema pinnaga proovi-  
 keha) pingega koormamise ajaks transformatorõlisse. Kuna õlis on  
 pinnalahenduse pinge palju suurem kui õhus, siis võib juhtuda, et läbi-  
 löögipinge saavutatakse õlis enne, kui tekib pinnalahendus. Loomuli-  
 kult ei saa proovimist õlis teostada selliste materjalidega, mis kergesti  
 imevad õli sisse või lahustuvad õlis.

Transformaatorõli läbilöögitugevuse proovimiseks kasutatakse  
 järgmist võtet: õli valatakse nõusse, mis on varustatud kahe messi-

gist silindrikujulise elektroodiga, millede läbimõõt on 25 mm, teljed asuvad horisontaalselt, nendevaheline kaugus on 2,5 mm, elektroodide sädemevahe poole suunatud otste servad on ümardatud raadiusega 2,5 mm (joon. 50).

Teostatakse viis üksteisele järgnevat läbilööki, kusjuures läbilöögingeks loetakse pinget, mille juures elektroodide vahel tekib voltkaar (juhuslikult ülehüppavaid sädemeid ei arvestata). Üksikute läbilöökidest tuleb võtta umbes viis minutit, mille jooksul õli segatakse. Läbilöögitugevuse näitavuna võetakse teostatud läbilöögitugevuse



Joon. 50. Transformaatorõli läbilöögitugevuse proovimise nõu.

proovi läbilöögingete aritmeetiline keskmine. Enne proovimist tuleb elektroodid ja nõu korralikult pesta ja kuivatada; õli proov tuleb võtta transformatori õlipaagi alumisest osast (väljalaskekraanist), kusjuures algul tuleb õli välja lasta sel määral, et üle loputada õliga väljalaske torustikku ja kraani. Õli proov tuuakse laboratooriumi korgitud pudelis, parem on, kui kork on parafiiniga üle valatud, et vältida juhuslikku vee sattumist õlisse, kuna see tugevasti muudab õli läbilöögitugevust.

### 32. Mitmesugused proovimised.

Peale kirjeldatud dielektrikute puhtelektriliste omaduste proovimiste teostatakse praktikas ka mitmesuguste füüsikaliste ja keemiliste omaduste määramisi, mikroskoobilisi uurimisi, vananemise proovimist jne. Nimetatud proovimised võivad olla õige mitmesugused ja me puudutame neist ainult tähtsamaid.

a) **Mehaanilise tugevuse määramine.** Mehaanilise tugevuse määramist teostatakse mitmesugustel pressidel, dünamomeetritel, tõmbemasinatel jne., mis kannavad proovikehale üle tõmbe-, surve- ja paindejõude, millede mõõtmine on võimalik võrdlemisi täpselt. Tõmbe- ja survetugevus saadakse rakendatud katkemistungi jagamisel proovikeha ristlõike pinnaga. Paindetugevuse määramiseks asetatakse proovikeha vabalt kahele toele ja koormatakse keskelt. Proovikeha normaalmõõdet (OCT 3077 järgi) ja koormuse rakendusviisi on toodud joon. 51. Proovikeha ristlõige on samasuguse kujuga kogu proovikeha

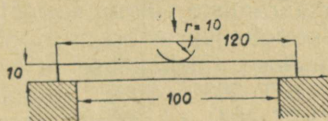
pikkuse ulatuses. Kui tähistada katkemistung  $kg$  tähega  $F$ , tugede vahekaugus  $cm$  tähega  $l$ , proovikeha laius  $cm$  —  $b$ , tema kõrgus  $cm$  —  $h$ , siis paindetugevus arvutatakse järgmise valemiga:

$$H = 1,5 \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2} \text{ kg/cm}^2. \quad (6,10)$$

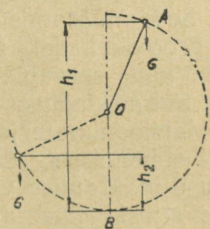
Normaalmõõdetega proovikeha juures, mis on toodud joon. 51 ( $l=100 \text{ mm}$ ,  $b=15 \text{ mm}$ ,  $h=10 \text{ mm}$ ), on valemi kujuks:

$$H = 10 \cdot F \text{ kg/cm}^2. \quad (6,11)$$

Löökpaindetugevus määratakse *Sharpy* pendliga, mille töötamise skeem on toodud joon. 52. Kinnituspunkti  $O$  ümber tiirlev raske pendel  $OA$  murrab oma langemisel katki latikujulise proovikeha  $B$ , mille otsad asuvad vabalt tugeidel. Proovikeha katkimurdmiseks kulub teatav osa pendli elavjõust ja pendli raskusele ei tõuse enam kõrgusele  $h_1$ , milleni ta oli tõstetud enne lööki, vaid väiksemale kõrgusele  $h_2$ . Nii



Joon. 51. Paindeproov.



Joon. 52. *Sharpy* pendli töötamise skeem.

saame proovikeha katkimurdmise energia, kui korrutame pendli kaalu  $G \text{ kg}$  kõrguste vahega  $h_1 - h_2 \text{ cm}$ . See energia, jagatuna proovikeha ristlõikepinna  $S \text{ cm}^2$ , annab vastupidavuse löökpaindele:

$$H_p = \frac{G \cdot (h_1 - h_2)}{S} \text{ kg/cm}^2. \quad (6,12)$$

**b) Hügroskoopsuse määramine.** Nagu eespool märgitud, toimub niiskuse, hügroskoopsuse, vee ja õli imendumise määramine sel teel, et kaalutakse proovitav materjal enne proovimist ja pärast kindlates tingimustes (termostaadis, hügrostaadis, vee ja õliga täidetud nõus) pidamist. Kuigi määramise meetodid on võrdlemisi lihtsad, tuleb neid määramisi teostada väga täpselt ja tulemuste hinnang peab olema väga ettevaatlik.

Määramiste teostamisel tuleb jälgida, et ei toimuks mingisuguseid kõrvalprotsesse, mis võiksid mõjutada tulemusi. Nii võivad puidu kuivatamisel peale vee veel lenduda vaigud ja teised koosteosad, kui kuivatamise temperatuur on liiga kõrge või kuivatamise aeg liiga pikk. Niiskes õhus või vees või õlis hoidmisel tuleb jälgida, et tempera-

tuur püsiks 20° ligidal (normaaltemperatuur), kuna temperatuuri muutumisel on tulemustes võimalikud suured kõrvalekaldumised. Ei tule kõne alla selliste ainete veesisalduse määramine, mis astuvad veega keemilisse ühendusse. Saadud tulemuste hinnangul tuleb arvestada ka proovitava materjali erikaalu; sageli on otstarbekohane niiskuse neeldumist arvestada mitte kaaluüksuse, vaid mahuüksuse kohta.

Suurt tähtsust omavad proovikeha mõõted ja kuju. Ühest ja samast materjalist proovikehadel on seda suurem hügroskoopsus, mida suurem on proovikeha pinna ja mahu vahekord, kuna niiskuse imendumine suure pinna puhul on ka suurem. Anisotroopsete materjalide (eri suundades erineva ehitusega, nagu puu, getinaks jne.) juures on teatava tähtsusega ka löike suund. On selge, et kihilisest materjalist väljalõigatud plaadike omab suuremat hügroskoopsust siis, kui tema lai pind asub risti kihtidele, kuna kihilised materjalid imevad niiskust kergemini kihtide vahedesse.

Nii on hügroskoopsuse määramisel saadud arvud suhtelise väärtusega. Seda määramist soovitatakse toimetada ühesuguse kuju ja mõõdetega proovikehadel. Paljudel materjalidel on sobivamaks proovikeha kujuks kuup servapikkusega 25 mm.

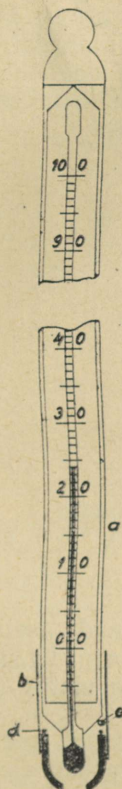
c) **Soojuskindluse määramine.** Seda määramiste rühma teostatakse nii isolatsioonimaterjalide kui ka valmisesemete juures eri meetoditega ja eri abinõudega. Plastmasside soojuskindluse, tulekindluse ja kaarekindluse määramise viisid on kirjeldatud OCT 3080—3081. Valmisesemete soojuskindluse määramist käsitleb OCT 4041 ja samade esemete tulekindlust OCT 4043. Viimase OCT-i kohaselt ei tohi isoleerivad osad, mis puutuvad kokku pinge all olevate metallosadega, põlema hakata või anda era'lduvate gaaside süttimist kõrgesageduslike sädemete mõjul, kusjuures materjal ise soojendatakse 300°-ni.

Amorfsete materjalide pehmenemistemperatuuri määramiseks on mitu meetodit. Iga meetodi juures kasutatakse erinevat aparatuuri ja erinevat pehmenemismomendi määramise kriteeriumi. Sama materjal võib anda mitmesuguste meetodite kasutamisel ka mitmesuguseid pehmenemistemperatuure, kusjuures lahkuminekid võivad ulatuda kuni 10—20°. Selle tõttu on tarvis pehmenemistemperatuuri märkimise määramise meetodi kirjeldused: Ubbelohde, Krämer-Sarnovi, rõnga ja kuuli ning Martensi meetodite kohta.

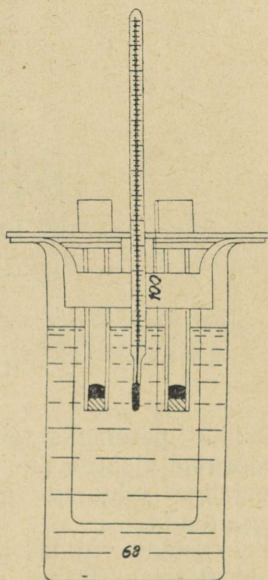
Pehmenemistemperatuuri määramisel Ubbelohde järgi soojendatakse kindel kogus proovitavat materjali kausikeses, mille põhjas on auk, ja jälgitakse, missuguse temperatuuri juures sellest august langeb alla esimene tilk. See temperatuur ongi pehmenemistemperatuur, mida sageli nimetatakse ka tilga kukkumise temperatuuriks.

Määramise teostamiseks on vajalikud termomeeter ja kindla suurusega kausike (joon. 53). Termomeetri alumine osa on kinnitatud kind-

lalt metallhülssi, mille peale on vindiga keeratud metallist toruke *b*; sellesse on puuritud väike auk *c*, mis väldib vaakuumi tekkimist selles torus. Klaasist kausike (pikkusega 12 mm, sisemise läbimõõduga 7 mm ja põhjas oleva augu läbimõõduga 3 mm) asetatakse torusse *b* ülemise servaga kuni tihvtideni *d*. Kausike täidetakse kuni servadeni proovitava



Joon. 53. Ubbelohde aparaat tilga kukkumise temperatuuri määramiseks.

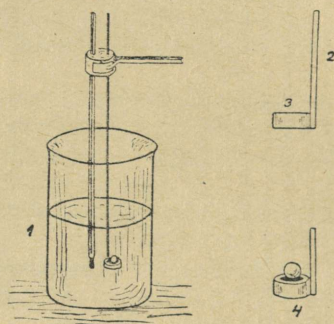


Joon. 54. Krämer-Sarnovi aparaat.

materjaliga, kusjuures üleulatuv osa lõigatakse noaga maha. Sellejärel paigutatakse kausike torusse *b*, termomeetri-munakese poolt alumisest august väljasurutav materjaliosa lõigatakse samuti maha. Terve seadeldis asetatakse katseklaasi, mida soojendatakse vee- või õlivannil. Soojendamine toimub kiirusega 1<sup>o</sup> minutis.

Krämer-Sarnovi aparaadi põhiosaks on klaastoru, mille kõrgus on 100 mm ja sisemine läbimõõt 6–7 mm (joon. 54). See toru asetatakse

glütseriinivannil soojendatavasse ja glütseriiniga täidetud klaasi. Toru alumise otsa külge kinnitatakse kummist ühendustoru abil veel tüki sama läbimõõduga ja 5 mm kõrgusega klaastoru. Enne proovimist täidetakse see torutükk proovitava materjaliga ääretasa, mille järel ta kinnitatakse kummivooliku tüki abil suurema toru külge. Proovitava materjali poolt moodustatud korgi peale valatakse 5 g elavhõbedat. Seadeldist soojendatakse kiirusega 2<sup>0</sup> minutis, temperatuuri jälgitakse termomeetrikl, mille munake asub proovitava materjali lähedal. Temperatuuri, mille juures materjal pehmeneb selle võrra, et elavhõbe suudab oma raskusega korgi läbi suruda ja langeb klaasi põhja, loetakse materjali pehmenemistemperatuuriks Krämer-Sarnovi järgi.



Joon. 55. Rõnga ja kuuli meetodi jaoks kasutatav aparaat.  
1 — üldvaade; 2 — messingtraat; 3 — messingrõngas; 4 — kuuli asend proovitaval materjalil enne katse algust.

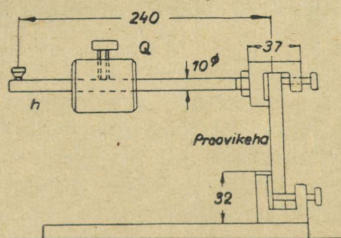
Torutükkide paremaks täitmiseks soovitatakse nad asetada talgiga ülehõõrutud klaasile (kinnijäämise vältimiseks) ja nad täis valada sula materjaliga. Jahtumise järel lõigatakse üle äärte ulatuv materjal tulise noaga maha.

Pehmenemistemperatuuri määramiseks rõnga ja kuuli meetodil on vajalikud kindlate suurustega messingist rõngas ja teraskuul (joon. 55). Rõngas täidetakse proovitava materjaliga ääretasa ja kinnitatakse messingtraadi abil hoidjasse, materjali peale asetatakse teraskuul; kogu seadeldis asetatakse värskest keedetud veega või glütseriiniga (õhumullikestest hoidumiseks) täidetud klaasi, kusjuures rõnga kaugus klaasi põhjast peab olema 25 mm. Rõnga lähedusse asetatakse termomeetri-munake. Seadeldist soojendatakse kiirusega 5<sup>0</sup> minutis. Temperatuuri, mille juures materjal surutakse rõngast kuuli raskuse mõjul selle võrra välja, et ta puudutab klaasi põhja, loetakse materjali pehmenemistemperatuuriks.

Plastmasside soojuskindlust proovitakse OCT 3080 järgi Martensi aparaadil. Latitaoline proovikeha mõõtudega 120 × 15 × 10 mm kinni-

tatakse seadeldise hoidjasse (joon. 56). Raskus  $Q$  loob proovikehal paindepinge  $50 \text{ kg/cm}^2$ . Seadeldis asetatakse termostaati, mille temperatuuri tõstetakse kiirusega  $50^\circ$  minutis. Temperatuuri, mille juures kangi  $h$  ots, mis asub  $240 \text{ mm}$  kaugusel proovikeha telgjoonest, vajub  $6 \text{ mm}$  esialgsest asendist allapoole, loetakse soojuskindluseks Martensi järgi.

Transformaatorõli leekpunkti määramiseks kasutatakse OCT 7959 järgi Martens-Penski aparati (joon. 57). See koosneb metallnõus kaanega  $a$ , mis koosneb ise kahest osast: alumisest liikumatust ja ülemisest liikuvast. Liikuv osa annab alumise osa suhtes teatud nurga all pöörata ühele või teisele poole. Kummagi kaaneosa sees on kolm auku,



Joon. 56. Martensi aparati.

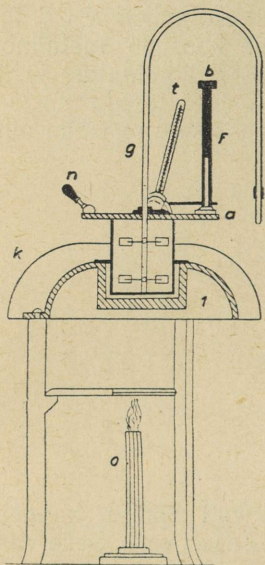
mis võivad ühte sattuda või kaetud olla, olenevalt liikuva kaaneosa asendist. Kaas on varustatud toruga  $F$ , mille sees asub varb. Selle varva pea  $b$  pööramisel pöörduv liikuv kaaneosa, mille abil saab kaantes olevaid auke asetada kohastikku. Samaaegselt ligineb õlipinnale ka väike gaasipõleti  $n$ , mille leegi pikkus reguleeritakse  $3 \text{ mm}$ -le. Kui vabastada varva pea  $b$ , siis seadeldise osad võtavad algseisundi. Liikumatu kaaneosa sisse on ehitatud abinõu termomeetri kinnitamiseks, tema keskohta aga läbib segaja telg  $g$ . Viimasel on kaks paari labidaid, alumised on õlis, ülemised ruumis, kuhu kogunevad õli aurud. Kogu aparati on paigutatud malmist õhuvanni  $k$ , mida alt soojendatakse põletiga  $o$ .

Õli proovimiseks valatakse ta nõusse kuni vastava märgini, kaetakse kaanega, millele on kõik abinõud külge monteeritud, ja soojendatakse kiirusega  $4^\circ$  minutis, segades õli kogu aeg segaja abil. Alates  $100^\circ$  hakatakse teostama katseid, milleks iga kraadi järel katkestatakse segamine ja keeratakse liikuvat kaaneosa, kusjuures, nagu kirjeldatud, ligineb õlipinnale põleti. Temperatuuri, mille juures õli aurud hakkavad põlema, loetakse õli leekpunktiks.

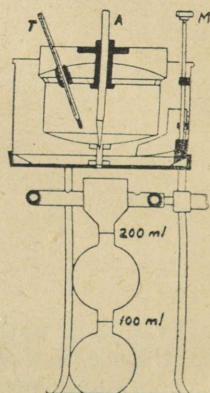
Tuleb märkida, et põlema hakkavad ainult õli aurud, aga mitte õli ise. Analogilistel tingimustel hakkab õli ise põlema palju kõrgema temperatuuri juures (nn. süttimistemperatuur). Standardi järgi määra-

takse transformaatorõlil ainult leekpunkt, kuna see iseloomustab õli tuleohtlikkust.

Leekpunkti määramiseks kasutatav õli peab olema enne korralikult kuivatatud, sest vett sisaldav õli ei anna õigeid tulemusi. Aparaat peab samuti olema puhas ja kuiv. Kui aparadi pesemiseks kasutati bensiini,



Joon. 57. Martens-Penski aparaat.



Joon. 58. Engleri viskosimeeter.

siis tuleb ta eriti hästi kuivatada, kuna ka pisemad bensiini jäljed vähendavad õli leekpunkti.

Masinaõli proovimiseks kasutatakse tema palju kõrgema leekpunkti tõttu Brenkeni aparadi, mille ehitus ja kasutamise viis on kirjeldatuga sarnane; vahe seisab ainult selles, et Brenkeni aparadi õli nõu on ilma kaaneta.

d) **Viskoossuse määramine.** Viskoossuse määramist teostatakse õlide, lakkide, kompaundide jne. juures. Selleks kasutatavaid aparate nimetatakse viskosimeetriteks. Transformaatorõli viskoossuse määramiseks kasutatakse OCT 7959 järgi Engleri viskosimeetrit. Määratud viskoossus väljendub Engleri kraadides.

Engleri viskosimeetri põhimõte on järgmine: nõu põhjas oleva augu kaudu lastakse välja teatav hulk õli; selle õlihulga väljavoolamiseks vajalik aeg mõõdetakse täpselt. On selge, et mida pikem on välja-

voolumise aeg, seda tihedam on õli. Proovimise ajal on õli teatud kindla temperatuuri juures.

Praktiliselt on Engleri viskosimeeter ehitatud nii, nagu nähtub joon. 58. Tema peamise osa moodustavad kaks messingist nõu, mis on paigutatud teineteise sisse. Sisemisse nõusse valatakse õli, seni kui ta pealmine pind puudutab kolme seinasse asetatud teravikku. Kui valada õli rohkem, siis on hüdrostaatiline surve suurem ja määramise tulemus madalam, kui aga valada õli vähem, siis on tulemus kõrgem. Õli nivoo peab puutama kõiki kolme teravikku üheaegselt, mis on aparadi horisontaalsuse tunnusemärgiks. Nõu põhjas on auk, mis suletakse puust prundiga A. Välimine nõu on veevanniks, mida soojendatakse gaasipõletiga. Vesi oma suure soojusmahtuvuse tõttu hoiab ära õli temperatuuri kõikumised katse jooksul. Nõude ja avade mõõtmed on täpselt kindlaks määratud.

Enne määramisele asumist tuleb viskosimeeter bensiiniga korralikult puhtaks pesta ja kuivatada. Asetades puuprundi kohale ja äravoolu-ava alla 200-milliliitrise mõõtekolbi, valatakse aparadi õli, nagu oli kirjeldatud ülalpool, kaetakse nõu kaanega ja viiakse õli temperatuur veevanni soojendamise abil vajalikule kõrgusele, avatakse äravoolu-ava ja lastakse õli joosta mõõtekolbi kuni märkjooneni. Selleks kuluv aeg võetakse stopperiga.

Viskoossuse Engleri kraadides saame siis, kui jagame 200 milliliitri õli väljavoolamise aja katse temperatuuri juures aparadi konstandiga.

Aparadi konstandiks on 200 milliliitri destilleeritud vee väljavoolamise aeg 20° juures. Aparadi konstant peab olema 50—52 sek. piires. Aeg-ajalt tuleb aparadi konstanti kontrollida vastava katse abil.

Vedelike jaoks, mis on tihedama konsistentsiga kui transformaator-õli, kasutatakse analoogilist viskosimeetrit, ainult väljavoolu ava on laiem. Kuna kõigi vedelike viskoossus oleneb suurel määral temperatuurist, vähenedes selle tõusuga, siis tuleb määramise juures väga täpselt kinni pidada katseks ettenähtud temperatuurist. Viskoossuse märkimisel tuleb alati näidata, missuguse temperatuuri juures toimus määramine.

e) **Vananemise katse.** Vananemise kontroll, s. o. mitmesuguste tegurite (soojendus, elektriväli jne.) mõju kindlaksmääramine omaduste halvenemisele, on praktiliselt üheks tähtsamaks elektri-isolatsiooni materjalide proovimise viisiks.

Vananemise katsete läbiviimiseks kasutatakse eri kambreid või kappe. Neis kambrites hoitakse proovitavat materjali teatud kindlates tingimustes.

Järgmised tegurid määravad nende kambrite töörežiimi, konstruktsiooni ja teenindamise.

1. Niiskuse mõju. Materjali proov hoitakse kuivas õhus, millest on niiskus kõrvaldatud kaltsiumkloriidi, fosforpentakloriidi või mõne muu kemikaali abil, normaalse suhtelise niiskusega (65%) õhus (konditsioneerimine), kõrgendatud suhtelise niiskusega (kuni 100%) õhus ja lõpuks otse vees. Need katsed teostatakse enamasti lihtsalt eksikaatoris või teistes hermeetiliselt suletavais nõudes, vastavalt proovikehade mõõdetele.

2. Õli ja teiste lahustite mõju, mis seisneb isolatsioonimaterjali orgaaniliste koosteosade lahustumises ja paisumises, määratakse hermeetiliselt suletavais kambrites korrosioonikindlast materjalist, mis on varustatud seadmetega kemikaalide vajalikul kujul ja hulgal sisseviimiseks. Samades seadeldistes määratakse ka tolmu, udude, aurude ja gaaside mõju.

3. Kõrgendatud või madaldatud temperatuuri mõju kindlaksmääramine on üks tähtsam isolatsioonimaterjali proovimise liik, kuna see mõju määrab kindlaks elektrimasinate kõrgeima töötemperatuuri või lahtiste seadmete külmakindluse vastava isolatsioonimaterjali kasutamise puhul. Proovimine teostatakse elektrilise küttega termostaatides või vastavais külmutuskappides.

4. Otsese päikesevalguse ja ultraviolettkiirte mõju määratakse võrdlemisi harva.

5. Elektrivälja mõju. Siin tuleb kõne alla isolatsioonimaterjali pikemaajaline mõjutamine suurema või väiksema tugevusega alalise kui ka vahelduva elektriväljaga. Proovimise pinge võib üksikjuhtudel olla nii suur, et ta põhjustab koroona või isegi osaliste libisevate pinnalahenduste tekkimise, millega käib kaasas osooni tekkimine ja paiklikud ülepingsedused proovitavatel materjalidel ja esemil. Selle proovimise laboratoorseks teostamiseks kasutatakse erilisi kappe, kuhu on sisse viidud küllalt kõrged pinged; kapid on harilikult maandatud.

Tuleb märkida, et punktides 1—5 toodud proovimisi võib teostada kas üksikult või üksteisega kombineeritult samaaegselt.

Pikema kestusega proovimisi võib teostada kahel viisil. Algul määratakse kindlaks mitmesuguste vananemist põhjustavate tegurite mõju lühema või pikema aja jooksul; sellejärel määratakse materjali füüsikalised ja elektrilised omadused, konstateeritakse välise ilme muutused (praod), kaalu kaotused, tugevuse vähenemine, rabeduse tõus jne. Proovimise tulemusi pärast vananemist võrreldakse tulemustega enne vananemist. Selline proovimisviis annab väga hinnatavaid tulemusi. Veel selgema pildi elektri-isolatsiooni materjalide käitumisest vananemise tingimustes annab materjali omaduste muutumise uurimine

vananemise protsessi enese jooksul, vananemise protsessi võimalikult mitte katkestades. Nii võib proove aeg-ajalt vananemiskambrist välja võtta, teostades vajalikud mõõtmised, ja nad uuesti tagasi panna. Veel parem on, kui neid mõõtmisi saab teostada proove kambrist välja võtmata. Kaugmõõtmise abil on võimalik kindlaks määrata proovitava eseme mahtuvust, dielektrilisi kadusid jne. Hästi kasutatavad on ise-registreerivad mõõteaparaadid.

Pidevat proovikeha kaalumist võib teostada ilma kambrist välja võtmata eriliste kaalude abil

## VII peatükk.

### GAASILISED ELEKTRI-ISOLATSIOONI MATERJALID.

#### 33. Õhk.

Elektriseadmetes sagedamini kasutatavaks gaasiks on õhk.

Atmosfääriline õhk on mitmesuguste gaaside segu, millest tähtsamad on lämmastik (75,8%), hapnik (23,1%) ja argoon (1,3%); peale selle leidub õhus süsihappegaasi, vesinikku, veeauru, neooni, krüptooni, ksenooni ja heeliumi.

Harilikkudel tingimustel (temperatuur 20° ja atmosfääriline rõhk 760 mm elavhõbeda-sammast) on õhu dielektriline läbitavus  $\epsilon = 1,0006$  (praktiliselt võib lugeda  $\epsilon = 1$ ). Õhu läbilöögitugevust mitteületava elektrivälja tugevuse juures võib lugeda õhu eritakistust lõpmata suureks ja kadude nurka võrdseks nulliga.

Õhu läbilöögitugevus normaalsetes tingimustes, kui elektroodide vahe on mõni cm, on 3 kV/mm, kusjuures on täiesti ükskõik, kas on tegemist alalise või vahelduva elektriväljaga.

Täpsem õhu läbilöögitugevuse uurimine näitab, et see oleneb suuremal või väiksemal määral reast tegureist: õhu tihedusest, elektroodide kaugusest üksteisest, elektrivälja ebahühtlusest jne.

Õhu läbilöök ise võib oma iseloomult olla järsult erinev, vastavalt elektrivälja hühtluse tasemele. Kui elektrivälja on teravalt ebahühtlane (nagu elektrivälja kahe teraviku vahel või teraviku ja tasapinna vahel, kahe kera vahel, kui nende vahekaugus on suurem kui läbimõõt), siis algab läbilöök kõige suurema tugevusega välja osast, kui elektroodide vahelise pinge tõusmisel väljatugevus jõuab neis kohtades läbilöögitugevuse tasemeni. Seejuures tekib suurima väljatugevuse kohtades (elektroodide teravikel jne.) niimetatud koroona või vaikne lahendus, millega kaasub selles ümbruses helendumine ja iseloomulik hääl (naksumine) ning ka keemiline protsess (osooni tekkimine). Osooni tekkimist on kerge avastada iseloomuliku lõhna ja elektrivälja tugevuse langemise järgi. See elektrivälja osa, kus areneb koroona, muutub selles juures juhtivaks, s. t. temas asuv õhk muutub elektrijuhiks ega ole enam dielektrikuks. Täielikku läbilööki selle juures siiski ei teki ja see õhukiht, mis ei asu koroona piirkonnas, tegutseb dielektrikuna edasi.

Edasisel pingel suurenemisel suureneb ka koroona intensiivsus, võimsuse kadu tema tõttu suureneb, koroona piirkond laieneb ja lõpuks toimub täielik läbilööksädeme näol, mis vooluallika küllaldase võimsuse juures võib areneda voltakaareks, praktiliselt tekib elektroodide lühistus.

Kui elektrivälja on ühtlasem (näiteks kahe ümardatud servadega tasapinna vahel), siis pingel tõusmisel üle teatud piiri tekib kohe lahendus sädeme näol ilma eelnevate lahendusnähtusteta (koroona tekkimine).

Koroonast väljuvad peamiselt nähtamatud ultraviolettkiired ja ainult suurima väljatugevuse kohtadelt väljub ka nähtav valgus. Selle tõttu saame fotole, mis on saadud kvartsist objektiiviga abil (kvarts laseb vastandina klaasile ultraviolettkiiri hästi läbi), suurema ulatusega koroona, kui seda silmaga näha on.

Osooni tekkimine koroona piirkonnas on elektrotehnikas suure tähtsusega, kuna ta on energiline hapendaja. Paljud elektrotehnilised isolatsioonimaterjalid, eriti orgaanilise päritoluga, vananevad osooni mõjul intensiivselt. Nii näiteks ei kannata osooni mõju sugugi kummi, ta muutub rabedaks ja praguneb. Eriti katastroofiliselt mõjub osoon väljavenitatud kummile, kuna tal siis on võimalik pinnale tekkivate pragude kaudu, mis pingel tõttu laiali kistakse, kummi sisse tungida. Selle tõttu ei kasutata kõrgepingeseadmetes kummit ilma keemiliselt inertse lakikorrata; ka kaablid tööpingega üle 1—3 kV peab kummiisolatsiooni puhul katma mingisuguse kaitsekihiga.

Õhu läbilöögitugevuse määramiseks mitmesuguse elektrivälja kuju juures võib kasutada allpooltoodud valemeid. Õhu tiheduse mõju arvesse võtmise toimub valemi

$$\delta = \frac{0,392 \cdot p}{273 + t} \quad (7,1)$$

abil, kus  $p$  on rõhk elavhõbeda-samba mm,  $t$  — temperatuur °C. Kui  $p = 760$  mm ja  $t = 20^\circ$ , siis  $\delta = 1$ .

Juhul, kui elektroodideks on kaks kera raadiusega  $R$ , siis on õhu läbilöögitugevus:

$$E_d = 2,72 \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{1,71}{\sqrt{R \cdot \delta}}\right) \frac{kV_{\max}}{\text{mm}} \quad 7,2$$

Kui kaugus kerade vahel on üle nelja kera raadiuse, siis eelneb läbilöögile koroona tekkimine üksteise poole pööratud pindadel. Kui kerade vahekaugus on väiksem, siis läbilööks tekib ilma eelneva koroona.

Kontsentriliste silindrite juures, millede näitena esinevad kõrgepingel läbiviigi isolaatorid, kui sisemise silindri raadius on  $r$  ja välisel —  $R$ , on õhu läbilöögitugevuse suuruseks:

$$E_d = 3,1 \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,93}{\sqrt{R \cdot \delta}}\right) \frac{kV_{\max}}{\text{mm}} \quad (7,3)$$

Kui  $R > 2,72 r$ , siis läbilöögile eelneb koroon, on aga  $R < 2,72 r$ , siis ilmub läbilöök ilma koroonata.

Kui meil on kaks lamedat elektroodi ja nende vahe on väike (mm osa), siis õhu läbilöögitugevus tõuseb järsult — kuni kümnete kilovolti-deni millimeetri kohta.

Praktikas esineb veel üks elektriline lahendusvõimalus õhus — nn. libisev pinnalahendus. See lahendus tekib tahke dielektrikuga kokku-puutuvas õhukihis, näiteks isolaatorite pinnal. Selle lahenduse tekki-misele avaldab mõju isolaatori pinna seisukord. Nii väheneb nõgise ja mustunud pinna puhul libisevaks pinnalahenduseks vajalik pinge.

Õhu läbilöögitugevus libiseva pinnalahenduse puhul on 0,2—0,5 kV/mm, s. t. ta on märgatavalt väiksem dielektrikust kaugemal asu-vate õhukihtide läbilöögitugevusest.

Õhu läbilöögitugevus, samuti ka teiste gaaside läbilöögitugevus tõuseb tugevasti rõhu suurenemisel. See nähtus võimaldab õhku kasu-tada dielektrikuna kõrgendatud rõhkude juures eriti hea eduga. Rõhu langemisel alla atmosfäärilise langeb ka läbilöögitugevus, eriti väi-keste rõhkude juures aga hakkab ta uuesti tõusma.

Karedate, palju õhku sisaldavate materjalide (paber, papp jne.) väike läbilöögitugevus on suurelt osalt tingitud materjalis sisalduvate õhumullikeste läbilöömisest. Sellepärast on kõrgendatud rõhuga õhu atmosfääris paberi ja papi läbilöögitugevus suurem.

### 34. Mitmesugused gaasid.

Peale õhu kasutatakse teisi gaase dielektrikutena palju harvemini.

Tuleb märkida, et keemiliselt neutraalsete gaaside ( $N_2$ , Ar, Ne, Kr, Xe ja He) ja vesiniku  $H_2$  kasutamine kaitsekeskkonnana dielektriku hapendumise vastu kõrgete temperatuuride juures on täiesti võimalik.

Nii kasutatakse lämmastikku elektri-hõõglampide täitmiseks. Oli-jahutusega transformatorites täidetakse mõnikord õliplealne ruum õhu asemel lämmastikuga, mis aeglustab tugevasti transformatoröli vananemist.

Suurt tähelepanu väärib vesiniku kasutamise võimalus kinnise ventilatsiooni süsteemiga elektrimasinate jahutina. Vesinikul on suurem soojusjuhtivus ja soojusmahtuvus kui õhul ja tema kasutamisel para-neb masina jahutus, mis võimaldab tõsta masina võimsust. Vesiniku kasutamisel väheneb tugevasti ka võimsuse kadu rootori hõõrdumisel vastu gaasi, aeglustub orgaanilise dielektriku vananemine. Kuna vesi-niku segu hapnikuga on plahvatav, siis luuakse kinnises ventilatsiooni süsteemis atmosfäärilisest kõrgem rõhk selleks, et ebatiheduse puhul toimuks gaasi kadu välisõhku, aga mitte õhu sisseimemine. Muide, vesinik on üsna kerge gaas — ta on 14 korda kergem õhust.

Viimasel ajal kasutatakse valgustuse otstarbeks järjest suuremal määral inertgaase: argooni, neoni, heeliumi, samuti ka elavhõbeda ja naatriumi aurusi. Neoni kasutatakse elektrilampides harilikult segus heeliumiga (75% Ne ja 25% He).

Nn. „neoonlampides” on gaas rõhu all 2 mm elavhõbeda-sammast. Elektroodidena kasutatakse: anoodiks rauda ja katoodiks volframi. Neon annab punase, argoon — sinise, elavhõbeda aurud — rohelise, naatriumi aurud ja heelium — kollase valguse.

Paljud gaasid nagu vingugaas, vesinik, hapnik, lämmastik jne., omavad õhule lähedast läbilöögitugevust. Vääveldioksüüd on umbes 1,9 korda suurema läbilöögitugevusega kui õhk, kloor — 1,55 korda, väävelvesinik — 1,3 korda, atsetüleen — 1,2 korda suurema läbilöögitugevusega kui õhk. Süsihappegaasil on 12% väiksem läbilöögitugevus kui õhul. Ülekuumendatud veeaurul on teatud tingimustel suurem läbilöögitugevus kui õhul.

Suurt huvi pakub võimalus kasutada gaasiliseks isolatsiooniks eriti kõrge läbilöögitugevusega gaase. Nii omavad süsiniku ühendid klooriga ja fluoriga ( $\text{CCl}_3\text{F}$ ,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ,  $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_2$ ,  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}$ ) umbes 2,5—3 korda suurema läbilöögitugevuse kui õhk. Praktilist tähtsust nende hulgast omab ainult dikloorfluormetaan.  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ . Tal ei ole värvust ega lõhna, ta ei ole mürgine, on keemiliselt püsiv, ei korrodeeri metalle ega isolatsioonimaterjale. Eriti kasulik on teda kasutada rõhu all töötava gaasilise isolatsioonina, kuna tema läbilöögitugevus kasvab rõhu tõusuga tugevasti.

## VIII peatükk.

### VEDELAD ELEKTRI-ISOLATSIOONI MATERJALID.

#### 35. Transformaatorõli.

Kõige levinumaks vedelaks elektri-isolatsiooni materjaliks on mineraalõli (transformaatorõli). Tähtsamaks mineraalõli kasutuskohaks on transformaatorid, kus õli on esiteks soojusejuhiks mähistelt ja südamikult väliskestale, teiseks on ta lisaisolatsiooniks. Õlilülitites on õli ülesandeks kustutada väljalülimisel tekkivat kaart. See kustutamine teostub kaare mõjul õli lagunemisel tekkivate ja kõrge surve all olevate gaaside ja aurude toimet. Lõpuks kasutatakse õli suurel hulgal õliga täidetud isolaatorites, õlipaberist isolatsiooniga kaablites, õliga täidetud kaablites ja paberkondensaatorites. Viimastes on õli ülesanne parandada paberisolatsiooni omadusi.

Mineraalõli on nafta fraktsioneerimise saadus. Nafta destilleerimisel saadakse vastavalt temperatuurile mitmesuguseid fraktsioone; üheks selliseks fraktsiooniks, mis destilleerub 400—450° juures, ongi õli, millest edasise töötlemisega saadakse transformaatorõli. Oma keemilise koostise poolest on ta väga keerukas süsivesinike segu.

Transformaatorõli peab oma omadustelt vastama üleliidulisele standardile OCT 7959. Tähtsamad nõuded on toodud tabelis 16.

Tabel 16.

Omadused	Suurus
Erikaal mitte üle . . . . .	0,896
Leekpunkt Martens-Penski järgi mitte alla . . . . .	140° C
Viskoossus Engleri järgi: a) 20° C juures mitte üle . . . . .	6,0
b) 50° C juures mitte üle . . . . .	1,8
Hangumistemperatuur mitte üle . . . . .	—45° C
Happesuse arv mitte üle . . . . .	0,05
Keemiline stabiilsus:	
a) sade pärast kiirendatud vananemist mitte üle . . . . .	0,15%
b) happesuse arv pärast kiirendatud vananemist . . . . .	0,6
Mehaanilisi lisandeid . . . . .	ei tohi olla
Aktiivväävlit . . . . .	ei tohi olla
Tuhka mitte üle . . . . .	0,005%

Vaatleme transformaatorõlile esitatavate tähtsamate tingimuste praktilist tähtsust. Transformaatori ja teiste taoliste aparaatide töötamisel õli soojeneb ja tekkinud aaurud võivad juhusliku sädeme tõttu süttida. Kuna kaasaegsetes elektrijaamades ja alajaamades on tarvitusel suured hulgad õli, siis on see tuleohtlik kogu jaamale. Madal leekpunkt näitab õli suuremat tuleohtlikkust.

Õli viskoossus on väga tähtsaks õli iseloomustuse näitarvuks. Õli peab olema küllalt väikese viskoossusega, et hästi täita jahuti ülesannet suure liikuvuse abil ja hästi kustutada tekkinud kaart õlilülitites. Ka paberisolatsiooni imutamiseks kasutatavate õlide viskoossusele esitatakse kindlad nõuded, mis igal eri juhul võivad olla erisugused. Kui õli viskoossus ei vasta kas või ühele tabelis 16 toodud kahest nõudest (viskoossus 50<sup>o</sup> juures ei tohi olla üle 1,8<sup>o</sup> E ja 20<sup>o</sup> juures mitte üle 6,0<sup>o</sup> E), kuulub õli vastuvaidlematult praakimisele ja tema tarvitamine transformaatorites ja teistes aparatuurides ei tule kõne alla.

Hangumistemperatuur omab suurt tähtsust vabaõhu-seadmetes, mis töötavad külmades piirkondades.

Happesuse arv näitab kaaliumleelise milligrammide arvu, mida on tarvis ühes grammis õlis sisalduva happe neutraliseerimiseks. Mida suurem on happesuse arv, seda suurem on hapete hulk õlis. Selle arvu praktilisest tähtsusest räägime veel edaspidi.

Töötamisel transformaatorõli vananeb. Vananemine väljendub sademe tekkimises ja happesuse arvu suurenemises. Vananemine kiireneb järgmiste tegurite mõjul:

1) Kokkupuutel õhuga, kuna vananemine on peamiselt hapendumise protsessiks.

2) Mõningate hapendumist kiirendavate ainete (katalüsaatorite) juuresolekul. Neist katalüsaatoritest on suurima tähtsusega vask.

3) Kõrgendatud temperatuuril.

Just need loeteldud tegurid esinevad transformaatorites ja nendega sarnastes aparatuurides.

Mitmesugused transformaatorõli sordid omavad erinevat keemilist stabiilsust, s. o. püsivust vananemise suhtes. See stabiilsus on tingitud esmajoones õlis sisalduvate süsivesinike keemilise ehituse tüübist.

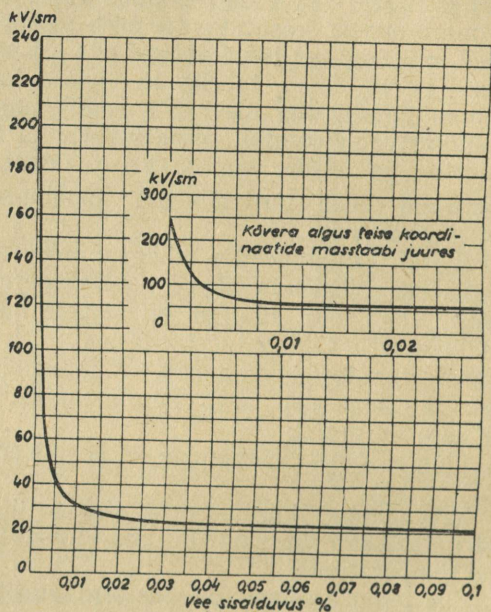
Vananemine mõjutab üsna halvasti õli omadusi. Õlis tekkiv sade võib sadeneda transformaatori mähistele ja südamikule. Kuna sade on halb soojusejuht, siis võivad tekkida paiklikud mähiste ja südamiku ülesoojenemised, mille tulemuseks võib olla soojuseline läbilõök.

Vananemise tõttu tekkiv kõrgendatud happesus mõjub halvasti metallidele (juhtmete vask, õlipaagi raud) ja isolatsioonimaterjalile. Ühe või teise transformaatorõli sordi stabiilsuse kontrolliks näeb OCT 7959 ette õli „kiirendatud vananemise” katse, mis põhijoontes seisab järgmises: kolbi, mis sisaldab 100 g proovitavat õli ja vaskplaadikese (katalüsaatorina), soojendatakse kuni 120<sup>o</sup>. Läbi õli juhitakse 70 tunni

jooksul ühtlane pidev õhuvool (3 liitrit tunnis). Kolvi, vaskplaadikese, õhu juurdejuhtimise toru jne. mõõted on normitud. 70 tunni möödumisel tekkinud sade eraldatakse ja kaalutakse, samuti määratakse happesuse arvu suurenemine. Sade ja happesuse arv pärast vananemist ei tohi ületada tabelis 16 toodud arvusid.

Õli põletamisel jääv tuhahulk näitab mineraalainete sisaldust õlis.

Väga oluline on märkida, et standardiga ei ole määratud kõik transformaatorõli elektrilised näitarvud. See on seletatav sellega, et tähtsam



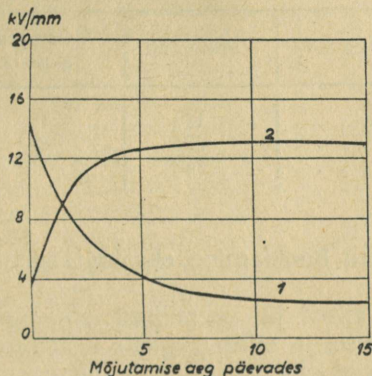
Joon. 59. Õli läbilöögitugevuse olenevus veesisaldusest.

elektriline transformaatorõli omadus — läbilöögitugevus — on suurel määral õli puhtusest ja eeskätt õlis sisalduvast veest ja kiudainest.

Kuna veetilgakesed omavad palju suuremat dielektrilist läbitavust ( $\epsilon = 80$ ) kui õli ( $\epsilon = 2,2-2,3$ ), siis elektrivälja jõudude mõjul veetilgakesed, mis on õlis emulsiooni näol, kistakse neisse piirkondadesse, kus väljatugevus on eriti suur, s. t. elektrodide servadele; need kohad aga ongi läbilöögi arenemise kolleteks. Suure dielektrilise läbitavusega veetilgakeste elektrivälja poolt suurima väljatugevusega piirkondadesse tõmbamise pilt on väga sarnane rauapuru magnetipooluste juurde tõmbamise pildiga magnetvälja jõudude poolt.

Isegi väga väikeste veelisandite mõju oli läbilöögitugevuse vähenemisele illustreerib joon 59. Veesisaldus oli üle 0,2% ei mõjuta enam õli läbilöögitugevust, kuna vesi sellisel hulgal ei saa õlis olla enam emulsioonina.

Eriti tugevasti vähendab õli läbilöögitugevust samaaegne vee ja kiudainete sisaldus. Kiudained (paber, lõng) võivad sattuda õlisse isolatsioonist, filterpaberist jne. Sellised lisandid, olles hügrokoopsemad kui õli ise, imevad enesesse ahnelt niiskust, omandavad suure elektri-



Joon. 60. Õli läbilöögitugevuse olenevus ajast, mille jooksul niiske õli asub kuivas õhus (1) ja kuiv õli asub niiskes õhus (2).

juhtivuse ja kõrge dielektrilise läbitavuse ja asetuvad elektrivälja mõjul piki välja jõujoonte suunda, moodustades selliselt läbilöögitugevuse väikese läbilöögitugevusega tee. Suure dielektrilise läbitavusega kiudainete osakeste asetumine elektrivälja jõujoonte suunas on väga sarnane nõõpnõelte asetumisega magnetväljas.

Õli on hügrokoopne ja imeb niiskust ka õhust, mille tulemusena tema läbilöögitugevus järsult langeb. Vastandina sellele paraneb niiske õli läbilöögitugevus tema asetamisel kuiva õhu kätte. See on piltlikult näha joon. 60, kus on kujutatud kaks kõverat, mis vastavad kirjeldatud kahele juhule.

Nii on õli läbilöögitugevus suurel määral juhusliku iseloomuga. Hea õli võib transpordil ja hoidmisel kergesti niiskuda ja tema läbilöögitugevus selle tõttu tugevasti langeda; kui OCT-i oleks sisse viidud kindla läbilöögitugevuse nõue, siis tuleks praakida ka selline õli, mis oleks pärast kuivatamist ja puhastamist päris hästi kasutatav.

Õli läbilöögitugevus määratakse § 31 kirjeldatud meetodil ja väljendub kV arvu korrutisena elektroodide kaugusega (2,5 mm). Läbilöögitugevus määratakse nii värskel õlil kui ka eksploatatsioonis olev õlil. Viimane määramine toimub regulaarselt mõne kuu järel, et

jälgida transformatorõli puhtust. Läbilöögitugevuse suuruse kohta esitatakse erinevaid nõudeid, vastavalt transformatori või mõne teise õli kasutava aparaadi tööpingele. Juhul, kui värske õli läbilöögitugevus osutub tabelis 17 „värske õli” lahtris toodud suurustest väiksemaks, ei saa teda kasutamisele võtta enne § 36 kirjeldatud meetoditel puhastamist. Kui eksploatatsioonis oleva õli läbilöögitugevus langeb alla tabelis 17 lahtris „õli eksploatatsioonis” toodud andmete, tuleb viivitamatult teostada õli puhastamine.

Tabel 17.

Tööpinge kV	Värske õli	Õli eksploatatsioonis
Kuni 6 . . . . .	17	12
6 — 30 . . . . .	27	22
Üle 30 . . . . .	35	30

### 36. Õli hooldamine eksploatatsioonis.

Mineraalõli füüsikalised ja keemilised omadused halvenevad aja jooksul tema vananemisel ja mitmesuguste lisandite juurdetulekul. Sellisteks lisanditeks võivad olla väljastpoolt õlisse sattunud ained, nagu õhumullikesed, vesi, mähiste isolatsiooni osakesed ja tolm. Siit selgub õli puhastamise vajadus eksploatatsiooni vältel, et kõrvaldada temast juhuslikult sisse sattunud lisandid ja vananemisproduktid, mille järel õli on jälle kasutuskõlblik. Selleks otstarbeks ettevõetavad operatsioonid võib jaotada kolme rühma: puhastamine, kuivatamine ja regenereerimine.

a) **Puhastamine.** Transformatorõli mehaaniline puhastamine kõvadest lisanditest toimub filterpressides või tsentrifuugides.

Filterpress koosneb malmplaatidest, mille vahele on asetatud filtreerimispapi lehed. Koos filtreerimispapiga kokku panduna moodustavad need plaadid kinnise kambri (joon. 61). Plaatidel on kanalid ja vastasnurkades augud. Pumbaga ühelt poolt aukudesse antav õli voolab korraga kõikidele plaatidele, läbib papi ja lahkub teise augu kaudu. Õli voolamise suund on näidatud joon. 61 nooltega. Filtreerimispapp peab olema hästi kuivatatud ja pärast kuivatamist hoitakse ta alal kuivas õlis. Filterpressi antav õli soojendatakse viskoossuse vähendamise otstarbel kuni 45° C.

Filterpapp pestakse pärast kasutamist puhtas õlis ja kuivatatakse. Nii võib filterpappi kasutada mitu korda.

Filterpress on päris lihtne aparaat, mis ei vaja oma teenindamiseks kvalifitseeritud personaali. Filterpressi produktiivsus on 1500—80 000 liitrit tunnis.

Selle puhastusviisi puuduseks on esiteks see, et kogu vesi ei ole tema abil kõrvaldatav (osa vett väga väikeste tilkade näol ja, mis on eriti tähtis, lahustunud vesi), teiseks satub filtreerimisel õlisse filterpapi kiude. Need kiud vähendavad tugevasti õli läbilöögitugevust. Nii ei ole filtreerimine õli puhastamiseks alati küllaldane.

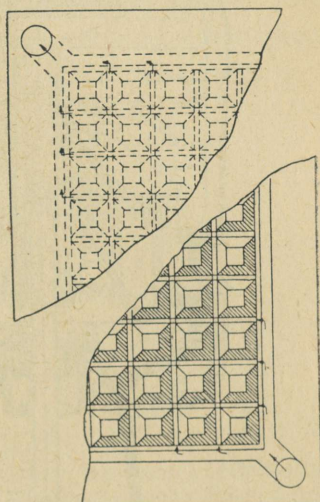
Õli puhastamine tsentrifuugimise teel põhineb sellel, et tsentrifugaaljõu mõjul on võimalik õlist kõrvaldada suurema erikaaluga osi kui õli ise. Õli puhastus teostub Lavali või Scharplessi tsentrifuugiga.

Lavali tsentrifuugi lõige on toodud joon. 62. Ta koosneb suurest arvust lehtri-taolistest taldrikutest, mis on paigutatud selliselt, et kujuneb kas kaks väljumisvõimalust — õli ja mustuse jaoks või ainult õli jaoks. Esimest juhtu nimetatakse õli puhastamiseks, teist õli valgendamiseks. Esimest viisi kasutatakse siis, kui õli on tugevasti mustunud ja sisaldab palju vett. Sagedamini töötavad tsentrifuugid õli valgendamise otstarbel. Viskoossuse vähendamise otstarbel kuni 50° soojendatud õli liigub õhukeste kihikestena taldrikutes ülespoole ja lahkub vastava äravoolu-ava kaudu, kuna raskemad osakesed, nagu vesi ja tahked lisandid, hoiduvad tsentrifuugi kesta ligi ja lahkuvad teise ava kaudu või jäävad tsentrifuugisse.

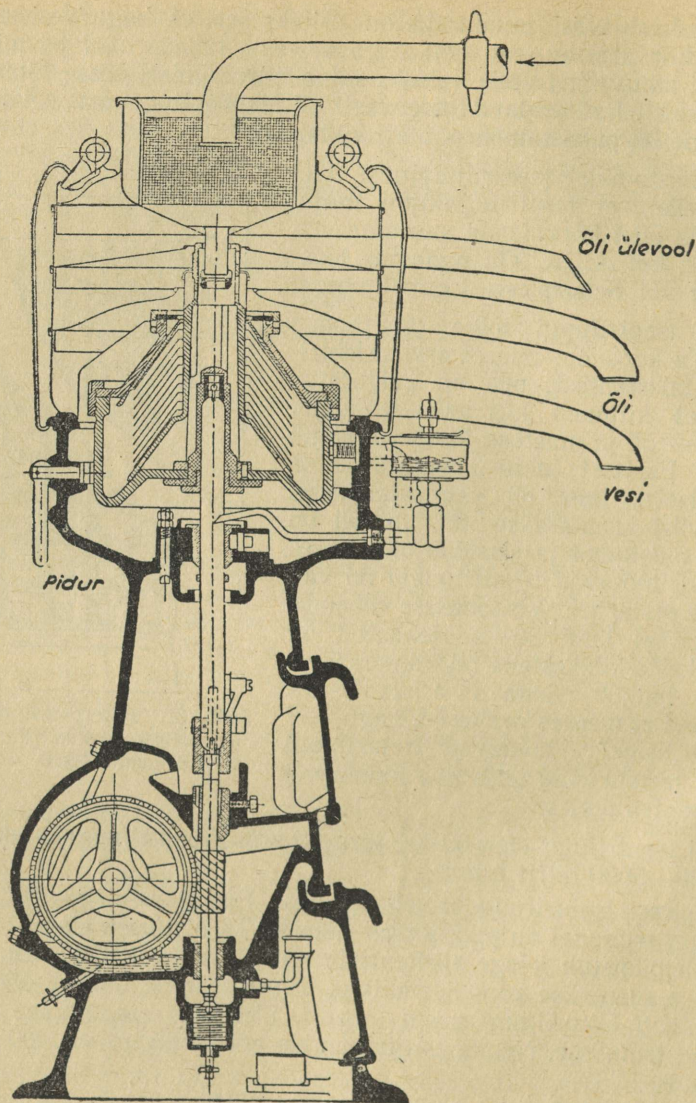
Lavali tsentrifuug teeb 60 000 tiiru minutis. Tsentrifuugi produktiivsus on 100—5000 liitrit tunnis.

Scharplessi tsentrifuug erineb põhiliselt Lavali tsentrifuugist. Selle tsentrifuugi trummel on pikk kitsas silinder. Tsentrifuugi alumisse ossa juhitud õli pihustub kõrge türllemiskiiruse (12 500—19 000 tiiru minutis) tõttu ja surutakse koos lisanditega trumli seintele. Trumli õliga täitumisel liigub õli väljumisavani silindri ülemises osas, kuna lisandid jäävad trumliisse. Nende tsentrifuugide produktiivsus on 400—1200 liitrit tunnis.

Mõlemal tsentrifuugil on rida puudusi. Tähtsamaks puuduseks on see, et tsentrifuugiga ei ole võimalik kõrvaldada kõiki lisandeid. Puhastus on seda põhjalikum, mida suurem on õli ja lisandite erikaalude erinevus. Õliga sama erikaalu omavate lisandite kõrvaldamine ei ole võimalik. Peale selle võib tsentrifuugimine muuta mehaanilised lisandid peenemaks ja sellega raskendada nende eraldumist. Nii võivad vee-



Joon. 61. Filterpressi plaat ja õlivoolamise skeem filterpressi kanalites.



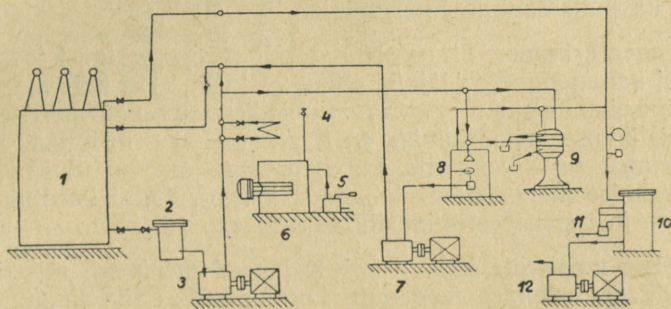
Joon. 62. Lavali tsentrifuugi lõige.

tilgad muutuda emulsiooniks, mida tsentrifuugimise teel ei ole võimalik eraldada. Sedasama võib juhtuda ka tahkete lisanditega. Tsentrifuugimisel nagu filtreerimiselgi tuleb õli soojendada 45—50°, mis on

samuti nende aparaatide puuduseks, kuna iga temperatuuritõus kiirendab õli hapendumist. Siin on hapendumise hädahoht veelgi suurem kui filtreerimisel, kuna õli seguneb intensiivselt õhuga ja jaguneb õhukesteks kihtideks, mis moodustab suure kokkupuutepinna õhuga.

Viimane puudus väheneb Laval'i tüüpi vaakumtsentrifuugides, mida kasutatakse viimasel ajal võrdlemisi sagedasti. Vaakuumi tõttu puutub õli vähem kokku õhuga ja sellega ka hapendub vähem.

Neid põhipuudusi ei tohi kunagi unustada ja piirduda ainult tsentrifuugimisega.



Joon. 63. Õlikeetja skeem:

1 — transformaatore, mille õli puhastatakse; 2 — jämedate koosteosade kõrvaldamise filter; 3 ja 7 — õlipumbad; 4 — imemispump; 5 — veepump soojendile; 6 — õli-soojenduskatel; 8 — vaakumkatel; 9 — tsentrifuug; 10 — veeaurude kondensaator; 11 — kondensaadi määtmise nõu; 12 — õhupump.

b) **Kuivatamine.** Ei filterpress ega tsentrifuug suuda vett täiel määral õlist kõrvaldada. Vesi aga vähendab tugevasti õli läbilöögitugevust. Sellepärast teostatakse rõõbiti puhastusega ka õli kuivatamist aurvõi elekterküttega õlikeetjais. Tulise õli kokkupuute võimaluste vähendamiseks õhuga ja kuivatamistemperatuuri alandamiseks teostatakse kuivatamist vaakumis. Joon. 63 on toodud õlikeetmise seadeldise skeem. Kuivatatav õli antakse pumba abil soojendisse ja siis paagi ülemisse ossa. Veeaurud imetakse vaakumpumba abil kondensatsiooni seadmesse ja kõrvaldatakse sealt. Mõnikord kombineeritakse õlikeetmine puhastamisega filterpressis, mis lülitatakse peale soojendit. Kuivatamisel jälgitakse õli temperatuuri ja vaakumit, määdetakse õli läbilöögitugevust. Kuivatamise lõpu üle otsustatakse vee eraldumise lõppemise ja püsiva läbilöögitugevuse järgi. Õlikeetjaid ehitatakse produktiivsusega 500—3000 liitrit tunnis.

Kõigi õlikeetjate üldiseks puuduseks on see, et õli soojendatakse neis kõrge temperatuurini, kuigi see toimub vaakumis. Et vältida õli

omaduste halvenemist kõrge temperatuuri mõjul, teostatakse kuivatamist lämmastiku atmosfääris. Läbi õli puhutakse sellejuures lämmastikku, mis viib niiskuse enesega kaasa. Peale selle on veel külm kuivatamise viis, mis seisneb selles, et õli pihustatakse vaakuumis ja mehaaniliselt eralduv niiskus pumbatakse välja. See viis on äärmiselt lihtne: õli juhitakse toru mööda alarõhu all olevasse ruumi, kusjuures õli vastava pihusti abil muudetakse tolmuks. Vabanevad gaasi ja vee mullikesed kõrvaldatakse vaakuumpumba poolt. Peale 2—3-tunnist õli tsirkulatsiooni õli läbilöögitugevus tõuseb tugevasti, kuni 40—50 kV/mm 2,5-mm elektroodide vahe juures. Mõnikord liidetakse sellise kuivatamise ka puhastamine filterpressis.

c) **Regeneerimine.** Transformaatorõli regeneerimist teostatakse siis, kui õli vananemine on läinud sellise astmeni, et ei kuivatamine ega puhastamine ei anna enam soovivat omaduste paranemist. Regeneerimise vajalikkuse kriteeriumiks on happesuse arv. Praktikas loetakse regeneerimist vajalikuks siis, kui happesuse arv on tõusnud 0,4-ni. Regeneerimise meetodeid võib jagada kahte rühma: keemiline regeneerimine ja regeneerimine filtreerimisega läbi savi.

Keemiliste meetodite hulka kuuluvad need meetodid, mis on tööstuslike õlide puhastamise meetodite kordamiseks. Siia kuuluvad väävelhappe ja aluste meetod.

Lihtsam ja selle tõttu ka levinum on praegu elektrijaamades ja alajaamades õli puhastamine savi abil. Mõnedel savidel on omadus oma pooride pinnal adsorbbeerida kõiki neid lisandeid, mis tekivad õlis hapendumisel. NSV Liidus kasutati kaua aega imporditavat savi — floriidiini. Nüüd on leitud selleks sobivaid savisid Taga-Kaukaasias, Uuralis, Leningradi lähedal ja mujal. Enne savi kasutamist kuivatatakse teda 250—300° juures niiskuse kõrvaldamiseks pooridest ja adsorbtsioonivõime suurendamiseks. Siis savi peenendatakse. Mida peenemad on saviterad, seda suurem on tema adsorbtsioonivõime.

Transformaatorõli puhastamine savi kaasabil teostub otsese kontakti teel. Selleks segatakse õli saviga ühe tunni jooksul ja lastakse savi 2—3 tunni jooksul põhja sadeneda. Savihulk moodustab seejuures 10—15% õli hulgast ja õli ise soojendatakse kuni 90°. Sadendamise lõpul õli puhastatakse ja savi on pärast läbipesemist ja kuivatamist uuesti kasutatav. Puhastust savi abil võib teostada ka teisiti. Savi asetatakse sõelale ja läbi selle savikihi lastakse voolata õli. Läbides savikihti (paksusega 80 cm) annab õli hapendumisproduktid savile. Ka selle viisi juures soojendatakse õli kuni 85—90°. Savikihi paksus ja õli liikumise kiirus arvestatakse selliselt, et õli oleks saviga kontaktis ühe tunni jooksul. Seda meetodit nimetatakse perkolatsiooniks. Tunnis võib sellise viisiga regeneerida umbes 160 liitrit õli.

### 37. Sovool.

Transformaatorõlil on kaks olulist puudust: ta on tulekardetav ja hapenduv. Peale selle on õli dielektriline konstant väike ( $\epsilon = 2,2-2,3$ ), mis suure mahtuvusega kondensaatori immutamisel põhjustab suuri kondensaatori mõõteid ja materjali kulu. Üleliidulises Elektrotehnilises Instituudis on välja töötatud uus vedel elektri-isolatsiooni materjal „sovool”, millel pole neid puudusi. Sovool — see on tihe sünteetiline vedelik, mida valmistatakse difenüülist kloreerimise teel.

Suure dielektrilise läbitavuse tõttu ( $\epsilon = 5$ ) lubab sovool tugevasti vähendada kondensaatorite mõõteid. Selle paremuse kõrval ei saa märkimata jätta ka tema puudusi. Sovooli erikaal on 1,53, s. o. suurem kui õlil, viskoossus on samuti suurem kui õlil ja lõpuks on ta umbes 10—15 korda kallim kui õli.

## IX peatükk.

### LAKID JA KOMPAUNDID.

Elektrotehnikas omavad suurt tähtsust lakid ja kompaunid, mis asetsevad vedelate ja tahkete dielektrikute vahepeal.

Isoleerimise protsessis on lakid ja kompaunid vedelad, töötava isolatsiooni juures aga on nad tahked. Vahe lakkide ja kompaundide vahel seisneb selles, et lakk on vedel temas sisalduva vastava lahusti tõttu ja kõvenemine on tingitud selle lahusti aurumisest, kuna kompaunid ei sisalda lahustit. Kompaund vedeldub soojendamisel ja tardub jahtumisel.

Lakkide ja kompaundide koostises on mitmesuguste ainete segu, nagu kuivavad õlid, vaigud, bituumenid jne. Nende koosteosade omadused määravad ka lakkide ja kompaundide omadused.

#### 38. Kuivavad õlid.

Õlide kuivamine on tingitud sellest, et nende koostises olevad küllastamata (s. o. kahekordseid sidemeid omavad) orgaanilised süsiniku ühendid ei ole keemiliselt püsivad. Nad hapenduvad kergesti või jälle polümeriseeruvad. Õlide kuivamine on keerukas keemiline protsess, teda ei saa samastada lahusti aurumisel toimuva kuivamisega. Eespool vaadeldud transformaatorõli hapendub ja polümeriseerub ainult vähe ja teda ei saa lugeda kuivavaks õliks.

Kuivavad õlid on oma keemilise koostise poolest peamiselt rasvhapete ja glütseriini ühendid, nn. glütseriidid.

Lakitööstuses omavad tähtsust järgmised kuivavate õlide konstandid:

1) erikaal, 2) happesuse arv, 3) joodiarv, 4) seebistuse arv, 5) eetriarv.

Joodi arvuks nimetatakse joodi hulka, mis astub õliga keemilisse ühendusse, väljendatult protsentides võetud õli hulgast. Joodiarv iseloomustab õli küllastamatuse astet ja annab ettekujutuse tema võimest neelata kuivamisel õhu hapnikku.

Seebistuse arvuks nimetatakse kaaliumleelise (KOH) hulka milligrammides, mida tuleb viia 1 g õlisse selles leiduvate vabade ja

seotud hapete neutraliseerimiseks. Seebistuse arv on alati happesuse arvu suurem.

Eetriarv on seebistuse arvu ja happesuse arvu vahe. Ta näitab seotud rasvhapete sisaldust.

Tabelis 18 on toodud õlide põhilised keemilised ja füüsikalised omadused.

Tabel 18.

Õli	Tardumise temperatuur °C	Erikaal	Happesuse arv	Joodiarv	Seebistuse arv
Linaõli . . . .	—15 kuni —20	0,937	6	170—200	187—195
Tungaõli . . .	—17 kuni —18	0,944	6—8	154—176	188—197
Kanepiõli . . .	—20	0,933	3,9	145—166	190—193
Perüllõli . . .	—	0,934	6,7	180—206	187—197
Päevalilleõli . .	—16 kuni —19	0,926	6	122—138	186—194
Puuvillaõli . . .	—3 kuni —4	0,930	0,9	101—117	191—198
Kastoorõli . . .	—10 kuni —12	0,960	—	84,5	185

Suurima tähtsusega lakitööstuses on linaseemneist saadav linaõli. Hea linaõli peab toatemperatuuril kuivama 4—8 päeva jooksul, sadet ei tohi tekkida üle 1%. Pika alalhoiu jooksul õli happesuse arv tõuseb ja tekkinud vabade hapete lagunemisel saadakse uusi aineid, mis annavad õlile kibeda maitse. Selline kibedaks muutunud õli on lakitööstuse jaoks alaväärtuslik, kuna ta vähendab lakk-katte kvaliteeti.

Perüllõli saadakse perüllil (üheaastane rohttaim, kasvab Hiinas, NSV Liidu Kaug-Idas ja Ameerikas) seemneist. Perüllõli on helekollasest kuni pruuni värvusega ja linaõli lõhnaga. Kasutatakse linaõli asendajana.

Tungaõli (hiinaõli, puuõli) saadakse tungapuu seemneist. Tungapuu kodumaa on Hiina ja Jaapan, meil kultiveeritakse teda Kaukaasias Batumi ligidal. Tungaõli on mürgine, laki valmistamiseks aga on ta parim, kuna ta kuivab teistest õlidest kiiremini ja annab kõva, elastse, vee- ja atmosfäärikindla kattekihi.

Tuleb märkida, et linaõli hakkab kuivama pinnalt (peamiselt hapendumisprotsesside mõjul), tungaõli aga kogu kihi paksuses (polümersatsiooni tõttu).

Kastoorõli saadakse riitsinustaime seemneist. NSV Liidus kasvab ta Ukrainas ja Põhja-Kaukaasias. Teda kasutatakse peamiselt plastifikaatorina, kuna ta ei ole kuivav õli. Plastifikaatori ülesandeks on anda lakk-kattele suuremat plastilisust. Erimenetluse abil on võimalik kastoorõlile anda ka kuivamise omadust. Selline kuivavaks muudetud kastoorõli on hästi kasutatav ka lakkide (peamiselt lakkriide) valmistamisel linaõli asendajana.

Kuivamisprotsessi kiirendamiseks lisatakse õlidele väikesel hulgal ainet, mida nimetatakse s i k a t i i v i k s. Sikatiivid on raskete metallide hapendid või soolad. Kõige tarvitatavamaiks sikatiivideks on: seatinahapend PbO, menning Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, pürolüsiit MnO<sub>2</sub>, boorhapu mangaan MnB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, äädikhapu kobaalt Co(CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> ja teised.

Sikatiivide kasutamine hapendite ja soolade näol ei ole otstarbekohane, kuna nad lahustuvad õlis raskesti ja pealegi ainult kõrge temperatuuri juures. Tegelikult töö juures aga on sageli tarvis sikatiivi valmis lakisse segada just enne tarvitamist. Selle tõttu valmistatakse vedelaid sikatiive metallide hapendite ja soolade lahustamisel linaõlis 250—270° juures (lineolaadid) või kampolis (resinaadid). Selliselt valmistatud sikatiivid lahustatakse harilikud laki lahustites, peamiselt ligroiniis.

Suurima kuivamist kiirendava mõjuga on kobaalt- ja mangaansikatiivid.

### 39. Lahustid.

Lakile vajaliku viskoossuse andmiseks kasutatakse lahusteid. Lakkkatte kuivamise protsessis peab lahusti täielikult ära aurama, tagades parima sideme lakk-katte ja kaetava pinna vahel.

Lahustite põhiomadused on toodud tabelis 19.

Tabel 19.

Lahusti	Erikaal	Kasutusala	Keemise algus ja lõpp °C	Leekpunkt °C	Mürgisus pikemaajalisel sissehingamisel
Bensiin I sort	0,71—0,73	Asfalt-, glüftaal- ja kopaallakid	60—150	ca 20	Kaunis suur
Ligroiin	0,76—0,78	Õli- ja " glüftaal-lakid	200—220	15—10	Väike
Petrooleum	0,79—0,84		160—260	28	Väike
Bensool	0,88	Asfalt-, glüftaal- ja kopaallakid	81	—10	Suur
Toluool	0,87	"	ca 110	5	Keskmine
Solventnafta	0,87—0,90	"	120—170	ca 20	Keskmine
Tärpentin	0,85—0,89	Asfalt- ja õililakid, sikatiivid	155—180	20—40	Väike
Etüülalkohol	0,82—0,83	Bakeliit-, šellak-, kopaal- jt. lakid	80—100	15—25	Väike
Etüülatsetaat	0,91	Tselluloid- ja atsetüültselluloidlakid	ca 75	alla 0	Keskmine
Atsetoon	0,80	Glüftaal-, tselluloid-, vinüül- jt. lakid	56	ca 20	Küllalt suur

Bensiin on nafta destilleerimise produkt. Ta on heaks lahustiks õli- ja asfaltlakkides.

Ligroiin on raske bensiin keemispunktiga 145—200°.

Petrooleum on raskem nafta destilleerimise produkt kui bensiin. Tema väikese aurumise tõttu kasutatakse teda lakkides ja emailides, mille kuivamine toimub kõrgendatud temperatuuril (300—400°).

Bensool ja toluool on kivisöetõrva destilleerimise produktid, nad on head rasvade ja vaikude lahustid.

Solventnafta on samuti kivisöetõrva destilleerimise produkt, ta on bensooli, toluooli ja ksülooli segu, kusjuures viimane on ülekaalus. Solventnaftat kasutatakse õilakkide, eriti aga õli-asfaltlakkide valmistamisel.

Tärpentiini saadakse okaspuuvaigu destilleerimisel. Päikesevalgusel tärpentin hapendub ja tiheneb. Tärpentin kiirendab hapendudes lakihi kuivamist, milline omadus puudub teistel lahustitel.

Tärpentin lahustab hästi kampsolit, bituumenit, kopaale ja resinaate.

Etüülalkohol (viinapiiritus), mida saadakse mitmesuguste tärklis- või suhkrut sisaldavate ainete käärimisega, on parimaks šellaki, bake- liidi jne. lahustiks.

Puu kuivdestillatsioonil saadav atsetoon lahustab hästi tselluloidi.

#### 40. Vaigud.

Elektrotehnikas kasutatakse mitmesuguse keemilise koostisega vaike, mis on lakkide, kompaundide, emailide ja teiste elektri-isolatsioonimaterjalide põhiosaks.

Vaigud jagunevad looduslikeks ja sünteetilisteks.

a) **Looduslikud vaigud.** Šellak. Mõned troopilised puud eritavad vaigutaolist massi, mis aeglaselt kõveneb. See mass sisaldab 70—80% vaiku ja 30—20% muid lisandeid. Vaik puhastatakse sulatamise ja läbi riide pressimise teel.

Šellak on suure kõvadusega ja kõrge kleepimisvõimega.

Ka puhastatud šellak sisaldab harilikult 3—5% vaha, mille juuresolek vähendab vaigu kleepimisvõimet.

Peale vaha sisaldab šellak ka vees lahustuvaid osi, nagu sooli, vabu rasvhappeid, valku, mis teeb šellaki võrdlemisi hügrooskoopseks ja on tema kui isolatsioonimaterjali puuduseks.

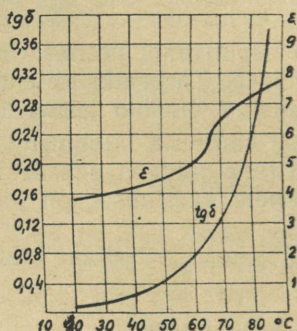
Šellakit jaotatakse sortidesse peamiselt värvuse järgi; parimaks on tumeoranž šellak.

Šellaki saamiseks asetatakse vastavad šellaki ja denatureeritud piirituse hulgad puust nõusse, mis on varustatud segajaga. Segamine toimub šellaki lõpliku lahustumiseni. Nii valmistatud lakk filtreeritakse läbi mitmekordse marlikihi või lastakse läbi filterpressi.

Kui võtame kaalu järgi 42% piiritust ja 58% šellakit, siis saame laki, mille erikaal on 20<sup>o</sup> juures 1,010. Kui šellakit on 24%, siis on erikaal 0,885.

Šellaklakki kasutatakse vilgukivist isolatsiooni kleepimiseks, sideainena plastmassides, samuti ka kattelakina metallide ja tahkete isoleerivate pindade juures. Oma suure rabaduse tõttu ei kõlba ta painduvate pindade katmiseks.

Sellaki kihikesed paksusega 0,02—0,05 mm omavad 20<sup>o</sup> juures eritakistust 10<sup>14</sup>—10<sup>15</sup> oom·cm ja läbilöögitugevust 50—60 kV/mm.



Joon. 64. Šellaki omaduste olenevus temperatuurist.

Joon. 64 on toodud šellaki tg δ ja ε olenevuse kõverad temperatuurist.

Soojendamise mõjul muutub šellak sulamatuks ja lahustumatuks. 20—25-tunnise soojendamise tulemusena 100<sup>o</sup> juures tõuseb šellaki pehmenemistemperatuur 80<sup>o</sup>-lt kuni 300—350<sup>o</sup>-ni ja lahustuvus langeb 10—15%. Selline soojustöötlumine tõstab tugevasti šellaki elektrilisi omadusi.

Šellak on importkaup, teda veetakse ka praegu NSV Liitu sisse. Suuri edusamme on teinud katsed asendada teda teiste mittedefitsiitsete vaikudega nagu glüftaal ja bakeliit.

Kopaalvaik on väga kõva ja väikese lahustuvusega. See on taimse päritoluga maa seest leitav vaik. Leidub teda ainult troopilistes maades, on nagu šellak importaine.

Lahustuvuse suurendamiseks sulatatakse kopaali tugeval tulel, misjärel ta kõvadus ja sulamistemperatuur langevad. Kopaallakkide kattekihid on kõvad ja suure läikega.

Kopaalide sulamistemperatuur kõigub 100—300° vahel, erikaal on 1,04—1,08, happesuse arv on 78—132.

Kopaale kasutatakse kleepivate ja kattelakkide valmistamisel.

Kopaalide parimaiks lahustiteks on butüülalkohol ja bensooli segu piiritusega.

K a m p o l i t saadakse männivaigust peale tärpentini destilleerimist. Kampoli värvus (helekollasest kuni tumepruunini) oleneb vaigu soojendamise tingimustest.

Kampoli omadused:

Pehmenemistemperatuur	Krämer-Sarnovi järgi	55—80°
Erikaal . . . . .		1,07—1,09
Happesuse arv . . . . .		140—185
Seebistuse arv . . . . .		145—195
Joodiarv . . . . .		112—135

Kampoli peamiseks koosteosaks on abietiin happed keemilise koostisega  $C_{20}H_{30}O_2$ .

Kampoli suur happesus ei ole laki valmistamisel soovitatav, pealegi on naturaalkampolist valmistatud lakkide kattedehid rabedad. Sellepärast teostatakse kampoli neutraliseerimist lubja abil või lubja ja tsinkoksüüdi abil või töödeldakse teda glütseriiniga.

Hästi puhastatud kampol on kõrgete dielektriliste omadustega. 20° juures on ta mahu-eritakistus  $10^{15}$ — $10^{16}$  oom · cm ja  $tg \delta = 0,005$ .

b) **Süntetilised vaigud.** F e n o o l - f o r m a l d e h ü d v a i g u d valmistatakse fenooli keetmisel formaliiniga. Nad on odavamad ja levinenumad elektrotehnikas kasutatavaist vaikudest. Olenevalt võetavate fenooli ja formaliini koguste suhtest ja keetmise tingimustest, võime saada kahte liiki väike.

Esimest liiki vaigud, mida nimetatakse r e s o o l i d e k s, muutuvad soojuse mõjul sulamatuks ja lahustumatuks. Resoole kasutatakse plastiliste masside, bakeliitisolaatorite valmistamiseks ja puidu immutamiseks. Teist liiki vaigud, n o v o l a k i d, ei muuda soojendamisel oma omadusi ja neid kasutatakse peamiselt lakkide valmistamiseks.

Ka resoolid võivad olla mitut tüüpi. Tähtsam neist, bakeliit, valmistatakse võrdsetest fenooli ja formaliini kogustest, millele on katalüsaatoriks juurde lisatud 5—6% ammoniaaki.

Bakeliidi saamisel ja töötlemisel tuleb eritleda kolme staadiumi:

1) Bakeliit A saamine, mis lahustub hästi alkoholis. Teda kasutatakse lakkide valmistamiseks.

2) Soojendamisel muutub bakeliit *A* bakeliit *B*-ks, mis alkoholisis enim ei lahustu, kuigi veel pehmeneb soojendamisel ja muutub elastiseks.

3) Pikemaajalise soojendamise tulemusena muutub vaik bakeliit *C*-ks, mis ei lahustu alkoholisis ega pehmene soojendamisel.

Bakeliitvaikude ja lakkide soojustõttlemist katsutakse viia kuni bakeliit *C* tekkimiseni, mis annab toodetavaile esemeile suure mehaanilise tugevuse, niiskus- ja õlikindluse.

Bakeliit *A* pehmenemistemperatuur on 80—100°, ta lahustub hästi alkoholisis, atsetoonis ja glütseriinis. Bakeliit *A* muutumine bakeliit *C*-ks toimub seda kiiremini, mida suurem on soojendamistemperatuur ja rõhk; seda üleminekut kiirendab ka katalüsaatori lisamine.

Mullikeste tekkimise vältimiseks vaigus või temaga immutatud isolatsioonisis teostatakse bakelitiseerimist kõrgendatud rõhu (2—3 atm.) juures.

Bakeliidi töötlemine 140° ja 5—7 atm. rõhu juures vajab 3—5 tundi, kuna normaalrõhu juures on tarvis temperatuuri vähehaaval tõsta 80° kuni 140°-ni ja kogu bakelitiseerimise protsess vajab aega mitte alla 24 tunni.

Bakeliit *C* dielektrilised omadused on: mahu-eritakistus  $10^{15}$  oom·cm, läbilöögitugevus 60—70 kV/mm (õhukestes kihtides).

Pindlahendused rikuvad bakeliiti, jättes tema pinnale elektrit juhtivad jäljed, mis on igasuguse bakeliitisolatsiooni puuduseks.

Novolakkideks nimetatakse fenoolaldehüüdvaikude rühma, mis ei muutu soojendamisel lahustumatuks. Novolakkide valmistamisel võetakse fenooli rohkem kui resoolide valmistamisel.

Novolakkvaike kasutatakse piirituslakkide valmistamisel šellaki asendajana. Üheks selliseks lakiks on iditoollakk, mida valmistab Ohta tehas Leningradis.

Glüftaalvaigud. Neid vaike saadakse glütseriini ja ftaalhape anhüidriidi segu soojendamisel. Ftaalhappe anhüidriid ise saadakse naftaliini hapendamisel. Glüftaalvaigud nagu bakeliididki muutuvad soojendamisel sulamatuks ja lahustumatuks, läbides staadiumid *A*, *B* ja *C*.

Selline üleminek toimub 160—180° juures 14—20 tunni jooksul. Staadiumis *A* lahustub glüftaalvaik hästi alkoholi ja atsetooni või bensooli segus.

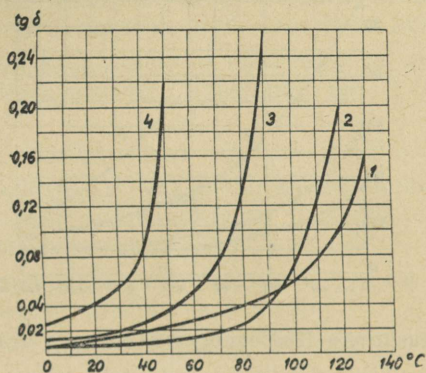
Nende vaikude põhiliseks puuduseks on võrdlemisi suur hügrokoopusus ja vajadus töödelda neid kõrgema temperatuuri juures ja pikemaajaliselt kui näiteks bakeliite.

Glüftaalidest valmistatakse lakke, mis on suure kleepimisvõimega ja kõrgete mehaaniliste ja elektriliste omadustega.

Glüftaallakke kasutatakse vilgukivist isolatsioonide kleepimiseks, elektrimasinate mähiste immutamiseks, kattelakkidena, samuti emailide valmistamiseks. Glüftaallakkidel on hea vastupidavus õli mõjule.

Vastandina bakeliidile on glüftaallakid suure vastupidavusega pindlahenduste suhtes.

Sünteesiliste vaikude hulka kuulub ka stürool — vedelik, mis soojendamisel muutub tahkeks aineks — polüstürooliks. Ta on väga kõrgete elektri-isolatsiooniliste omadustega. Siia kuuluvad ka kloor-vinüülvaigud ja teised.



Joon. 65.  $Tg \delta$  olenevus temperatuurist bituumenite juures.

#### 41. Bituumenid.

Mustade isoleerlakkide valmistamisel, samuti ka immutus- ja valamissegude valmistamisel kasutatakse looduslikke ja kunstlikke asfalte ja bituumeneid.

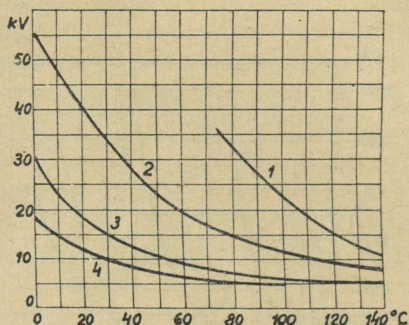
Kunstlikud bituumenid saadakse naftast peale kergemate fraktsioonide, bensiini, petrooleumi, masuudi, määrideõlide, vaseliini ja parafiini väljaajamist. Teiseks naftabituumenite saamise viisiks on naftast ja masuudist õhu läbipuhumine 250—280° juures. Läbipuhumise protsessis naftas sisalduv vesinik osaliselt ühineb õhu hapnikuga ja lahkub veeaurude näol. Vesiniku eraldumise tõttu tekivad küllastamatud ühendid, mis suurendab saadava produkti viskoossust.

Looduslikud bituumenid esinevad asfaltidena, mis sisaldavad suurel määral mineraallisandeid, nagu liiva, savi jt. Meil NSV Liidus on pare-

maks looduslikuks asfaldiks Petšora asfalt, mida leidub Ižma jõe ääres (Petšora harujõgi), Sadkino asfalt — Volga keskjooksul, Buguruslani rajoonis, Šuguri bituumen — Tatari vabariigis.

Parimaks välismaiseks asfaldiks on gilsoniit, mida leidub Põhja-Ameerikas.

Parimaks meil toodetavaks naftabituumeniks on Krasnodari bituumen, mida saadakse Põhja-Kaukaasia naftast õhu läbipuhumisel. Seda materjali võib saada mitmesuguse pehmenemistemperatuuriga — kuni 140°.



Joon. 66. Bituumenite läbilöögitugevuse olenevus temperatuurist.

OCT 7296 järgi jagatakse naftabituumenid 5 sorti, mille pehmenemistemperatuurid rõnga ja kuuli meetodil on: 30°, 40°, 50°, 70° ja 90—110°.

Bituumenid lahustuvad hästi bensoolis, bensiinis, väävelsüsinikus ja kloroformis.

Bituumenite dielektrilised omadused olenevad suurel määral pehmenemistemperatuurist.

Joon. 65 on antud mitmesuguste bituumenite tg δ olenevus temperatuurist. Kõver 1 on gilsoniit, pehmenemistemperatuuriga 152°; 2 — Krasnodari raskelt sulav bituumen (127°), 3 — Krasnodari kergelt sulav bituumen (71°) ja 4 — Šuguri bituumen (18°).

Joon. 66 on toodud samade bituumenite läbilöögitugevuse olenevus temperatuurist; kõverate tähistus on sama mis joon. 65.

Elektroodideks on kasutatud kaks kera, läbimõõduga 20 mm. Kerade-vaheline kaugus oli 0,5 mm.

## 42. Immutuskompaunid ja valamismassid.

Vahelduvvoolu-masinate staatori mähiste ja alalisvoolu-masinate elektromagnetite mähiste immutamiseks on ulatuslikku kasutamist leidnud Krasnodari naftabituumen, mille pehmenemistemperatuur on 90—95°. Pikaajalise soojendamise jooksul bituumen tiheneb, mistõttu ta immutusvõime langeb. Seepärast lisatakse talle juurde bituumenit, mille pehmenemistemperatuur on 50—55°. Krasnodari bituumeni läbilöögitugevus on 20—50 kV/mm,  $\text{tg } \delta = 0,02—0,025$ .

Nende mootorite mähiste immutamiseks, mis töötavad kõrgemate temperatuuride juures, Krasnodari bituumen ei kõlba, kuna ta temperatuuri tõustes hakkaks mähistest välja voolama. Selliste masinate jaoks on välja töötatud eri kompaund, mille koostisse kuulub ka linaõli.

Naftabituumeneid kasutatakse ka mitmesuguste soomustatud jaotus-seadmete, läbiviigi-isolaatorite, kaablimuhvide jne. täitmiseks valamise teel.

Soojuspaisumise koefitsient on bituumenitel 0,00055.

Kus aparadi konstruktsioon lubab (alalisvoolu elektromagnetite poolid), võib isolatsiooni soojusjuhtivuse suurendamise otstarbel bituumenit segada kvartslüüvaga (kuni 75% mahu järgi).

Puu ja kondensaatorpaberi immutamiseks ja ka muudeks otstarveteks kasutatakse sageli parafiini ja tseresiini.

Parafiin saadakse parafiinse nafta destilleerimisel ja ta on raskete süsivesinike segu, üldise keemilise valemiga  $C_nH_{2n+2}$ . Ta on inertne hapete ja aluste vastu, kuid lahustub bensiinis, eetris ja rasvhapetes, on kõrgete dielektriliste omadustega (mahu-eritakistus on  $10^{16}$  oom·cm, läbilöögitugevus 20—30 kV/mm) ja äärmiselt väikese hügro-koopsusega.

Tema suureks puuduseks on võrdlemisi madal sulamistemperatuur (40—60°), väike mehaaniline tugevus, samuti suur mahu vähenemine jahtumisel, mis on pragude ja õõnsuste tekkimise põhjuseks.

Tseresiin on puhastatud osokeriit — maa seest leitav vaha, mis on keerukate tahkete süsivesinike segu ja mida leitakse Ferghanas, Turkmenistanis ja Tšelekeni saarel (Kaspia meres).

Tseresiini dielektrilised omadused on samad mis parafiinil.

Tseresiini sulamistemperatuur on 60—70° (Ubbelohde järgi), tal on väiksem mahu vähenemine tardumisel ja suurem plastilisus kui parafiinil. Tseresiin aga on 3—4 korda parafiinist kallim, mis piirab tema kasutamist.

Mineraalvahad — parafiin ja tseresiin — on immutusainetena levinud peamiselt nõrkvoolu-tehnikas.

### 43. Plastifikaatorid.

Laki kattekihi pehmemdamiseks ja elastseks muutmiseks viiakse laki koostisse aineid, mida nimetatakse pehmedajajaks või plastifikaatoriks.

Praktikas on plastifikaatoritena kasutamisel trikresilfosfaat, dibutüülfataat ja kastoorõli.

Trikresilfosfaadi erikaal on 1,135—1,189, leekpunkt 215°, keemistemperatuur 430—440°.

Dibutüülfataat on värvitu ja lõhnatu vedelik, erikaaluga 1,06, keemistemperatuur 315—325°. Ta lahustub kõigis tuntumais orgaanilistes lahustites ja kastoorõlis. Tal on suurem pehmedav mõju kui trikresilfosfaadil.

Teiste plastifikaatoritena on tuntud kamper, bensüülalkohol ja päevalilleõli.

Ka kuivavad õlid on plastifikaatoriteks, kuid ainult seni, kui nad pole ära kuivanud.

### 44. Lakid.

Kõige üldisemal juhul koosneb lakk järgmistest koosteosadest:

- 1) laki alus, nagu looduslikud ja sünteetilised vaigud, kuivavad õlid ja bituumenid;
- 2) plastifikaator, mis annab laki alusele plastilisuse ja elastsuse;
- 3) lahusti;
- 4) sikatiivid, mis kiirendavad lakk-katte kuivamist;
- 5) vedeldaja, mida viiakse lakisse talle voolavuse andmiseks, ta peab täielikult segunema lakiga;
- 6) värv- ja täiteained.

Isolatsioonilakke võib jagada kolme rühma: kleepivad lakid, immutuslakid ja kattelakid.

Kleepivad lakid omakorda võivad olla kahte tüüpi:

1) Lakid, mis garanteerivad kokkukleebitud eseme kõvadust, jäikust ja tugevust. Nende lakkide hulka kuuluvad šellaklakk, mida kasutatakse vilgukivi lehtede kokkukleepimiseks kollektormikaniidi valmistamisel, samuti ka glüftaallakk nr. 3221.

2) Lakid, mis annavad kokkukleebitud esemele painduvuse ja elastsuse, nagu kopaallakk nr. 3110, glüftaallakk nr. 3131 ja asfaltlakk nr. 3100. Lakkide numbrid on toodud XƏT3 tehase (Harkov) nomenklaatuuri järgi.

**Immutuslakkid.** Immutuslakkide hulka kuuluvad asfaltlakkid nr. 1100, 1110, 2110, õililakkid nr. 1220, 1230, samuti glüftaallakk nr. 1250. Viimane lakk on suurema soojuskindlusega, kuid ka suurema hügroskoopsusega kui asfaltlakkid.

**Kattelakkid.** Isolatsiooni konstruktsioonide pinna katmiseks kasutatakse kattelakke: õli-kopaallakk nr. 2130, asfaltlakk nr. 2320 ja glüftaallaki alusel valmistatud email nr. 2451.

Tähtsamad NSV Liidu elektritööstuses kasutatavate lakkide omadused on toodud tabelis 20. Peale numbrite XЭT3 nomenklatuuri järgi on sulgudes toodud ka numbrid ameerika nomenklatuuri järgi, milliseid sageli kasutatakse praktikas.

Teiste omaduste kõrval on tabelis 20 toodud ka soojuskindlus. Selle määramiseks kantakse lakk 0,1—0,15 mm paksusega plaadikese mõlemale küljele 0,05 mm paksuse kihina ja painutatakse see plaadike ümber varva läbimõõduga 3 mm. Tabelis on toodud aeg, mille jooksul lakikihi tekivad praod, mis on nähtavad viiekordse suurendusega luubis.

Tabelis 20 on toodud need läbilöögitugevused, mida näevad ette tehnilised tingimused. Läbilöökk tuleb teostada sagedusega 50 herti, kusjuures elektroodide läbimõõt peab olema 25 mm ja servade ümbruse raadius 2,5 mm. Lakikihi paksus — 0,5 mm.

Immutuslakkide juures on tähtis, et lakk peale pöörlevate osade immutamist tsentrifugaaljõudude tõttu välja ei pritsiks. Harilikult näidatakse kuivamise aeg (1—6 tundi), mis on vajalik väljapritsimise vältimiseks.

Lakk loetakse kuivanuks, kui lakiga immutatud paber kokkupan-duna ei kleepu.

Laki hügroskoopsus määratakse laki katekihi kaalu suurenemise mõõtmisega vaskalusel peale selle hoidmist destilleeritud vees temperatuuriga  $20^{\circ} \pm 5^{\circ}$ .

Vastupidavust õlile määratakse lakikihi hoidmisega 100<sup>0</sup>-ses õlis 24 tunni jooksul.

Viimasel ajal on laialdaselt levinud atsetüülselluloos-lakkide kasutamine. Atsetüülselluloos-lakid on atsetüülselluloosi lahused atsetoonis või bensooli ja piirituse segus. Plastifikaatorite kasutamisel (trikresüülfosfaat) on võimalik saada väga elastseid lakke.

Atsetüülselluloos-lakid on vastupidavad mineraalõlide, nõrkade aluste ja hapete mõjule.

	Laki omadused	Nr. 1100 (458)	Nr. 1110 (447)	Nr. 1220 (802)	Nr. 1230 (804)	Nr. 1231 (800)
1.	Üldised . . . . .	Ahjus kuivatatav asfaltlakk, valmistatud bituumenist ja kuivavast õlist, sikatiivi lisandamisel	Ahjus kuivatatav asfaltlakk, valmistatud lakkide nr. 1100 ja 2110 segust	Ahjus kuivatatav õlilakk, valmistatud linaõlist, kopaalidest ja sikatiivist	Ahjus kuivatatav õlilakk, valmistatud linaõlist, kopaalidest ja sikatiivist	Ahjus kuivatatav õlilakk, valmistatud lakkide nr. 1220 ja 1240 segust
2.	Kasutamise ala . . . . .	Vahelduvvoolu-masinate mähiste ja alalisvoolu-masinate elektromagnetite poolide immutamine	Masinate seisvate ja liikuvate mähiste immutamine	Trafode, elektrimasinate ja -aparaatide mähiste immutamine	Tulise õliga kokkupuutuvate mähiste immutamine	Lakkriide valmistamine
3.	Erikaal 20° juures . . . . .	0,845—0,865	0,850—0,865	0,815—0,825	0,840—0,860	0,870—0,885
4.	Viskoossus 50° juures Engleri järgi . . . . .	3,5—7,0	4,0—6,0	2,5—3,5	4,0—6,0	8,0—10,0
5.	Lendumatu osa . . . . .	38,5—43,0%	38,0—43,0%	34,0—39,0%	40,0—43,0%	—
6.	Kuivamise aeg 105° juures	Mitte üle 3 tunni	4 tundi	3 tundi	3 tundi	—
7.	Soojuskindlus 105° juures	Mitte alla 6 tunni	Mitte alla 24 tunni	Üle 240 tunni	Üle 240 tunni	—
8.	Hügrooskoopsus 12-tunnise kuivatamise järel 105° juures . . . . .	Mitte üle 0,5%	Mitte üle 0,6%	—	—	—
9.	Vastupidavus õlile . . . . .	Ei ole vastupidav	Ei ole vastupidav	On vastupidav	On vastupidav	On vastupidav
10.	Läbilöögitugevus kV/mm peale 12-tunnist kuiva- mist 105° juures:					
	a) 20° juures . . . . .	60	50	40	60	45
	b) 90° juures . . . . .	30	30	25	—	20
	c) peale 24-tunnist veega mõjutamist, 20° juures . . . . .	5	30	15	—	10
11.	Lahustid . . . . .	Bensiini, bensooli ja ligroiini segu	Ligroiin 10% bensooli või ksülooli lisandiga	Bensiin ja ligroiin	Bensiin ja ligroiin	Bensiin
12.	Happesuse arv . . . . .	—	—	Mitte üle 8,5	Mitte üle 11,0	Mitte üle 8,0

Tabel 20 (järg)

Laki omadused	Nr. 1250 (1154)		Nr. 2110 (460)			Nr. 2130 (152)			Nr. 2250 (202)			Nr. 2320 (462)			
	Glüftaallakk, ahjuskuivatatav, valmistatud glüftaalvaigust, kas- toorõlist, kampo- ja linaõli rasvhapetest			Ahjus kuivatatav as- faltlakk, valmistatud bituumenist, lina- ja tungaõlist ja sikatiiv- vist			Ahjus kuivatatav õiko- paallakk, valmistatud kui- vavatest õlidest, kopaali- dest ja sikatiivist			Ahjus kuivatatav email, valmistatud kuivavatest õlidest, resinaatidest ja kampolist			Õhus kuivatatav asfalt- lakk, valmistatud bituu- menist, linaõlist, kampo- list ja sikatiivist		
1. Üldised . . . . .															
2. Kasutamise ala . . . . .	Trafode mähiste im- mutamine, isolatsiooni katmine talle kaare- kindluse andmiseks			Elektrimasinate mähis- te ja poolide lõplik im- mutamine			Katte- ja immutuslakk			Trafo- ja dünamopleki kat- telakk			Immutatud mähiste, as- besttsementplaatide ja muu isolatsiooni katmine		
3. Erikaal 20° juures . . . . .	0,950—0,965			0,850—0,875			0,850—0,860			0,895—0,910			0,900—0,930		
4. Viskoossus 50° juures Engleri järgi . . . . .	3,5—6,5			8,0—15			3,0—4,5			4,5—6,0			4,0—6,0		
5. Lendumatu osa . . . . .	45,0—50,0%			38—44%			46—52%			45—50%			—		
6. Kuivamise aeg . . . . .	3 tundi			105° juures mitte üle 6 tunni			20° juures 24 tundi 105° „ mitte üle 1 tunni			210° juures vaskplaadike- sel mitte üle 12 minuti			20° juures 3 tundi		
7. Soojuskindlus 105° juures	20—30 ööpäeva			Mitte alla 120 tunni			Mitte alla 1 tunni			—			Mitte alla 1 tunni		
8. Hügroskoopsus . . . . .	Umbes 3,5%			Peale 18-tunnist kui- vamist 105° juures mit- te üle 0,5%			Peale 6-tunnist kuivamist 105° juures umbes 1,5%			Peale 30-minutist kui- vamist 210° juures mitte üle 0,7%			Peale 18-tunnist kuiva- mist 20° juures mitte üle 0,7%		
9. Vastupidavus õlile . . . . .	On vastupidav			Ei ole vastupidav			Võrdlemisi vastupidav			On vastupidav			Ei ole vastupidav		
10. Läbilöögitugevus kV/mm peale 12-tunnist kuiva- mist 105° juures:															
a) 20° juures . . . . .	20			50			40			60			45		
b) 90° juures . . . . .	—			30			25			—			20		
c) peale 24-tunnist veega mõjutamist. 20° juures . . . . .	—			30			15			—			10		
11. Lahustid . . . . .	Bensool, bensiin ja ligroiin			Ligroiini ja bensooli segu			Ligroiini ja lakkbenziini segu			Petrooleum			90% bensooli + 10% ligroiini		
12. Happesuse arv . . . . .	Mitte üle 20,0			—			—			—			—		

	Laki omadused	Nr. 2461 (Email 1201)	Nr. 3100 (441)	Nr. 3101 (462/k)	Nr. 3110 (155)	Nr. 3111 (214)
1.	Üldised . . . . .	Glüftaallakist, nitro- tsellulooslakist ja rauaoksiidist valmis- tatud isolatsioonilakk	Asfaltlakk, valmista- tud asfaldist ja kuiva- vast massist	Ahjus kuivatatav asfalt- lakk, valmistatud bituu- meneist, kuivavatest õli- dest ja sikatiivist	Kopaallakk, valmistatud kopaalidest, kampolist ja kastoorõlist	Kopaallakk, valmistatud kopaalidest, kampolist ja kastoorõlist
2.	Kasutamise ala . . . . .	Isolatsiooni ja juht- mete katmine	Mikalindi valmistamine	Mikalindi valmistamine	Painduva vilgukivist iso- latsiooni valmistamine	Painduva vilgukivist iso- latsiooni valmistamine
3.	Erikaal 20° juures . . .	1,05—1,25	0,835—0,855	0,935—0,955	0,900—0,920	0,910—0,920
4.	Viskoossus 50° juures Engleri järgi . . . . .	—	1,3—1,7	6,0—10,0	2,5—3,5	1,0—1,5
5.	Lendumatu osa . . . . .	47—51%	25—30%	—	—	20—25%
6.	Kuivamise aeg . . . . .	20° juures 8 tundi	Püsiva kleepuvusega	20° juures mitte üle 3 tunni	20° juures on püsivalt kleepuv	20° juures on püsivalt kleepuv
7.	Soojuskindlus 105° juures	Mitte alla 16 tunni	Mitte alla 144 tunni	Mitte alla 12 tunni	Alla 1 tunni	Mitte alla 1 tunni
8.	Hügroskoopsus . . . . .	—	Peale 24-tunnist kuiva- mist 105° juures mitte üle 0,6%	Peale 6-tunnist kuivamist 105° juures mitte üle 0,6%	Peale 12-tunnist kuiva- mist 105° juures umbes 2%	Peale 24-tunnist kuiva- mist 105° juures umbes 2%
9.	Vastupidavus õlile . . .	On vastupidav	Ei ole vastupidav	Ei ole vastupidav	—	—
10.	Läbilöögitugevus kV/mm peale 12-tunnist kui- vamist 105° juures:					
	a) 20° juures . . .	20	60	35	25	25
	b) 90° juures . . .	—	30	—	10	10
	c) peale 24-tunnist veega mõjutamist, 20° juures . . . . .	—	20	—	10	10
11.	Lahustid . . . . .	Atsetoon ja amüül- setaat	Bensiini ja bensooli segu	Bensiini, bensooli ja ligro- iini segu	50% bensooli + 50% etüülalkoholi	Bensool või toluool
12.	Happesuse arv . . . . .	—	—	—	—	—

Tabel 20 (järg)

	Laki omadused	Nr. 3131 (1200)	Nr. 3221 (1155)
1.	Üldised . . . . .	Glüftaallakk, valmistatud glüftaalvaigust ja linaõli rasvhapetest	Glüftaallakk
2.	Kasutamise ala . . . . .	Delta-asbestisolatsiooni valmistamine	Vormitud mikaniidi valmistamine
3.	Erikaal 20° juures . . . . .	0,960—0,970	0,900—0,920
4.	Viskoossus 50° juures Engleri järgi . . . . .	4,0—6,0	1,0—1,5
5.	Lendumatu osa . . . . .	38—43%	17—19%
6.	Kuivamise aeg . . . . .	105° juures 2 tundi	20° juures 30 min.
7.	Soojuskindlus 105° juures	Mitte alla 24 tunni	Ei ole soojuskindel
8.	Hügroskoopsus . . . . .	Umbes 3—4%	—
9.	Vastupidavus õlile . . . . .	On vastupidav	—
10.	Läbilöögitugevus kV/mm peale 12-tunnist kuivamist 105° juures:		
	a) 20° juures . . . . .	60	30
	b) 90° juures . . . . .	30	—
	c) peale 24-tunnist veega mõjutamist, 20° juures . . . . .	10	—
11.	Lahustid . . . . .	50% benseoli + 50% etüülalkoholi	Etüülalkoholi ja benseoli segu
12.	Happesuse arv . . . . .	Mitte üle 50	Mitte üle 125

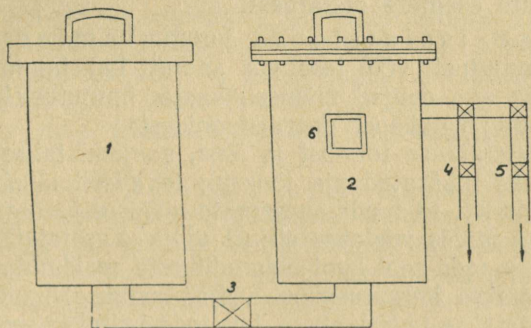
## 45. Immutamine.

Kiudaineliste ja teiste tahkete isolatsioonimaterjalide immutamise eesmärgiks on mõnesuguste nende omaduste, nagu elektriline tugevus, soojusjuhtivus, vastupidavus niiskusele ja mehaaniline tugevus, parandamine.

Immutamisviise on kaks:

1) külm immutus, mida teostatakse õlide ja lakkidega, mille viskoossus on toatemperatuuril ( $20^{\circ}$ ) küllaldane isolatsiooni pooride täitmiseks;

2) soe immutamine, milleks kasutatakse sulatatud bituume, kompaunde, vaike, parafiini ja teisi taolisi materjale, kusjuures soojendamine tagab nende materjalide vajalikku viskoossust.



Joon. 67. Immutusseadme skeem: 1 — katel immutusainega; 2 — autoklaav; 3 — ventiiil; 4 — suruõhu ventiiil; 5 — vaakuumi ventiiil; 6 — vaateaken.

Lakiga immutatud isolatsioonimaterjalid ja konstruktsioonid töödeldakse veel termiliselt, mille jooksul lenduvad lahustid ja lakikihis eneses toimuvad keerukad keemilised protsessid, mis parandavad isolatsiooni mehaanilisi ja dielektrilisi omadusi.

Immutatud materjalide ja konstruktsioonide termiline töötlemine on alati vajalik, kui immutussegu sisaldab lahusteid või kuulub ainete hulka, mille omadused termilise töötlemise tõttu paranevad (shellak, kuivavad õlid, bakeliit, glüftaalvaik jne.).

Bituumenitega või kompaundidega immutamine. Immutusmaterjal viiakse isolatsiooni pooridesse sulanud olekus, kusjuures eesmärgiks on võimalikult monoliitse ja elastse isolatsiooni saamine. Harilikult koosneb isolatsiooni immutamine kompaundiga järgmistest operatsioonidest:

1) kompaundmassi kvaliteedi kontroll;

2) mähised isoleeritakse ajutiselt puuvillase lindiga ja asetatakse autoklaavi (joon. 67); pilukil kaanega autoklaavis kuivatatakse mähiseid 105—110° juures 2—8 tunni jooksul;

3) autoklaavi kaas suletakse õhukindlalt ja tekitatakse vaakuum 700 mm elavh. s. ning soojendatakse sama temperatuuri juures veel 2—4 tundi;

4) autoklaav täidetakse 150—160°-ni soojendatud kompaundiga, ülejäänud autoklaavi ruum täidetakse süsihappegaasiga, tõstetakse surve kuni 7 atü ja hoitakse seda 4—8 tunni jooksul;

5) lastakse mass autoklaavist välja, lastakse tal mähistel maha joosta, võetakse mähised autoklaavist ja asetatakse nad vastavale alusele, kuni mähised on veel soojad, kõrvaldatakse ajutine isoleerlint.

Kompaundi pehmenemistemperatuur on tavaliselt 90—100°, olenevalt immutatavate esemete otstarbest.

Puuvillase isolatsiooni immutamine õlilakkidega. Seda immutust võib teostada samuti kui immutamist kompaundidega, võib aga soojad mähised kasta immutuslakkki. Viimane menetlus koosneb järgmistest operatsioonidest:

1) mähis puhastatakse tolmust ja õlist, soojendatakse 110° juures katseliselt kindlaks määratud aja jooksul; tavaliselt läheb selleks väikeste mähiste juures 2—4 tundi, suuremate mähiste juures 6—12 tundi;

2) soojenenud mähis võetakse ahjust välja ja asetatakse külma lakki sisse ning hoitakse teda seal kuni õhumullikeste eraldumine lakkab;

3) mähis võetakse immutusnõust välja, lastakse liigne lakk maha voolata ja paigutatakse ta kuivatisse, kus teda hoitakse seni, kui lahusti on täielikult ära auranud ja lakikiht on saanud vajaliku tugevuse; selleks läheb harilikult 10—16 tundi temperatuuril 105—110°, vastavalt mähise suurusele.

Küllalt monoliitse ja niiskuskindla isolatsiooni saamiseks korratakse immutamist 3—4 korda. Immutatud mähise kuivatamisel soovitatakse algul teostada seda 70—80° juures, takistades õhu juurdevoolu. See abinõu väldib lakikihi pealispinna liiga kiiret kuivamist, mis takistaks lahusti aurumist mähise sisemusest.

Lenduva lahustiga lakiga immutamine. Selliste lakkidega immutamine võib teostuda kõigil eespool nimetatud viisidel. Immutatud mähist kuivatatakse lahusti kõrvaldamiseks 60—70° juures, siis tõstetakse temperatuuri ja järgneva termilise töötlemisega muudetakse vaik lahustamatuks ja sulamatuks. Termilise töötlemise temperatuur ja vältus määratakse kindlaks katseliselt. Bakeliitlakiga immutatud mähised valmivad 8—12 tunni jooksul 80—100° juures. Mullide kõrvaldamiseks ja protsessi kiirendamiseks sageli bakeliidiga immutatud mähiste termiline töötlemine teostatakse autoklaavis surve all.

**KIULISED ELEKTRI-ISOLATSIOONI MATERJALID.**

Kiulisi materjale nagu paberit, pappi, lõnga, riidet, linti jne. kasutatakse elektri-isolatsiooni otstarbeks väga laialdaselt. Nende materjalide suureks paremuseks on paindumus, suur mehaaniline tugevus ja kerge töödeldavus. Üldiseks puuduseks on väiksem või suurem hügrooskoop-sus, mille vältimiseks neid on tarvis sageli immutada lakkidega, õli-dega, bituumenitega ja teiste taoliste materjalidega. Aga ka immuta-mine ei kaitse neid täielikult niiskuse sissetungimise eest, ta ainult aeglustab seda.

Isolatsioonimaterjalina kasutatakse nii orgaanilise kui ka anorgaa-nilise päritoluga kiudaineid. Orgaanilised kiudained võivad olla loomse päritoluga, nagu siid, või taimse päritoluga, nagu puuvill ja tselluloosi baasil rajanev kunsti-siid. Anorgaanilistest kiudainetest on tarvitusel asbest ja klaasvill. Käesolevas peatükis käsitleme orgaanilise pärit-oluga kiudaineid, mille põhiliseks erinevuseks anorgaanilistest kiudaine-dest on võrdlemisi madal soojuskindlus. Asbesti vaatleme XI peatükis ja klaasvilla XII peatükis.

**46. Tekstiilmaterjalid.**

Kiudaine saamise peamiseks allikaks on taimeriik. Toorainete põhiligid on puuvill, džuuat, lina ja puit. Loomariigi saadustest leiab elektri-isolatsiooni tehnikas kasutamist ainult looduslik siid.

Puuvill on puuvillataime seemnekarbikete kiud. Puuvilla kasvatatakse mitmel maal ja ka NSV Liidu lõunarajoonides. Peale lisan-dite kõrvaldamist kraasitakse puuvill kraasimismasinail pikkadeks lintideks, millest pärast kedratakse lõng.

Lõnga jämedust tähistatakse numbritega. Number näitab, missu-gune lõnga pikkus kaalub ühe kaaluühiku. Meetermõõdustikus tähendab lõnga number lõnga pikkust meetrites, mis kaalub üks gramm. Lõnga ei tarvitata mitte ainult riide kudumiseks, vaid ka otse juhtmete isoleerimiseks (ПБО, ПБД, ПББО jt.), samuti ka kaablite mähkimi-seks.

Sageli leiab kasutamist ka värvitud lõng, eriti nõrkvoolu-tehnikas kasutatavate juhtmete isoleerimiseks. Tarvitamist leiab korrutatamata lõng nr. 5 kuni nr. 240 ja korrutatud lõng, peamiselt nr. 34/3, 100/2 ja 54/2. Lõng võib olla loomulik ja merseeritud. Viimase lõnga saamiseks töödeldakse loomulikke lõnga leelisega, misjuures ta omandab läike ja sileda pinna. Puuvillase riide jäätmeid kasutatakse paberitööstuses.

Kaablitööstuses leiab sageli kasutamist ka džuuut kaabli soonte vahelise täitematerjalina ja välimiseks põimimiseks. Meil on džuuut importkaup, kuna ta kasvab troopilistes piirkondades. Viimasel ajal asendatakse teda kenafiga, mis kasvab ka NSV Liidus (Kesk-Aasias).

Linast valmistatakse üliõhukest paberit (kondensaatorpaber).

Siidi kasutatakse tänu tema peenusele ja tugevusele elektrimasinate ja -aparaatide valmistamisel nii lõngana kui ka riidena.

Siidi valmistajaks on siidiuss, kes toitub mooruspuu lehtedega. Vastavad siidiussi näärmed eritavad vedelikku, mis kõveneb õhus ja mida uss nukkumisel kerib enese ümber. Kiu koostisse kuulub liimaine seritsiin, mis annab talle (ja nukule) kõvaduse. Seritsiin lahustub kergesti soojas vees, mispärast nukke enne lahtikerimist tingimata leotatakse vees. Nukusiidi pealne kiht keritakse eraldi ja temast valmistatakse halvema kvaliteediga riidet. Mitu peenikest siidikiudu kedratakse lõngaks. Siidi kiu pikkus võib küündida kuni 800 meetrini.

NSV Liidu siididest kasutatakse Kesk-Aasia ja Kaukaasia siidi. Siidlõnga number on 450 meetri lõnga kaal denjeedes (1 denjee = 0,05 g).

Siidriide valmistamise kõrval kasutatakse siidlõnga ka otseseks juhtmete isoleerimiseks (ПШО, ПШД jne.).

Sagedamini kasutatavad lõnga jämedused kuni 0,5 mm läbimõõduga traadi isoleerimiseks on nr. 17 ja 21, mis annavad isolatsiooni paksusega kuni 0,06 mm (läbimõõdu kohta). Traadi läbimõõdu juures 0,03—0,19 mm lõngad nr. 13 ja 11 annavad isolatsiooni paksusega 0,05—0,045 mm.

Viimasel ajal on hakatud senisest suuremal määral kasutama kunstiidi, eriti juhtmete isoleerimiseks, kuna ta on tublisti odavam. Viskoossiidi valmistatakse tselluloosist selle mõjutamisega naatriumleelise ja väävelsüsinikuga. Teda valmistatakse kolme sorti (OCT 8538/HKТП 1689). Peab märkima, et kunstiid on halvemate omadustega kui looduslik siid, ta on hügrokoopsem ning tema hõõrdetegur on väiksem. Viskoossiidist on parem atsetaatsiid.

a) **Riie.** Elektri-isolatsiooni materjalide valmistamisel kasutatakse mitmesugust riidet. Riie koosneb korrapäraselt läbikootud lõngadest. Piki riidet asetatud tugevamat lõnga nimetatakse lõimeks, kuna risti kangast kootud lõnga nimetatakse koeks.

Puuvillastest riietest on laiemalt kasutamisel šifoon, batist, bjass ja mõned teised.

Šifoon on tugev pleegitatud riie. Šifooni paksus on  $0,15 \pm 0,01$  mm, laius 74—100 cm,  $1 \text{ m}^2$  kaal 85—100 g. Tõmbetugevus (laiuse juures 50 mm) lõime suunas on 30 kg ja koe suunas — 24 kg.

Lõnga number on šifoonil 65—85, lõimelõngade arv 55 mm laiuse kohta on 180 ja koelõngade arv sellesama pikkuse kohta 165. Šifooni kasutatakse lakkriide, tekstiilalusega mikalindi ja kompleksisolatsiooni valmistamiseks. Šifooni käsitavad standardid OCT 7442/HKЛП 651 ja OCT 3442.

Batisti kasutatakse neilsamadel juhtudel kui šifoonigi, ta paksus aga on väiksem ( $0,12 \pm 0,01$  mm). Batisti käsitlevad OCT 653, 7253 ja 7486. Teda valmistatakse laiusega 77—91 cm,  $1 \text{ m}^2$  kaal on umbes 65 g. Tõmbetugevus 50 mm laiuse kohta on lõime suunas mitte alla 25,5 kg, koe suunas — 16,5 kg.

Mootorite bandaažide valmistamisel kasutatakse pleekimata bjassi, paksusega umbes 0,40 mm, mille valmistamine on ette nähtud CT 932/ГУХБТ 14. Kasutatakse eranditult immutamatu.

Siidriietest leiab kasutamist õhuke florentiin, paksusega  $0,08 \pm 0,01$  mm, laiusega 49 cm.

Tõmbetugevus 50 mm laiuse kohta on lõime suunas mitte alla 9 kg ja koe suunas — 33 kg. Florentiini tõmbetugevus koe suunas on seega suurem kui lõime suunas, kuigi enamiku riidesortide juures on see vastupidi. Kasutatakse florentiini siidmikalindi valmistamisel. Florentiini normib standard HKЛП 496. Florentiini asendajaks mainitud otstarbeks on mõnikord hinnalt kallim fulaar (OCT 7088). Tema laius on 92 cm, paksus  $0,07 \pm 0,1$  mm. Tõmbetugevus lõime suunas mitte alla 30 kg, koe suunas — 23 kg.

b) **Lakkriie.** Puuvillane lakkriie on A-klassi isolatsiooni üheks põhimaterjaliks. Hele lakkriie valmistatakse CT 13 3188 ГЭП järgi normaalsena (mark ЛН) ja õlikindlana (mark ЛМ). Tema immutamiseks kasutatakse õlilakke, mis annavad elastse ja veekindla katte. Et tagada lakk-katte pidevust ja tihedust, toimub immutamine mitmekordselt.

Lakkriide paksus on 10% tolerantsiga: ЛН — 0,17; 0,20; 0,24 ja ЛМ — 0,24; 0,28 mm.

Tihedus peab olema:

0,17 mm	rühmas	mitte alla	1,15 g/cm <sup>3</sup>
0,20 mm	„	„	1,10 „
0,24 mm	„	„	1,05 „
0,28 mm	„	„	1,01 „

Õlikindla lakkriide happesus ei tohi pärast 72-tunnist transformaatorõlis keetmist 105<sup>0</sup> juures vajada enese neutraliseerimiseks üle

0,4 mg KOH. Riie ise ei tohi pärast seda omada rikkumise tunnuseid.

Lakkriide tõmbetugevus peab olema lõime suunas mitte alla 3 ja koe suunas mitte alla 2 kg/mm<sup>2</sup>. Suhteline pikenemine katkemisel on lõime suunas 6% ja diagonaali mööda (45° all lõimele) kuni 35%. Tg δ on 5 kV/mm juures mark JH — 0,09 ja mark JM mitte üle 0,06.

Läbilöögitugevus ei või olla alla tabelis 21 toodud väärtuste.

Tabel 21.

Mark	Pärast 18-tunnist normaaltingimustes hoidmist		Pärast 18-tunnist kuivatamist 105° juures ja painutamist	Pärast venitamist diagonaali suunas tõmbega 1 kg 1 cm laiuse kohta
	Enne painutamist	Pärast painutamist		
JH	28 kV/mm	20 kV/mm	14 kV/mm	4,5 kV/mm
JM	30 "	25 "	18 "	—

Harilikult lõigatakse lakkriie ribadeks ja paelteks, millega isoleeritakse mähiseid.

Heledat lakkriiet toodab Moskva Elektri-isolatsiooni Tehas ja „Elektrosila” Leningradis.

Elektrimasinate tööstus eelistab tumedat lakkriiet, mis on asfalkiga immutatud. See lakkriie vananeb aeglasemalt, omab suuremat läbilöögitugevust (kuni 70 kV/mm), on elastsem, kuid tema valmistamise tehnoloogiline protsess erineb suuresti tavalisest.

Juhul, kui väikeste mõõdete juures tuleb teostada kõrgepinge isolatsiooni, leiab kasutamist siidist lakkriie. Standard näeb ette kaks siidist lakkriide marki: JIIIH — normaalne ja JIIIБ — bensiinikindel.

Selline jaotus on vajalik, kuna paljud esemed, mille peamiseks isolatsiooniks on lakkriie, immutatakse lakiga, mille lahustiks on bensiin. Harilikul lakksiidi kasutamisel tekib tulise bensiini (kuivamisel) mõjul suur praagi protsent. Eriti kahjulikult mõjub lakkriidele aromaatsete lahustitega (bensool, toluool, ksülool) lakkidega immutamine.

Normaalse lakksiidi paksus on 0,1; 0,12 ja 0,15 mm; bensiinikindlal — 0,12 ja 0,15 mm. Tihedus peab olema vastavalt paksusele mitte alla 0,9—1,05 g/cm<sup>3</sup>.

Margile JIIIБ esitatavaks põhinõudeks on, et lakikiht pärast 4-tunnist 20°-lises bensiinis viibimist ei eralduks riidest.

Tõmbetugevus on lõime suunas 1,2, koe suunas 1,0 ja diagonaali suunas 1,0 kg/mm<sup>2</sup>; pikenemine lõime suunas 20%, diagonaali suunas umbes 40%.

Lakksiidi läbilöögitugevus on suurem kui harilikul lakkriidel; nii on ta normaalse proovimise juures umbes 50 kV/mm, painutus-

kohas — 35 kV/mm ja pärast 18-tunnist kuivatamist 100<sup>0</sup> juures painutuskohas umbes 25 kV/mm.

c) **Lindid ja muud materjalid.** Immutamata linte käsitleb OCT 5610/HK/III 145. Elektrimasinate ehituses on kasutamisel peamiselt taftlint ja kiiperlint.

Taftlindi paksus on standardi järgi  $0,25 \pm 0,02$  mm, tegelikult valmistatakse teda paksusega  $0,20 \pm 0,02$  mm. Laius on 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 ja 60 mm. Tarvitatavad laiused on 20 ja 25 mm. Ainult väga suurte esemete isoleerimiseks kasutatakse laiemaid linte. Tõmbetugevus on:

Laius mm	10	12	15	20	25	30	35	40	50	60
Tõmbetugevus kg	10	13	15	16	18	20	21	25	38	45

Immutamata taftlinti kasutatakse ajutise bandaažlindina kompaundeerimisel ja esemete isoleerimiseks, mis pärast kuuluvad immutamisele. Sektsioonide isoleerimiseks immutatakse lint enne tarvitamist immutuslakiga.

Kiiperlint on taftlindist kaks korda paksem, kasutatakse aga samas ulatuses. Tema paksus on standardi järgi 0,58 mm, tegelikult aga ei ületa 0,40 mm. Laius on 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35 ja 40 mm.

Tõmbetugevus on nende laiuste juures:

Laius mm	10	12	15	20	25	30	35	40
Tõmbetugevus kg	11	18	20	25	30	35	40	45

Kiiperlinti kompaundeeritakse tema kasutamisel veekindla isolatsiooni valmistamiseks. Immutamiseks kasutatakse šellak- või bakeiitlakke.

Ruumi kokkuhoiu otstarbel, eriti väikest tüüpi masinate juures kasutatakse õhemat batistlinti, paksusega 0,16 mm. Valmistatakse ainult 12, 16 ja 20 mm laiuses. Tõmbetugevus on vastavalt 8, 11 ja 13 kg. Kasutatakse ainult ankru sektsioonide valmistamisel.

Mitkaallint on kõige vähem kasutatav. Teda valmistatakse paksusega 0,18 mm ja laiusega 12, 16, 20, 25, 30 ja 35 mm.

Praktikas kasutatakse laialdaselt nn. montaažlinte. Neist on levinumad ühe- ja kahekülgsed kummeeritud lindid.

Ühekülgne kummeeritud lint valmistatakse OCT 1443 järgi mitkkaalist laiusega  $12 \pm 1$  mm ja läheb välijuhtmete isoleerimiseks. Tema tõmbetugevus on mitte alla 4 kg laiuse cm kohta ja teda toodetakse rullides läbimõõduga 150 mm.

Kahekülgset linti (OCT 399) toodetakse laiusega 10, 15, 20 ja 50 mm samasuurtes rullides. Keskmine paksus on 0,25 mm. Tõmbetugevus — mitte alla 4 kg laiuse cm kohta.

Kaablite ja juhtmete sisseviigikohtade ja ühendusmuhvide tihendamiseks kasutatakse tõrvalinti, mis valmistatakse mitkkaalist ja immutatakse bituumenlakkidega. Paksus  $0,6 \pm 0,1$  mm, laius — 15, 25, 40, 50 ja 75 mm. Tõmbetugevus — mitte alla 6 kg laiuse cm kohta. Müügil on ta rullidena. Selle lindi kleepuvus on väiksem kui kummeeritud lindil. Ühe kihi läbilöögitugevus peab olema mitte alla 2,5 kV.

Puuvillane sukk valmistatakse vahenditult juhtmel või ka eraldi abimaterjalina madalapingeliste masinate sektsioonide otste jaoks. Teda valmistatakse punase, kollase ja roheline värvusega, otste äravahetamise vältimiseks. Sisemised läbimõõdud on 1,5, 2, 4, 6, 10 ja 12 mm. Tõmbetugevus on 13—50 kg, kaal 1—3,3 g/m.

Linoksiintorud on suurel määral kasutamisel elektrimasinate ja -aparatuuride tootmisel. Olles heade elektriliste omadustega, on linoksiintoru elastne ja annab skeemile nägusa välimuse. Saadakse teda puuvillsukast heledate lakkidega immutamise teel. Torude pikkus ei ületa 0,9—1,0 m. Toru läbilöögitugevus peab olema 2 kV.

## 47. Paber.

Paberi ja papi toormaterjalina kasutatakse linase ja puuvillase riide jäätmeid pehmete sortide või puitmassi kalgimate ja tugevamate sortide jaoks.

Jäätmete ettevalmistus. Jäätmed sorditakse, puhastatakse tolmust, raiutakse peeneks ja laotakse katlasse. Seal keedetakse neid rasvast vabastamiseks seebikivi lahuses. Keetmine toimub 3,5—4 atü. rõhu all 11—17 tundi. Keedukatlast lähevad jäätmed erilisse pesesse, kus nad vabanevad leelise jälgedest. Pesemine teostub kiu kontsentratsiooni juures 3,5%. Pesemas kõrvaldatakse ka juhuslik liiv. Pesemine vältab 3—4 tundi.

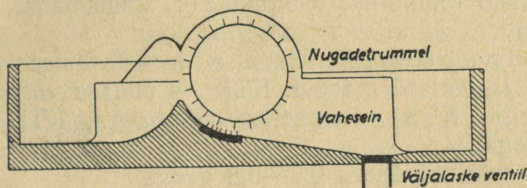
Pesemise järel läheb kiud paberiveskisse, kus toimub massi jahvatamine kontsentratsiooni juures 3,5%. Sageli segatakse saadav produkt püütselluloosiga.

Puidu töötlemine. Puhta tselluloosi saamise ja talle kõvadust andvate ja rabedaks tegevate ainete kõrvaldamise otstarbel puitu

keedetakse. Keetmine toimub kas happelises (sulfiitmenetlus) või leelises (natroon- ja sulfaatmenetlus) keskkonnas. Okaspuitu on otstarbekohane keeta leelises keskkonnas.

Puidu ettevalmistus keetmiseks seisneb tema peenendamises ja sortimises. Sorditud puidulaast laetakse katlasse, tihendatakse seal, valatakse happe või leelise lahus peale; seejärel katel suletakse ja lastakse temast auru läbi.

Sulfiitmenetluse juures toimub keetmine 8—25 tundi, järk-järgulise temperatuuri tõstmisega astmetena 115—125—135—145°. Sulfaat-



Joon. 68. Hollendri skeem.

menetlusel toimub keetmine 8—9 atü rõhu all 5—6 tunni jooksul (173° juures). Katlast juhitakse tselluloos sõeltele, kus toimub pesemine. Pesemisel mass vabaneb ka sissejäänud mehaanilistest lisanditest, nagu oksatükkidest, liivast jne.

Pärast keetmist toimub paberimassi jahvatamine hollendris. Joon. 68 on toodud hollendri skeem. Hollender kujutab enesest nõud, mille sisse on pandud tiirlema silinder. Silindri seina külge on teatud nurga all kinnitatud noad. Nurgi neile nugadele on nõu seinte külge kinnitatud liikumatud noad. Silindri tiirlemisel teostub kiudude peenendamine. Kui silinder on paigutatud nõu seinale hästi ligidale, siis saame lahja massi, on ta aga eemal — rasvase massi. Esimesel juhul kiud peenendatakse lühikesteks tükikesteks, teisel juhul aga toimub ainult kiu peenemaiks kiududeks hõõrumine. Paberi omadused olenevad suurel määral peenendamise astmest, mille juures on kriteeriumiks kiu pikuse ja läbimõõdu suhe. Mida peenem on kiud, seda suuremat pinda omab mass samasuure kaalu juures, mis tõstab suuresti paberi tugevust.

Hollandrisse segatakse jahvatamise ajal juurde ka kõik paberi valmistamiseks vajalikud lisandid, selle hulgas vajaduse korral ka paberiliim (kampil). Jahvatamise kestuseks on 1,5—24 tundi. Isolatsioonipaberi valmistamisel liimainet ei kasutata, mõnede papisortide juures aga on ta vajalik. Kuna jahvatamisel on oluline tähtsus paberi vajaliku kvaliteedi saamisel, siis ta on tootmise vastutavamaks etapiks.

Paberi valmistamine. Hollendrist antakse vedel paberimass pideva joana filterlindile, mille all tekitatakse vaakuum, mistõttu vesi lahkub kiiresti tselluloosist. Seejärel lint koos paberiga läbib valtsid, kusjuures valtsi kattev kalev võtab paberi enese külge. Edasi läheb paber üle soojendussilindrite. Vajaduse korral lastakse paber veel läbi lihvitud valtsipaari, mis annab talle vajaliku sileduse.

Isolatsiooniks kasutatavat paberit ei pleegitata, kuna see võib jätta paberisse teatud hulga elektrolüüti ja vaba kloori.

Sulfaatpaber on elektrotehnilises tööstuses suure eduga kasutatav oma tugevuse, soojuskindluse ja immutatavuse tõttu. Sulfaatpaberi sortidest väärivad mainimist telefonipaber, kaablipaber, immutuspaper ja mähkimispaber.

Telefonipaber valmistatakse leelistselluloosist. OCT 6272 järgi esinevad järgmised margid: KTK — punase värvusega, KTC — sinise värvusega, KT3 — rohelise värvusega, KTH — loomuliku (liiva-) värvusega.

Tihedus on telefonipaberil 0,7—0,8 g/cm<sup>3</sup>.

Tõmbetugevus piki rulli — 5,4 kg, risti rulli — 2,0 kg (15 mm laiuse kohta).

Telefonipaberit kasutatakse sidejuhtmete isoleerimiseks. Ta peab olema valmistatud rasvasest paberimassist ja tema dielektriline läbitavus peab olema väike. Telefonipaberit (KTH) kasutatakse sageli alusena mikalindi valmistamisel, millele kleebitakse vilgukivi.

Kaablipaberit (OCT 6321) valmistatakse kolme marki: KH-12, KB-12 ja KB-17 (KH — madalpinge paber, KB — kõrgepinge paber, 12 ja 17 — nimipaksus sajandikkudes mm) ja teda valmistatakse samades värvitoonides nagu telefonipaberit. Selle paberi põhiomadused on kokku võetud tabelis 22. Dielektriliste kadude vähendamise otstarbel valmistatakse kaablipaber lahjast paberimassist.

Tabel 22.

Omadused	KH-12	KB-12
Paksus mm . . . . .	0,12±0,01	0,12±0,007
Erikaal mitte alla . . . . .	0,75	0,78
Tõmbetugevus kg 15 mm laiuse kohta:		
piki linti mitte alla . . . . .	12,0	14,5
risti linti " " " " . . . . .	4,8	5,8
Pikenemine katkemisel %%:		
piki linti . . . . .	2	2
risti linti . . . . .	5	5

Kaablipaber lõigatakse kaablitehastes lintideks ja keritakse rullidele, selliselt läheb ta isolatsiooni mähkimise pinkidele. Paber peab

olema piki linti suure mehaanilise tugevusega, mis garanteerib, et isolatsiooni mähkimisel ei teki ohtlikke tühemikke — kõrgepinge kaablite ioniseerimise koldeid. Sama sihiga on selle paberi paksuse tolerants väiksem.

Peale mähkimist immutatakse paberisolatsioon õliga või mõne muu seguga.

Lubatav elektrivälja tugevus on õliga immutatud paberisolatsiooni jaoks 2—4 kV/mm.

Viimasel ajal kavandatakse uut kaablipaberi kasutamise võimalust kõrgepinge generaatorite (kuni 36 kV) sektionide isoleerimiseks, mis töötaksid õlis.

Getinaksi plaatide valmistamiseks kasutatakse immutuspaberit (OCT 8144/HKJlec 123). Tema omadused: paksus  $0,12 \pm 0,01$  mm, tihedus  $0,55 \pm 0,05$  g/cm<sup>3</sup>, niiskus 7%, tuhasisaldus 1,0%.

Tõmbetugevus piki linti 3,5 kg, risti linti 1,7 kg (15 mm laiuse kohta). Läbilöögitugevus normaalse niiskuse juures — mitte alla 5 kV/mm.

Getinakstorude ja silindrite valmistamiseks kasutatakse mähkimispaberit (OCT 8143/HKJlec 122). Tema omadustest märgime: paksus  $0,07 \pm 0,005$  mm, tihedus  $0,75 \pm 0,05$  g/cm<sup>3</sup>, niiskus 7%, tuhasisaldus 1,0%, tõmbetugevus piki linti 4,5 kg ja risti linti 2,7 kg (15 mm laiuse kohta), läbilöögitugevus normaalse niiskuse juures — 8 kV/mm.

Immutuspaber valmistatakse rasvasest paberimassist, et suurendada tema immutusvõimet, seetõttu on ta väikese tihedusega. Mähkimispaber valmistatakse rasvasest massist ja tema tihedus on eelmisest palju suurem.

Sulfaattselluloos kannatab hästi seda kõrget temperatuuri, mida kasutatakse kiht-isolatsiooni valmistamisel.

Kondensaatoripaber, mark KC (OCT 7880/HKJlec 105), valmistatakse pleegitud linase riide jäätmeist. Mass peab olema väga rasvase jahvatusega ja peab olema vaba lisanditest, eriti kloori jälgedest.

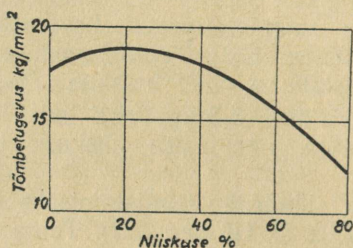
Varemalt kasutati seda paberit ainult nõrkvoolu-tehnikas kondensaatorite valmistamiseks, viimasel ajal aga läheb ta ka õliga täidetud kondensaatorite valmistamiseks, mida kasutatakse  $\cos \varphi$  parandamiseks, autode ja traktorite elektriseadmetele ja röntgeniaparatuuri jaoks.

Kondensaatoripaberit valmistatakse viies paksuses: 10, 12, 15, 22 ja 24 mikronit. Tihedus on 0,9—1,0 g/cm<sup>3</sup>. Tõmbetugevus piki linti — 1,0 kg 15 mm laiuse kohta, tuhasisaldus 0,8%, niiskus 7,0%. Augukeste arv läbimõõduga kuni 20 mikronit mitte üle 3 10-ruutsentimeetrisel pindalal kohta. Läbilöögitugevus mitte alla 300 V 10-mikronisel ja mitte alla 425 V 22-mikronisel paberil.

Praegu käivad NSV Liidus katsed kondensaatoripaberi valmistamiseks sulfaattselluloosist; välismaal on see tooraine juba kasutamisel ja tema omadused on kõrgemad kui linasel paberil.

Jaapani paber on kõigest teistest paberitest pehmem ja oma väikese paksuse juures küllaltki tugev, tal on omadus gaase läbi lasta. Viimane omadus on eriti kasulik mikalintide valmistamisel, kuna siis ei ole karta õhumullikeste tekkimist.

Seda paberit valmistatakse ainult Jaapanis, seal kasvavate puude midzumato ja kodzomato kiududest, mis on õige pikad ja peenikesed.



Joon. 69. Kaablipaberi tõmbetugevuse olenevus õhuniiskusest.

Tema asendamise küsimus on väga terav. NSV Liidus kavatakse jaapani paberi asendajat hakata valmistama pikakiulisest egiptuse puuvillast, mis kasvab Kesk-Aasia nõukogude vabariikides.

Jaapani paberit kasutatakse ainult mikalintide valmistamisel. Tema üheks iseärasuseks on see, et ta on märgatava tugevusega ka märjas olekus, mis on eriti tähtis mikalindi valmistamisel konveieril. Teised paberid on niiskes olekus palju väiksema mehaanilise tugevusega kui kuivalt (joon. 69). Jaapani paberit valmistatakse laiusega 45 ja 90 cm.

Paksus  $0,025 \pm 0,005$  mm, tõmbetugevus piki linti 2,5 kg ja risti linti 0,3 kg 15 mm laiuse kohta. Asfaltlakiga niisutatud paberi tugevus on 50% kuiva paberi tugevusest.

Elektrotehnilise terase lehtede isoleerimiseks pöörivoolude vähendamise otstarbel kasutatakse sulfiitset kleepimis-paberit (OCT 4876). Tema paksus on  $0,03 \pm 0,005$  mm, tõmbetugevus piki linti 1,5 kg 15 mm laiuse kohta, niiskus 6–8%. Sel paberil on üks külgsile.

Bergmantorude valmistamiseks kasutatakse tihedat peenikeste pooridega eripaberit (OCT 4877), mida immutatakse vaikudega.

Paberi immutamisel elastset katekihti andvate lakkidega saadakse lakkpaber analoogiliselt lakkriidele. Väikeste masinate ja aparatuuride jaoks valmistatakse välismaal sulfaatpaberit paksusega 0,09–0,13 mm,

mis on heleda õilakiga immutatud. Tema läbilöögitugevus on umbes 10 kV. On tarvilusel veelgi õhem lakkpaber (0,025—0,05 mm). Lakkpaber annab väiksema isolatsioonipaksuse kui lakkriie.

Viimasel ajal on üles kerkinud lakkpaberi kasutamise võimalus eriliiki jõukaablite valmistamisel lakkriide asemel.

#### 48. Papp.

Paberkaupade klassifitseerimise standardi OCT 8592/HKЛec 147 järgi kuuluvad elektri-isolatsiooni papid klassi Ж. See klass sisaldab järgmisi papi liike: presspaan, transformaatori õlipapp, pressbord ja literoid.

Mitmekihiliste pappide valmistamine toimub papimasinatel ja võrktrumlitel. Trumli külge jäänud märg paberimass eraldatakse sealt vildi abil ja juhatakse formaatvaltsile, kus moodustub pappsilinder. Viimane lõigatakse piki moodustajat lõhki ja läheb pressi alla vee eraldamiseks. Kuna papp ka pärast seda sisaldab 50—60% vett, jätkatakse kuivatamist kuivatis. Õhukest pappi kuivatatakse kuuma vildiga kaetud trumlitel.

Pärast kuivatamist lastakse uuesti-niisutatud papp suurema sileduse saamiseks 2—5 korda kuumade valtside vahelt läbi.

Ainukeseks kodumaiseks elektrotehnilise papi tootjaks on tehas „Proletari” Surazis. Seal valmistatakse ainult kahte esimest papi-sorti, pressbordi ei valmistata ja literoidi eranditult imporditakse.

NSV Liidus valmistatavaid elektrotehnilisi pappe jagatakse kahte liiki:

- 1) õhu käes töötav papp ja
- 2) õlis ja õhu käes töötav papp.

Esimene liik jaguneb vastavalt papi valmistamisel kasutatud kompositsioonile markidesse ЭВ (tselluloospresspaan ja kaltsutselluloospresspaan) ja ЭВТ (elektrotehniline kaltsupapp).

Teine liik jaguneb kompositsioonilt samadesse markidesse, indeksiteks aga on ЭМ ja ЭМТ.

Mark ЭВ annab kõva papi, mark ЭМ — pehme.

Presspaani valmistatakse läikiva, sileda või mati pinnaga, aga ka nõrga glasuuriga.

Presspaani mark ЭВ, paksusega 0,1—0,3 mm, liimitakse kampo-  
liga.

Presspaan mark ЭМ, paksusega üle 0,8 mm, toodetakse liimimata-  
tult ja temalt nõutakse, et ta 24-tunnise transformaatorõlis keetmise  
järel 100—105° juures ei jaguneks kihtidesse. Nimipaksuse juures  
0,1—0,5 mm toodetakse teda lehtedes ja rullides, suurema paksuse  
puhul ainult lehtedes (paksusega 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 mm).

Presspaan mark ЭВ, paksusega kuni 0,4 mm, valmistatakse segust, mis sisaldab 50% kaltsutselluloosi ja 50% pleekimata sulfaatselluloosi; paksusega 0,45—0,50 mm — 100% sulfaatselluloosist ja paksusega üle 0,5 mm — 100% pleekimata sulfiitselluloosist.

Selle presspaani tehnilised omadused on järgmised:

Tabel 23.

Paksus mm	Tõmbetugevus			Paksus mm	Läbilöögitugevus			
	0,1—0,5	0,8—2,0	2,5—3		0,1—0,3	0,35—0,50	0,8—2,0	2,5—3,0
Piki kg/mm <sup>2</sup>	7	6	5	Painutamata kV/mm	12	11	10	9
Risti „	3,3	3	2,5	Painutatult kV/mm	7	6	5,5	5

Tihedus mitte alla 1,15 g/cm<sup>3</sup>. Tuhasisaldus 1,5—2,5%, vastavalt liimimisastmele. Niiskusesisaldus 8%.

Presspaani mark ЭВ kasutatakse elektrimasinate tootmisel vahekihina ja poolikeha materjalina elektriaparatuuride ehitamisel.

Harilikult enne kasutamist, kuid pärast väljalõikamist immutatakse presspaan kuivavates õlides.

Presspaan mark ЭМ, paksusega kuni 0,4 mm, valmistatakse segust, mis sisaldab 50% kaltsutselluloosi, ülejääk sulfaatselluloos; paksusega üle 0,4 mm — ainult sulfaatselluloosist.

Selle presspaani tihedus on 0,9—1,1 g/cm<sup>3</sup>, tõmbetugevus piki kiudu — 6 kg/mm<sup>2</sup>, risti kiudu — 2,5 kg/mm<sup>2</sup> (erandina on paksustel 0,8; 1,0; 1,5 ja 2,0 mm tõmbetugevuseks risti kiudu 3 kg/mm<sup>2</sup>). Tuhasisaldus — mitte üle 1,25%. Läbilöögitugevus mitte alla 10 kV/mm. Kuumas õlis (90°) peab läbilöögitugevus ulatuma järgmiste suurusteni:

mm	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
kV/mm	44	33	31	26	23	21	18

Seda pappi kasutatakse eranditult transformaatorite tootmisel.

Presspaan mark ЭВТ valmistatakse ainult uutest puuvillastest kaltsudest, tema paksuseks on 0,1—0,5 mm. Seda presspaani kasutatakse elektrimasinate nuutide isolatsiooniks ja selle tõttu peab ta ka painutatuna säilitama oma elektrilised omadused.

Tihedus on mitte alla 1,0 g/cm<sup>3</sup>, tõmbetugevus piki kiudu 9 kg/mm<sup>2</sup>, risti kiudu 3,5 kg/mm<sup>2</sup>, tuhasisaldus 1%, niiskus 2%.

Läbilöögitugevus pärast kuivatamist 13 kV/mm ja pärast painutamist 8 kV/mm.

Marki ЭМТ kasutatakse vastutavail kohtadel ja transformaatorite ehitamisel. Valmistatakse teda seitsmest kompositsioonist mis BT. Tihedus on 0,9—1,1 g/cm<sup>3</sup>, tõmbetugevus piki kiudu 7 kg/mm<sup>2</sup> paksuse juures kuni 0,5 mm ja 6 kg/mm<sup>2</sup> suuremate paksuste juures; risti kiudu vastavalt 2,5 ja 3,0 kg/mm<sup>2</sup>. Tuhasisaldus on 1,0%. Läbilöögitugevus pärast kuivatamist 11 kV/mm ja pärast painutamist 7 kV/mm paksustele kuni 0,5 mm.

#### 49. Fiiber.

Fiibri valmistamiseks lastakse 60° temperatuuriga kloortsingi lahusest läbi vanadest puuvillakaltsudest valmistatud liimimata paber (sageli on kaltsutselluloosile juurde lisatud ka puittselluloosi), keritakse see vasktrumliile ja tihendatakse kummist rulliga. Vajaliku paksusega mass lõigatakse moodustaja suunas lõhki, võetakse trumliilt maha ja laotakse hunnikusse. Lehed jäetakse õhu kätte ööpäevaks või kauemaks (vastavalt paksusele) edasise pergamenteerimise ja „valmimise“ otstarbel, mis suurendab fiibri tugevust.

Pärast seda pestakse liigne kloortsink välja, milleks fiibri lehti leotatakse betoonanumates — difuursorites, milles on mitmesuguse kontsentratsiooniga kloortsingi lahused. Viimaste kontsentratsioon väheneb järk-järgult, kuni viimases anumast on puhas leige vesi. Pärast seda lehed pestakse vee-joas ja kuivatatakse erilistes kuivatites 1—2 ööpäeva, kus nad tugevasti kõmmelduvad. Pärast kuivatamist seepärast niisutatakse neid sooja veega ja pressitakse hüdraulilistes pressides 110° juures, töödeldakse kuumades kalandrites ja lõigatakse kandidid täisnurkseks. Fiiberpulgad saadakse lehtfiibrist välja lõigatud ruudulise põiklõikega tükkide treimise teel.

Difuursorites leotamise kestus on mitmesugune, paarist päevast kuni kahe aastani, olenevalt fiibri paksusest.

Fiibertorud valmistatakse kloortsingiga töödeldud paberi kerimisega metallvarvale. Praegu toodetakse NSV Liidus lehtfiibrit paksusega 20—25 mm ja lehtede suurusega 1000 × 1500 mm ning fiibertorusid igas soovitavas välimises läbimõõdus, sisemine läbimõõt võib olla alates 6 mm, seinapaksus — mitte üle 0,4—0,5 sisemisest läbimõõdust. Fiibri värvus oleneb tema valmistamiseks võetud paberi värvusest (punane, must, hall).

Fiiber on suure mehaanilise tugevusega, rahuldavate elektriliste omadustega (kuivas olekus), mehaaniliselt hästi töödeldav (lõigatav, saetav jne.), vormitav pärast soojas vees leotamist, stantsitav (paksu-

sega kuni 6—8 mm). Fiibri puuduseks on tema suur hügroskoopsus ja kõmmeldumine ümbritseva õhu vahelduva niiskuse mõjul. Fiibri omadused: erikaal 1,1—1,4 (suurema erikaaluga fiibril on paremad mehaanilised ja elektrilised omadused), vett imeb sisse 20—60%, niiskus 8—10%, soojuskindlus 100°, läbilöögitugevus 2—6 kV/mm.

Literoid on õhukese lehtfiibri teisend, tema tihedus on 1,2 g/cm<sup>3</sup>, niiskus 8%, tuhasisaldus 2%, tõmbetugevus pikuti 7 kg/mm<sup>2</sup>, risti 4 kg/mm<sup>2</sup>, läbilöögitugevus 8—10 kV/mm.

0,1—0,5 mm paksust literoidi kasutatakse immutatuna suure soojenemise jaoks elektrimasinate nuutide isolatsiooniks.

## 50. Puit.

Puitu kasutatakse laialdaselt konstruktsiooni- ja isolatsioonimaterjalina.

Puit koosneb tselluloosist, ligniinist, mitmesugustest vaikudest, rasvadest, vahadest, sooladest jne. ja suuremast või väiksemast hulgast veest.

Puu tüvi koosneb terveist reast kõvaseinalistest kapillaaridest, mis on suunatud piki tüve.

Puu tüve ehitus on selgesti näha tüve põiklõikes. Harilikult on sisemine puuosa teise värvusega kui väline, koorealune osa. Vahe on ka nende füüsikalistes omadustes. Koorealust puitu nimetatakse maltspuiduks, südame läheduses asuvat puitu lülipuiduks.

Lülipuit on ealt vanem, sisaldab surnud rakke, millesse on korjunud mineraalaineid, parkaineid, vaiku jm. Tema veesisaldus on enamiku puusortide juures väiksem kui maltspuidul.

Puit on üldiselt heade mehaaniliste omadustega. Seda võime eriti piltlikult näidata, kui võtame arvesse puidu kergust. Nii on männi paindetugevus 300 kg/cm<sup>2</sup> tiheduse juures 0,5 kg/dm<sup>3</sup>, jalakal on see 1500 kg/cm<sup>2</sup> tiheduse juures 0,2 kg/dm<sup>3</sup>, samal ajal aga terase paindetugevuseks võime lugeda 4500 kg/cm<sup>2</sup> tiheduse juures 7,8 kg/dm<sup>3</sup>. On täiesti selge, et puidu tugevus on terase tugevusest palju suurem, kui arvestame seda kaaluüksuse kohta.

Puidu mehaanilised omadused on eri suundades erisugused, mida tuleb konstruktsiooni juures arvestada. Puidu tugevus on piki kiudu 3—6 korda suurem kui risti kiudu.

Puit on piki kiudu väikese nihketugevusega, mis moodustab ainult  $\frac{1}{7}$ — $\frac{1}{10}$  survetugevusest risti kiudu.

Kõige vastupidavam piki kiudu on puit tõmbele. Tõmbetugevus on 5—10 korda suurem survetugevusest samas suunas. Tõmbejõu

rakendamine on ometi alati seotud proovikeha otsade koormamisega survele või nihkele, mis neid tugevasti nõrgestab. Risti kiudu on tõmbetugevus 10—30 korda väiksem kui piki kiudu (purunemisel on tegemist peamiselt kiudude üksteisest eraldamisega, aga mitte katkemisega).

Vaigupesad, oksad, praod, mädanikud jne. vähendavad ja mõnikord muudavad nulliks puidu tugevuse. Me ei peatu pikemalt puidu vigade juures; nende kohta on olemas laialdane kirjandus, puidu vigade kohta kehtib üleliiduline standard.

Suurt mõju tugevusele avaldab puidu niiskus. Normaalse niiskuse juures esineva tugevuse tuletamiseks 8—20% niiskuse juures määratud tugevusest võib kasutada järgmist valemit:

$$K_{15} = K_B [1 + a(B - 15)],$$

kus  $K_{15}$  ja  $K_B$  on tugevused 15% ja  $B\%$  juures, kuna  $a$  on täiendus-tegur.

Väga oluline on märkida, et raskemad puusordid on ka mehaaniliselt tugevamad. 15% niiskuse juures on tugevuse arvutamiseks kasutatav järgmine empiiriline valem:

$$C = 1400 \cdot \gamma - 580 \text{ kg/cm}^2,$$

kus  $C$  on survetugevus  $\text{kg/cm}^2$ ,  $\gamma$  — erikaal. Puidu erikaal harilikult kõigub piirides 0,35 — 0,8 (15% niiskuse juures). Puitmassi kui aine erikaal poorisid arvestamata on 1,55.

Mõnede puuliikide erikaal tõuseb kuni 1,0, ta isegi võib olla veelgi kõrgem eriti suure mehaanilise tugevusega puuliikide juures (bakauut).

Tabelis 24 on toodud mõnede puiduliikide erikaalud ja tugevused.

Tabel 24.

Puiduliik	Erikaal	Survetugevus paralleelselt kihtidele $\text{kg/cm}^2$	Tõmbetugevus $\text{kg/cm}^2$		Paindetugevus risti kihtidele $\text{kg/cm}^2$
			piki kiudu	risti kiudu	
Saar	0,75	550	1170	620	980
Valge pöök	0,74	590	—	—	1100
Pöök	0,71	380	1050	630	660
Kask	0,65	560	1070	520	860

Antud puidusordi tugevuse suurenemine esineb ka erikaalu kunstliku suurendamise puhul pressimise teel.

Puidu soojusjuhtivus suureneb koos temperatuuriga, ta on suurema erikaaluga puidu juures suurem (lineaarne olenevus). Soojusjuhtivus on kõige suurem aksiaalsuunas, radiaalsuunas on ta väiksem ja tangentsiaalsuunas veel väiksem (analoogiliselt veejuhtivusele).

Puidu joonpaisumise koefitsient on piki kiudu  $2 \cdot 10^{-6}$  —  $1 \cdot 10^{-6}$  iga temperatuuri kraadi kohta, risti kiudu  $3 \cdot 10^{-5}$  —  $6 \cdot 10^{-5}$ .

Puit on nagu teisedki kiudained suurel määral hügrokoopne. See asjaolu on puidu kui elektri-isolatsiooni materjali suureks puuduseks ja sunnib omaduste tõstmise otstarbel ette võtma tema immutamist õlidega, parafiiniga, lakiga, bituumeniga jt.

Puidu niiskus on temas sisalduva vee kaalu ja absoluutkuiva puitmassi kaalu suhe.

Kasvava puu niiskus kõigub võrdlemisi suurtes piirides: 30—250%. Okaspuudel on lülipuu niiskus 30% ümber, s. o. küllastuspiiril, maltspuul — 100—150%.

Lehtpuudel on niiskus 60—200%, enamikul maltspuus suurem kui lülipuus.

Puidu niiskuse juures alla küllastuspiiri (30%) esineb kindel olendus niiskuse ja eritakistuse vahel: niiskuse suurenemisel 1% võrra suureneb eritakistuse logaritm 80%. Selle nähtuse kasutamisele on rajatud aparaadid, mis määravad kiirelt ja küllaldase täpsusega puidu niiskust tema elektrilise takistuse järgi.

Puidus võib vesi olla rakukeste sisemuses, olles sinna nagu vabalt valatud („vaba vesi“), võib asuda rakukeste seinte kiudude vahel ultramikroskoopiliste kihikestena („seotud vesi“) ja olla puidumassiga keemiliselt seotud.

„Vaba vee“ olemasolu rakukeste sisemuses näitab seda, et rakukeste seinad sisaldavad maksimumi vett, mida nad sisaldada suudavad. Vaba vee hulga muutumine ei too enesega kaasa puidu füüsikaliste (peale kaalu) ja mehaaniliste omaduste muutumist.

Olukorda, kus rakuke sisaldab maksimumi seotud vett, kuid vaba vett ei ole ja edasise kuivatamise juures auruv vesi peab tulema juba rakukese seintest, nimetatakse küllastuspunktiks.

Puidu niiskuse suurenemisel väheneb pidevalt tema mehaaniline tugevus kuni küllastuspunktini; edasine niiskuse suurenemine ei mõjuta enam tugevust. Seda tunnusmärki arvestades on võimalik määrata küllastuspunktile vastavat niiskust, kui määrata survetugevust mitmesuguse niiskusega proovidel. Harilikult asub küllastuspunkt 25—30% niiskuse juures.

Seotud vee kõrvaldamine puidust on palju raskem kui vaba vee kõrvaldamine, selle tõttu on kõrge küllastuspunktiga puidu kuivatamine raskendatud.

Veesisalduse muutumine ülalpool küllastuspunkti ei mõjuta puidutüki mõõteid, niiskuse muutumine allpool küllastuspunkti aga kahandab või paisutab rakukeste seinu, mistõttu ka mõõted muutuvad.

Puidu kahanemine kuivamise tõttu on mahuline ja lineaarne, kusjuures lineaarne kahanemine esineb kolmes suunas — aksiaalses (piki

puu telge), tangentsiaalses ja radiaalses. Kahanemise maksimaalse suuruse saame niiskuse vähendamisel kiudude küllastuspunkti kuni absoluutkuiva olukorrani. Kahanemise maksimaalne suurus on

$$\frac{P_1 - P_2}{P_2},$$

kus  $P_1$  on lineaarmõõt (või maht) enne kuivatamist,  $P_2$  — sama pärast kuivatamist. Mittetäielikul kuivatamisel loetakse kahanemine võrdeliseks niiskuse vähenemisega: kasutatakse kahanemise tegurit, s. t. kahanemist protsentides, mis vastab niiskuse vähenemisele 1% võrra.

Aksiaalsuunas on kahanemine üldiselt väike, tangentsiaalsuunas on ta umbes 2 korda suurem kui radiaalsuunas.

Kahanemine püsib mitmesuguste puiduliikide juures järgmistes piirides:

Aksiaalkahanemine	0,1— 0,3%
Radiaalkahanemine	2,1— 8,2%
Tangentsiaalkahanemine	4,2—14,3%
Mahukahanemine	7,7—19,9%
Mahukahanemistegur	0,2— 0,75%

Erinevates suundades erineva kahanemise tulemusena toored laud kuivamisel kõmmelduvad, kaarduvad jne.

Mida kaugemalt südamest on lõigatud laud, seda suuremal määral ta kõmmeldub; laud, milles asub puusüda, ei kõmmeldu, kuna kahanemine on sümmeetriline.

Vee hulk, mida võib sisaldada puit, oleneb tema erikaalust. Nagu eelpool öeldud, on puitmassi kui aine erikaal 1,55; selge on, et omades sellise erikaaluga puitu, võime öelda, et kogu maht on täidetud puukiududega ja veel ei ole seal enam ruumi.

Kuivatamine on protsess, mille abil puidust eemaldatakse suurem või väiksem hulk vett; kuivatamisel ei ole tähtis kindla vee hulga kõrvaldamine, vaid puidu omaduste kindel muutmine.

Kuivatamise eesmärgiks on:

- mädanemise vältimine,
- kaalu vähendamine (tähtis transpordil),
- järgnevate deformatsioonide vähendamine (kõmmeldumine jne.),
- mehaanilise tugevuse tõstmine,
- kasutamise suurendamine,
- süttimise kergendamine ja kütteväärtuse tõstmine (puidu kasutamisel kütusena),
- soojusjuhtivuse vähendamine,
- elektrijuhtivuse vähendamine (eriti tähtis elektrotehnikas),
- värvitavuse parandamine,
- liimitavuse suurendamine.

Nii osutub puidu kuivatamine kasulikuks kõigil tema kasutamise juhtudel.

Tarvitusel on kaks kuivatamise viisi: õhus kuivatamine (loomulik kuivamine), kus virnadesse laotud lauamaterjal, kaitstuna vihma eest, kuivab tuule ja päikese soojuste mõjul, ja kamberkuivatus (kunstlik).

Teise viisi juures saame luua meile vajalikke kuivamise tingimusi soojendamise, õhuliikumise ja niiskuse osas, mistõttu teda tuleb eelista kui tehniliselt täiuslikumat. Ainult seda viisi tuleb kasutada suurtes ettevõtetes, mis garanteerib kuivatatud puidu kõrget kvaliteeti ja praagi miinimumi.

Õhu käes hoidmisel omandab puit teatud aja jooksul „püsiva niiskuse”, mis on õhu temperatuurist ja niiskusest.

Tubastes tingimustes on puidu püsivaks niiskuseks 10%. Materjali, mis töötab tulevikus teatavates kindlates tingimustes, tuleb kuivatada nendes tingimustes valitseva niiskusega, et vältida järeлкуivamist.

Puidu mädanemise vältimiseks pikemaajalises õhu käes seismisel on tarvis, et tema niiskus ei ületaks 20%.

Ükski puidu katmiseks kasutatav kattekiht, nagu õlid, vahad, lakid, pulveriseeritud metallid jne., ei ole absoluutseks kaitseks niiskuse sissetungimise vastu. Need kattekihid ainult vähendavad suuremal või väiksemal määral seda sissetungi.

Lühiajalise niisutamise juures, nagu vihma kätte sattumisel, niiskub saematerjal väga väikeses sügavuses (millimeetri osa) ja kuivab pärast kiiresti.

Üsna tähtsad on puidu töötlemise küsimused pressimise teel, mis parandab puidu omadusi ja võimaldab odavate esemete massilist tootmist.

Puidu niiskumisel mahu suurenemist teostavad paisumise surved on õige suured. Ka üsna väikese tugevusega paju paisumise surve on 15 at. Kuivast puidust kiil, mis on löödud kaljupraosse, on suuteline järgneva niisutuse ajal lõhestama graniiti.

Puidu rakukeste struktuuri muutumist (kiu rakukeste ümberasetust) ei esine ka 35 000 at rõhu juures, niisutamisel omandab puit oma endise kuju.

Nii ei anna puidu otsene pressimine tulemusi. Puidu „plastifitseerimise” võimalused põhinevad tema soojuselisel või keemilisel töötlemisel või nende viiside üheaegsel kasutamisel.

Puidu üheaegne mõjutamine soojuse ja survega („piesotermiline protsess”) plastifitseerib teda.

Puidu igasuguse keemilise töötlemise juures plastifitseerimise otsustavaks on kasulik teda peenendada, kuna plastifitseerimise protsessid on pinnalised protsessid (adsorptsioonilised) ja väikestel puidu osakestel on loomulikult suurem kogupindala kui suuritel tükkidel.

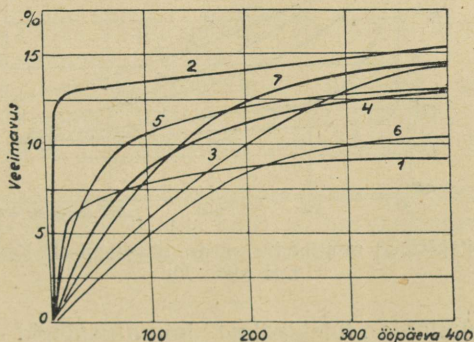
Presspuidu (presswood, lignostoon) valmistamisel immutatatakse puitu raskete metallide sooladega, suhkruainetega või hüdrolüüsitakse mineraalhapete nõrkade lahustega jne. Eelpressimine teostatakse

5—10 at ja 130—140° juures umbes 3 tundi, järgneval töötlemisel tekkida võivate pragude vältimiseks (soovitav on seda teostada mitte põhipressil tema ülekoormamise vältimiseks, vaid erimatriitsides). Sellele järgneb lõplik pressimine 3 tunni jooksul 150 at ja 160° juures.

Selliselt töödeldud kasepuidu lineaarkahanemine on 60%, tema erikaal — 1,36, paindetugevus — 2200 kg/cm<sup>2</sup>, lõhestumistugevus — 220 kg/cm<sup>2</sup>.

Lignostooni absoluutne niiskuskindlus on veel saavutamata.

Väga kõrge temperatuuri ja surve mõjul toimub puidu paakumine, s. t. tema osakeste tsementeerimine (on mõeldud peenendatud puitu);



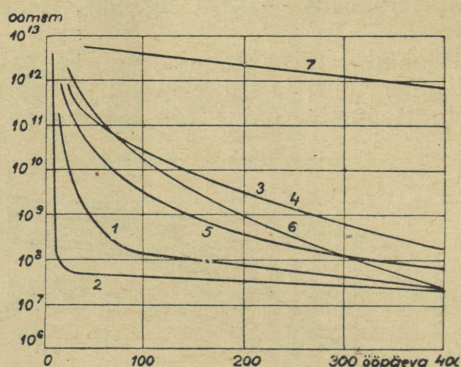
Joon. 70. Niiskuse imendumine puitu: 1 — kuivatamata ja immutamata puit; 2 — kuivatatud puit; 3 — kuivatatud ja parafiiniga immutatud puit; 4 — kuivatatud ja perüllõliga immutatud puit; 5 — kuivatatud ja linaõliga immutatud puit; 6 — kompaundeeritud puit; 7 — õli-asfaltlakiga kaetud puit.

eralduvad lagunemisproduktid mõjuvad sideainena, moodustades mono-liitse massi. Nii on võimalik sellise odava materjali kasutamine, nagu seda on saepuru, ilma igasuguste lisanditeta. Tehnoloogilise protsessi näide: saepuru, mille niiskus on 8%, sõelutakse läbi sõela, millel on 300 auku cm<sup>2</sup> kohta, pressitakse ja hoitakse ahjus 280—300° juures 12 tunni jooksul, siis pressitakse ta lõplikult. Detailidel on ilus sile pind, mis sarnaneb eboniidiga, tumepruuni värvusega. Erikaal on kuni 1,5, Brinelli kõvadus 21, survetugevus 1000—1350 kg/cm<sup>2</sup>. Tubastes oludes on elektriline mahu-eritakistus 10<sup>14</sup> oom · cm ja üle selle, pinna-eritakistus 10<sup>12</sup> oomi ja suurem, dielektriline läbitavus on 6—7, läbilöögitugevus umbes 20 kV/mm kuni 3 mm paksuseni, kadude nurga tangens on 0,02—0,03. Viimasel ajal on õnnestunud vähendada pressimise aega.

Nagu juba eespool märgitud, võib immutamise suures määral muuta puidu omadusi. Selle juures tuleb silmas pidada, et õlidega ja teiste analoogiliste ainetega immutamisel väheneb puidu mehaaniline tugevus. Polümeriseeruvate dielektrikutega (kas või bakeliidi tüüpi)

immutamine tõstab koos dielektriliste omaduste parandamisega ka puidu mehaanilist tugevust.

Joon. 70 on toodud niiskuse imendumise kõverad 400 päeva jooksul töödeldud ja töötlemata puidu kohta ja joon. 71 analoogilised kõverad mahu-eritakistuse muutumise kohta (V. A. Bajevi järgi).



Joon. 71. Mahu-eritakistuse muutumine puidu niisutamisel. Kõverate tähistus sama mis joon. 70.

Eraldi tuleb mainida „tulekindlaid” immutusaineid — mitmesuguseid sooli, mis soojendamisel eraldavad gaase (ammoniaak, süsihape), mis takistavad puidu süttimist. Selliste sooladega immutatud puidu tulekindlus on siiski piiratud ja tema dielektrilised omadused immutamisel kasutatud soolade hea elektrijuhtivuse tõttu üsna madalad.

Antiseptiliste ainetega (kreosoot, klooritsink, arseeni ühendid) immutamine, aurutamine ja pikaajaline puidu jooksvas vees hoidmine (mahlade kõrvaldamiseks) on tarvilikul puidu mädanemise vältimiseks, eriti nõrk- ja tugevoolu-liinide kandepostide juures.

## XI peatük k.

### MINERAALSED ELEKTRI-ISOLATSIOONI MATERJALID.

Käesolevas peatükis vaatleme elektri-isolatsiooni materjale, mis on looduslikud mineraalained.

Nimetatud materjalide töötlemise protsess elektri-isolaatorite saamiseks seisneb nende puhastamises ja vajaliku vormi andmises, mõnikord ka teiste materjalidega (kleepivate ja immutusainetega) kombineerimises.

Looduslike mineraalainete termilise töötlemise (sulatamise, põletamise) teel saadavaid aineid, mis selle juures omandavad algmaterjalidest erinevaid omadusi, vaatleme peatükkides XII ja XIII.

#### 51. Asbest.

Asbesti nime alla on ühendatud mitu erineva keemilise koostisega mineraali, mille ühiseks tunnusmärgiks on kiuline ehitus.

Asbest on ainuke mineraalne materjal, millel on kiuline ehitus. Selle tõttu omab asbest mineraalainele iseloomulike omaduste (eeskätt kõrge soojuskindluse) kõrval ka rea omadusi, mis on iseloomulikud orgaanilistele kiudaineile, mida käsitasime X peatükis.

Olenevalt keemilisest koostisest tuntakse kahte asbesti tüüpi: 1) krüsotüülasbest ( $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), millel on suurem tööstuslik tähtsus, kuna temale langeb 95% asbesti maailmatoodangust, ja 2) künnekivi-asbestid, kuhu kuuluvad antofilliit  $[(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_7 \cdot \text{Si}_8\text{O}_{22}]$ , krokidoliit, amosiit jne.

Künnekivi-asbestid on happekindlamad kui krüsotüülasbest.

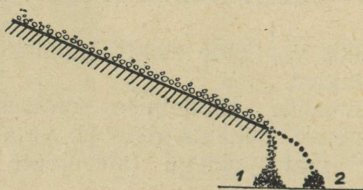
Asbesti leidub soontena kõvemates kivimites, kusjuures soonte paksus on mm osadest kuni kümnete cm. Sagedamini on asbesti kiud soones paigutatud üksteisele paralleelselt ja soone seintele risti. Nii määrab kihi paksus („võimsus“) üksikute asbesti kiudude pikkuse. Asbestisisaldus kivimis tõuseb harva üle 2–3%. Asbesti toodetakse lahtistes karjäärides, kasutades kivimi purustamiseks lõhkeaineid.

Eriti pikk ja väärtuslik kiud saadakse kivimi käsitsi peenendamisel, mille juures kiud jääb vigastamata.

Lühikesekiuline asbest eraldatakse aherainest peale aheraine purustamist kas „vene” või „kanada” mehhaniseeritud viisil.

Kanada viisi juures maak kuivatatakse ja juhitakse pärast seda aparati, milles ta peenendatakse kiiresti pöörlevate teraspropellerite poolt. Lahtikistud asbestkiud viiakse vastava ventilaatoriga tekitatud õhuvoolu poolt kergesti aparaadist välja, kuna aheraine jääb kohale.

Vene meetod põhineb aheraine terakeste ja asbestkiu erineval hõõrdumisteguril vastu raudplekiga ülelöödud kallakpinda. Kerge lahtikistud asbestkiud liigub suurema hõõrdumise tõttu kallakpinnal aeglase-



Joon. 72. Asbesti puhastamise skeem vene meetodil: 1 — asbest; 2 — aheraine.

malt kui aheraine ja selle lõpul kukub otse alla. Aheraine terakesed veevad kiiresti alla ja inertsit tõttu langevad palju kaugemale kui asbest (joon. 72). Selle viisi juures kiud ei purune sellisel määral kui kanada viisi juures ja saadav materjal on pikemakiulisem.

Järgnevalt asbest sortitakse kiu pikkuse järgi. Mida pikem on kiu keskmine pikkus, seda parem ja kallim on asbesti sort. Kõrgemate asbesti sortide saamine on palju raskem kui lühikeste kiududega sortide saamine. Tabelis 25 on toodud asbesti kiu pikkuse ja hinna võrdlus.

Tabel 25.

Sort	Keskmine kiu pikkus mm	Tonni hind rublades	Sort	Keskmine kiu pikkus mm	Tonni hind rublades
I	17	700	IV	5,5	200
II	13	500	V	2,5	90
III	9	300	VI	1,5	60
			VII	0,8	50

Eriti pikakiuline käsitsi toodetud asbest, kiu pikkusega üle 18 mm, on üleliidulise standardi poolt määratud erisorti AA. Suurim hulk asbesti toodetakse Kanadas, NSV Liidus ja Rodeesias. NSV Liit on asunud asbesti tootmise alal teisele kohale maailmas. Suurimaks asbesti leiukohaks NSV Liidus on Uural, kus seda toodetakse juba 100 aastat. Uurali idanõlvakul, Baženovos, asub maailma suurim krüsootüülasbesti

leiucoht. Ta asub 85 km kirde pool Sverdlovski linna, Asbesti-nimelise linna lähedal. Leiucoha üldisi varusid arvestatakse 18 miljonile tonnile puhtale asbestile. Keskmise asbestisisaldus kivimis on 3,7%.

Küünekivi-asbesti leiucohtadest NSV Liidus on ainukeseks tööstusliku tähtsusega antofilliidi leiucohaks Sössert Uuralis.

Asbesti erikaal on umbes 2,5, kõvadus Moosi järgi 2,5—3,5. Krüsotüülasbesti värvus tükkides on roheline, lahtistatud kiul — valge, krokidoliidile on iseloomulik hallikassinine värvus.

Asbesti tõmbetugevus küünib 300—400 kg/mm<sup>2</sup>. Selline suur tõmbetugevus aga esineb ainult siis, kui kiud on allutatud ainult tõbele; surve, painutamine jne. vähendavad tugevasti tema tugevust. Seetõttu ka igasugune mehaaniline töötlemine (kraasimine, ketramine jne.) mõjutab suuremal või väiksemal määral asbesti tugevust. Nii jääb asbest elastsuse mõttes orgaanilistest kiududest tugevasti maha.

Asbest on väga kuumuskindel; kiu tugevus ja paindumus ei muutu soojendamisel kuni 300—400°. Edasisel soojendamisel, umbes 450° juures, kaotab ta konstitutsioonivee, tema kristalliline struktuur kaob ja ta muutub rabedaks. Asbest sulab 1150—1500° juures.

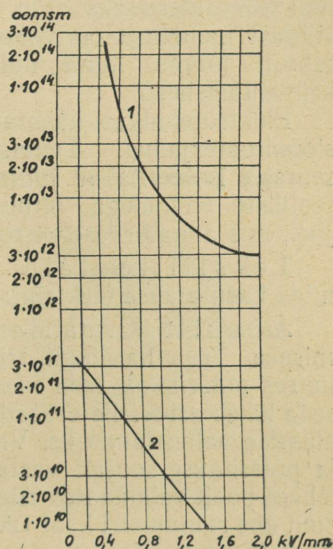
Kõigi asbestmaterjalide põhipuuduseks on suur hügroskoopsus, mis põhjustab elektriliste omaduste halvenemist niiskumisel.

Hügroskoopsuse vähendamiseks võib asbesti hea eduga bituumenitega ja lakkidega immutada. Immutamine tõstab märgatavalt ka elektrilisi omadusi.

Hügroskoobiline vesi lahkub asbestist kuni 100°; kuivatamisel asbesti isolatsiooniomadused paranevad. Hügroskoobilist vett aga ei tule ära segada konstitutsiooniveega, mis, nagu eespool märgitud, lahkub alles 450° juures.

Peale hügroskoopsuse mõjutab asbesti dielektrilisi omadusi halvasti rauaoksüüdide sisaldus, eriti magnetiidi (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) näol. Tuleb siiski mees pidada, et määrama tähtsusega ei ole asbesti molekuli koostises olev raud, vaid mehaanilise lisandina esinevad rauaoksüüdid.

Joon. 73 on selgesti näha, et antofilliitasbestist valmistatud papp, mis sisaldab märgatavalt rohkem rauda oma molekulis kui krüsotüül-



Joon. 73. Krüsotüül- (2) ja antofilliitasbestist (1) valmistatud pappide mahu-eritakistuse olenevus elektrivälja tugevusest.

asbest, on viimasest valmistatud asbestpapist kõrgema isolatsioonivõimega.

Raud ka mehhaanilise lisandina ei ole nii kahjulik kui hügroskoobiline vesi. Kõige suurem on raua kahjulik mõju õhukestes toodetes (asbopaberis). Magnetiidi lisandid kõrvaldatakse osaliselt asbesti töötlemisel, neid võib kõrvaldada näiteks magnetseparaatorite abil. Magnetiidi kõrvaldamiseks võib kasutada ka asbesti hapetega mõjutamist; viimast menetlust on võimalik kasutada ainult happekindla küünekiivi-asbesti juures, kuna magnetiiti lahustavad happed lahustavad ka krüsotüülasbesti.

Elektrotehnikas kasutatakse asbesti peamiselt soojuskindla isolatsioonimaterjalina. Temast valmistatakse tekstiil- ja pabertooteid, temaga isoleeritakse juhtmeid, teda pressitakse kombinatsioonis sünteetiliselt vaikutega, bituumenitega, portlandtsemendiga, vesiklaasiga jne., mis annab rea elektrotehnikas kasutatavaid plastmasse.

Textiiltooteid valmistatakse asbestriide ja asbestlindi näol, mida kasutatakse elektrimasinates soojuskindla painduva isolatsioonina.

Asbestriiet kasutatakse generaatorite rootorite mähiste isoleerimiseks. Teda harilikult triigitakse ümber isoleeritava detaili ja selle juures määratakse teda kleepiva lakiga (shellak- või kopaallakk). Pärast seda läheb asbestriie asbestbakeliitplaatide ja turbogeneraatorite rootori hülsside valmistamiseks. Viimasel juhul riie immutatakse bakeliitlakiga ja pressitakse soojalt vastavaks vajalikule kujule. Leningradi asbestitehase poolt valmistatav riie on järgmiste omadustega: paksus 1,7 ja 2,0 mm, ühe ruutmeetri kaal 1200 ja 1500 g, erikaal 0,65, niiskus 1,7—2,0%, tõmbetugevus lõime suunas 0,41—0,48 kg/mm<sup>2</sup>, koe suunas 0,16—0,2 kg/mm<sup>2</sup>, rauasisaldus 1,5—2,5%, läbilöögitugevus umbes 1 kV/mm. Peale Leningradi tehase valmistab asbestriiet ka Jaroslavl'i kummi-asbesti kombinaat.

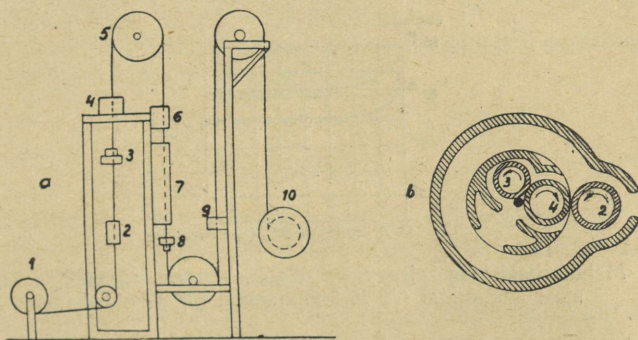
Asbestlinti valmistavad mõlemad mainitud tehased kahte sorti: rauaga ja rauata. Tema paksus on 0,9—0,5 mm, laius 15, 20 ja 30 mm. 100 m kaal vastavalt eeltoodud laiustele on 0,4, 0,8 ja 1,2 kg, tõmbetugevus on vastavalt 5,8; 12; 17,6 kg. Rauata lint sisaldab mitte üle 4% rauda, läbilöögitugevus — mitte alla 2 kV/mm. Rauaga lindi tõuseb rauasisaldus kuni 7%.

Asbestlõnga valmistatakse pikakiulisest asbestist väikese puuvillalisandiga ketramise hõlbustamiseks ja valmisesemete elastsuse ja tugevuse suurendamiseks. Puuvillakiu sisaldus suurendab lõnga hügroskoopsust ja vähendab soojuskindlust. Selle tõttu meie tehaste tehnilised tingimused ei luba suuremat puuvillasisaldust kui riide juures 15% ja lindi juures 10%.

Asbestpaber ja asbestpapp on leidnud kasutamist madalpingeseadmetes, mis tugevasti kuumenevad. Kasutamise näitena võib tuua selgelt nähtavate poolustega suuri elektrimasinaid, kus teda

kasutatakse elektromagnetite mähise kihtidevahelise isolatsioonina, kusjuures teda määratakse lakiga ja pressitakse soojal pressil. Saadakse monoliitne ja tugev isolatsioon.

Asbestpaberit valmistab Jaroslavl'i kummi-asbesti kombinat. Vastavalt kombinadi tehnilistele tingimustele on pooluste mähiste paberi omadused järgmised: paksus  $0,2 \pm 0,02$  mm, erikaal 0,5, tõmbetugevus piki linti mitte alla  $1 \text{ kg/mm}^2$  ja risti linti mitte alla  $0,25 \text{ kg/mm}^2$ , läbilöögitugevus  $4 \text{ kV/mm}$ ; rauasisaldus 4%; niiskus 3%. Mahu-eritakistus kõigub  $10^8$  ja  $10^9$  oom · cm vahel.



Joon. 74. Deltasbestist juhtmeisolatsiooni valmistamise masin.

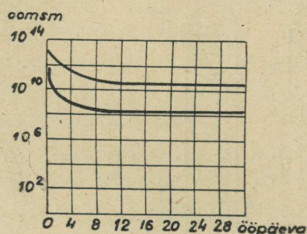
Nii asbestpaber kui ka asbestpapp valmistatakse lehtedena. Nende valmistamiseks kasutatakse lühikesekiulist asbestkiudu, millele lisandatakse kaoliini ja liimainet. Mass segatakse veega ja juhitakse papimasinasse. Papimasinast väljuvad toored lehed, neid pressitakse, kuivatatakse ja lõigatakse servad sirgeks.

Asbestisolatsiooniga juhtmeid kasutatakse raskeis temperatuuritingimustes töötavais masinats ja aparaatides. Nende juhtmete kõige levinum tüüp on juhe deltasbest-isolatsiooniga (mark ПДА). Tema isolatsioon valmistatakse kraasitud asbestkiust. Harvemini kasutatakse asbestlõngaga või asbestpaberiga isoleeritud juhtmeid, need ei ole NSV Liidus standarditud. Deltasbestjuhtmeid valmistavad tehased „Sevkabel” Leningradis ja „Moskabel” Moskvast. Deltasbestjuhtmete valmistamise skeem on toodud joon. 74.

Isoleerimisele kuuluv vasktraat juhitakse trumlilt (1) läbi õgvendusrullide (2) kleepivat lakki (harilikult glüftaallakk) sisaldavasse vanni (3) ja kraasidel (4) kaetakse asbestkiuga. Üle juhtrulli (5) läheb traat läbi sulatatud kompaundi sisaldava vanni (6) ja elektrilise kuivataja (7), kus kuivamine toimub  $300\text{--}350^\circ$  juures. Lõpuks läbib traat talgiga täidetud nõu (8), kus ta kattub talgikihi, mis takistab üksikute keerdude kokku-

kleepumist. Üleliigne talk võetakse keerlevate harjade (9) poolt maha ja valmis juhe keritakse trumlile (10).

Masina põhiosa — kraasimise aparaat — on näidatud eraldi joon. 74<sub>b</sub>. Rullid (1) annavad asbestkiudu kraasile (2), mis omakorda annab selle kraaside (3 ja 4) kaudu traadile. Kraasid (3 ja 4) tiirlevad nii oma telje kui ka traadi (5) ümber, mis läbib kraasimisseadme tema telgjoonel. Hea immutuse tõttu on deltasbest-isolatsioon küllalt tugev ja elastne, tumepruuni värvusega. Tema soojuskindlus on klass B või BC. 0,3 mm paksuse isolatsioonikihi läbilöögitugevus on mitte alla 350 kV/mm.



Joon. 75. Mahu-eritakistuse olenevus 80% suhtelise niiskusega õhus viibimise ajast immutatud (1) ja immutamata (2) asbotsemendil.

Mitmesuguste asbesttäidisega plastmasside (vt. ptk. XIV) hulgas väärib märkimist asbotsement, asbesti ja portlandtsemendi segust külmaltpressimisega saadav materjal. Asbotsementi toodetakse tavaliselt tahvlitena ja kasutatakse peamiselt jaotuskilpide, paneelide ja katkestite aluste materjalina. Asbotsementplaatide valmistamiseks segatakse hästi lahustatud asbest veega ja tsemendiga ning lastakse läbi papimasina. Papimasinast väljuvat lehtmaterjali pressitakse survega 300—500 kg/cm<sup>2</sup>. Pärast pressimist hoitakse toodangut niiskes ruumis, kus toimub tsemendi täielik kõvenemine. Valmistusviisilt sarnaneb asbotsement katusekatmiseks valmistatava eterniidiga, erineb temast aga toormaterjali suurema puhtuse ja valmistamise täpsuse poolest.

Selliselt saadud asbotsement on suure hügroskoopsusega (umbes 7%) ega ole seetõttu dielektrikuna kasutatav. Tema hügroskoopsust vähendab parafiinse masuudiga, linaõliga või kivistõrvaga immutamine. Enne immutamist asbotsementi harilikult kuivatatakse ja tülisena kastetakse immutussegusse, mis omakorda on 200—220° eelsoojendatud. Immutussegus keedetakse asbotsementi keskmiselt 24 tundi, siis riputatakse ta liigse immutusvedeliku mahatilkumiseks üles ja kuivatatakse 120—190° juures (temperatuur vastavalt plaadi paksusele ja immutusainele).

Ka immutatud asbotsemendil kiudude hügroskoopsuse tõttu võib niiskuse mõjul esineda teatav elektriliste omaduste nõrgenemine.

Joon. 75 on toodud immutatata ja parafiiniga immutatud asbotsemendi mahu-eritakistuse muutumise kõverad, olenevalt suure suhtelise niiskusega (80%) õhus viibimise ajast.

Tähelepanu väärib uus asbotsemendi valmistamise viis (emulsiooni-viis), mille juures immutasine (bituumen) lisatakse asbesti, tsemendi ja vee segule enne papimasinasse juhtimist. Selle viisi juures langeb ära immutamise eraldi operatsioonina.

Immutatud asbotsemendi erikaal on 1,8—2,0, veeimavus 0,5—1,0%, paindetugevus 300—350 kg/cm<sup>2</sup>, survetugevus 900—1300 kg/cm<sup>2</sup>. Mahu-eritakistus on 80% õhu suhtelise niiskuse juures 10<sup>8</sup>—10<sup>10</sup> oom·cm, läbilöögitugevus 2,0—4,0 kV/mm.

Peale lehtmaterjali valmistatakse asbotsemendist vastavais vormides ka mitmesuguse kujuga fassongesemeid.

## 52. Vilgukivi.

Vilgukivi nime all tuntakse erisuguse kristallilise ehitusega mineraalide rühma. Üksikud vilgukivi kristallid on väga õhukesed plaadikesed, mille paksus on kogu kristalli ulatuses ühesugune.

Vastavalt sellele on võimalik kivimites pesadena esinevaid vilgukivi tükke kergesti lõhestada õhukesteks plaadikesteks ja seda ainult ühes suunas. Looduses esinevaist vilgukividest on elektrotehnikas kõige rohkem tarvitusel muskoviit — kaaliumvilgukivi (H<sub>2</sub>KAlSi<sub>3</sub>O<sub>12</sub>) ja flogopiit — kaaliummagneesium-vilgukivi [(K,H)<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>AlSi<sub>3</sub>O<sub>12</sub>].

Muskoviidi ja flogopiidi füüsikalistest ja keemilistest omadustest märgime järgmisi: 1) täielik lõhestatavus, mis võimaldab saada väga õhukesi plaadikesi, paksusega kuni 0,004 mm; 2) äärmine paindumus ja vetruvus, mistõttu on võimalik 0,004 mm paksusega plaadikest keerata ümber 3 mm läbimõõduga varva, ilma et tekiks pragusid; 3) suur soojuskindlus: vilgukivi välimus ja omadused ei muutu muskoviidi soojendamisel 400°-ni ja flogopiidi soojendamisel 800°-ni. Edasine soojendamine kõrvaldab vilgukivi molekulis sisalduva konstitutsioonivee ning vilgukivi muutub rabedaks ja puruneb. Flogopiidi tüüpi palju vett sisaldavad vilgukivid (hüdroflogopiidid) on palju vähem soojuskindlad.

Vilgukivi värvus on mitmesugune: muskoviit on üsna läbipaistev, täiesti värvusetu või heleroosa või roheka värvusega. Muskoviidi värvus ei ole alati ühtlane. Vilgukivi plaadikestel võib leida musti, punaseid ja kollaseid plekke, mille olemasolu vähendab tema mehaanilisi ja elektrilisi omadusi. Need plekid on tingitud rauaoksüüdide mehaanilisest lisandist. Flogopiit on tumedam ja vähem läbipaistev kui muskoviit, värvuselt on ta merevaikkollane, roheline või hõbedane. Plekke flogopiidis ei esine, selle asemel aga leidub volte.

Rääkides vilgukivi elektrilistest omadustest, tuleb kõigepealt märkida, et need omadused on tihedalt seotud lõhestumispinna asendiga. Vilgukivi kuulub parimate elektri-isolatsiooni materjalide hulka, see on aga kehtiv ainult sel juhul, kui elektriväli asub risti lõhestumispinnale ja üksikud vilgukivi kihikesed on lülitatud järjestikku. Kui aga elektriväli on suunatud piki vilgukivi kihte, siis on vilgukivi isolatsioonivõime üsna väike. Selle nähtuse põhjuseks on vilgukivi eriline kristallstruktuur: kristallplaadikeste vahedesse on koondunud molekulaarsed vee vahekihikesed, mis ei vähenda elektri-isolatsiooni omadusi neile risti asuvas elektriväljas, küll aga siis, kui elektriväli on suunatud piki neid kihikesi, nad tekitavad suuri dielektrilisi kadusid ja tugevasti vähendavad läbilöögitugevust. Selle tõttu on ainuõigeks vilgukivi kasutamise viisiks see, kui ta on pandud tööle oma kihtidega risti elektrivälja, mida ka praktikas teostatakse. Mainitud vee vahekihikesed loovad ebahütluse ka teistesse vilgukivi omadustesse eri suundades, nii ei ole mehaaniline tugevus ühesugune piki ja risti kihte, vilgukivi lõhestumine piki vee vahekihte toimub võrdlemisi kergesti, kristallplaadikeste eneste purustamine aga nõuab palju suuremat jõudu.

Edaspidi, rääkides muskoviidi ja flogopiidi elektrilistest omadustest, peame mees, et jutt on nendest omadustest kihtidega risti asuvas elektriväljas.

Muskoviidi elektrilised omadused olenevad tema plekilisusest, flogopiidil aga voldilisusest. Puhtate (plekkideta) muskoviidi lehtede mahu-eritakistus kõigub  $8 \cdot 10^{14}$  ja  $5 \cdot 10^{15}$  oom·cm vahel, flogopiidil aga  $5 \cdot 10^{13}$  ja  $2 \cdot 10^{14}$  oom·cm vahel. Tumedate plekkidega muskoviidi mahu-eritakistus on vähenenud kuni  $10^7$ — $10^8$  oom·cm.

Muskoviidi plekilisus mõjutab tugevasti tema dielektrilisi kadusid. Kui puhtate muskoviidi esindajate juures on  $\text{tg } \delta = 0,0005$ , siis plekliste sortide juures võib see tõusta kuni 0,04. Heal flogopiidil on  $\text{tg } \delta$  0,005 — 0,007.

Vilgukivi lehekeste läbilöögitugevus on 0,05 mm paksuse juures 200 kV/mm, kuna 1 mm paksuse juures on see ainult 50 kV/mm. Ohukeste kihtide puhul ühtlases elektriväljas ei olene vilgukivi läbilöögitugevus tema kihi paksusest.

90—95% kogu NSV Liidus toodetavast vilgukivist läheb elektrotehnika tarveteks. Peamised vilgukivi kogused saadakse Siberi leiukohtadest:

1) Mamsko-Vitimski rajoon asub Leena jõe harujõe Vitimi ja selle haru Mamō kallastel, laiusega 25—70 km ja pikkusega 100—120 km. Selle rajooni eksploatatsiooni raskendab ühendusteede puudumine ja elanikkonna väike tihedus.

2) Flogopiidi leiukoht asub Baikali järve lõunakaldal, 15—20 km Sljudanka jaamast edela poole. Siin leidub vilgukivi soontes 1—1,5-m mõõdetega kristalle. Selle leiukoha arvele langeb umbes 40% kogu NSV Liidu vilgukivi toodangust.

Muskoviiti toodetakse ka Karjalas (Kantalahti läänekaldal).

Tööstuses kasutatakse puhastatud, lõhestatud, lõigatud ja jahvatatud vilgukivi. Toorvilgukivi, mis tuleb kaevandusest, lõhestatakse peale ümbritsevast kivimist puhastamist väiksemateks tükkideks, puhastatakse pinnale jäänud väiksematest lehetükikestest ja sorditakse: flogopiit sileda ja lainelise pinnaga kristallideks, muskoviit läbipaistvaiks ja plekilisteks kristallideks. Selliselt sorditud kristallidel lõigatakse loomulik kant maha, kuna see sisaldab aherainet ja on praguline. Seda operatsiooni nimetatakse puhastamiseks ja saadud vilgukivi puhastatuks.

Kõik kirjeldatud operatsioonid teostatakse käsitsi. Käsitsi toimub ka vilgukivi lõhestamine, mille tulemusena saadakse lõhestatud vilgukivi.

Paksuse järgi jaguneb lõhestatud vilgukivi kahte rühma: 1) paksusega 0,01—0,019 mm ja 2) 0,02—0,03 mm.

Püstkülikulised plaadikesed paksusega 0,04—2 mm, mille servad on lõigatud risti plaadikeste pinnale, lähevad müügile lõigatud vilgukivi nime all.

Jahvatatud vilgukivi saadakse lõikudest ja jäätmetest kuulveskites peenendamise teel, teda kasutatakse mikaleksi valmistamiseks.

Eriti suure tähtsusega on vilgukivi lehtede suurus. OCT 4264 ja CT 13-3965 järgi märgistatakse vilgukivi numbritega vastavalt lehe pindalale. Et sundida vilgukivi tootjaid tootma elektrotehnilisele tööstusele sobiva kujuga vilgukivi lehti, ei määrata number mitte lehe kogupindala järgi, vaid suurima pindalaga püstküliku järgi, mida on võimalik kujutada lehe kontuuri sisse (püstküliku külgede suhe on 1 : 1 kuni 1 : 3). Sügavate sisselõigetega, nurgelise ja väljavenitatud kujuga lehed kuuluvad madalama numbriga alla. Kergeks numbriga määramise abinõuks on vastavad šabloonid.

Puhastatud vilgukivi jaotatakse numbriteks vastavalt tabelile 25-A.

Tabel 25-A.

Vilgukivi nr.	Sisseehitatava püstküliku pindala cm <sup>2</sup>
0000	Üle 450
000	390—450
00	310—390
0	230—310
1	155—230
2	90—155
3	65—90
4	40—65
5	20—40
6	10—20
7	6—10
8	4—6

Lõhestatud vilgukivi jaguneb numbritesse sellesama tabeli alusel, lisaks aga on toodud sisse täiendavad numbrid:  $5\frac{1}{2}$  (sisseehitatava püstküliku pindala 20—30 cm<sup>2</sup>) ja  $6\frac{1}{2}$  (püstküliku pindala 10—15 cm<sup>2</sup>).

Kõrgemat sorti vilgukivi saadakse palju väiksemal määral kui madalamaid sorte ja ta on seetõttu märgatavalt kallim. Nii saadakse Baikali leiukohas nr. 1 ja 2 kokku ainult 0,3% kogu saagist, nr. 3, 4 ja 5 annavad 13,7%, kuna nr. 6 ja 7 — 86%. Karjala leiukohas langeb nr. 5, 6 ja 7 alla 98% (neis kokkuvõtteis pole arvestatud vilgukivi nr. 8). Eriti suured numbrid (0—0000) esinevad väga harva.

Peale lehe suurust iseloomustava numbri jaotatakse vilgukivi veel sortidesse kvaliteedi järgi (puhtus, siledus), vaatamata lehe suurusele. Seepärast jagatakse muskoviit CT 13-3965 järgi järgmistesse sortidesse:

I — puhas, täiesti sile vilgukivi,

II — sile, väheste plekkidega vilgukivi, plekkide pindala on alla 10% üldpindalast,

III — plekiline ja nõrgalt laineline vilgukivi, plekkide kogupindala 10—25% üldpindalast,

IV — tugevasti plekiline ja laineline vilgukivi, plekkide pindala üle 25% üldpindalast.

Flogopiidi sordid on järgmised:

I — sile vilgukivi,

II — nõrgalt laineline ja nõrgalt voldiline vilgukivi,

III — laineline ja voldiline vilgukivi.

CT 13-3965 järgi peab I, II ja III sordi lõhestatud muskoviitvilgukivil esimese rühma paksuse juures (0,01—0,019 mm) läbilöögitugevus olema mitte alla 1 kV ja teisel rühmal (paksuse juures 0,02—0,03 mm) — mitte alla 2 kV.

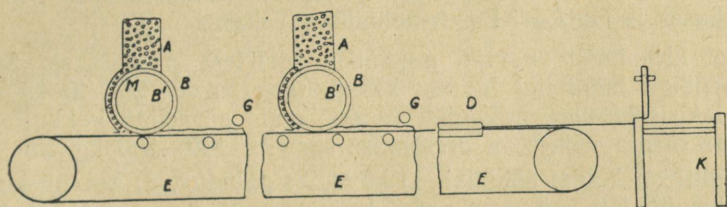
Lõhestamata flogopiit jaguneb oma värvuse ja mehaanilise tugevuse järgi kahte liiki: normaalne ja hüdratiseeritud. Normaalne flogopiit on merevaikkollase, mustjaspruuni, tumepruuni, musta ja hõbedase värvusega, purustav survetung seibile, mille välimine läbimõõt on 9 mm ja sisemine 5,7 mm, mitte alla 1300 kg.

Hüdratiseeritud flogopiit on rasvase metalse läikega, purustav survetung samamõõdulise seibi juures mitte alla 800 kg.

Vilgukivi kasutatakse puhtal kujul elektrotehnikas võrdlemisi harva. Temast stantsitakse või lõigatakse kondensaatorite, mootorite süüteküünalde, raadiolampide jne. isoleerivaid vahelehti. Peamiseks vilgukivi laialdase kasutamise takistajaks on kristallide piiratud mõõtmel. Isolatsiooni saamiseks, mis on vilgukivile lähedaste omadustega ja seejuures valmistatav igas soovitavas pinnasuurus, kasutatakse praegu mikaniiti.

### 53. Mikaniit.

Mikaniit on lehtmaterjal, mis koosneb isolatsioonilakiga omavahel kokkukleebitud lõhestatud vilgukivi lehekestest. Vilgukivi lehekeste kokkukleepimine võib toimuda kas käsitsi või mehaaniliselt. Käsitsi kleepimine võib toimuda kas laudadel, konveieril või kastides. Laual kleepimisel asetatakse vilgukivi lehed klaasile või vahapaberile, mida valgustatakse altpoolt — täitmata kohtade kindlakstegemise otstarbel. Kui üks kiht on laiali laotatud, kaetakse see lakiga ja laotakse uus kiht peale jne. kuni soovitava paksuse saamiseni. Konveieril kleepimisel liigub valmiva mikaniidi leht tervest reast kleepijatest mööda, kes kõik teostavad ühte ning sama operatsiooni (vilgukivi lehekeste pealeasetamine ja lakiga katmine), misjärel mikaniit läheb otse kuivatusahju.



Joon. 76. Mikaniidi valmistamise vaakummeetod.

Teisiti toimub kleepimine kastides. Seejuures määratakse paberilehed ühelt küljelt lakiga ja lastakse kasti, mis on täidetud lõhestatud vilgukiviga. Vilgukivi kleepub lakiga kaetud paberi külge. Paberi külge kleepunud vilgukivi kiht kaetakse jälle lakiga ja lastakse uuesti kasti. Seda operatsiooni korratakse seni, kui mikaniit on saanud soovitava paksuse. Selle meetodi puuduseks on see, et ei ole võimalik saada ühesuguse paksusega mikaniidi lehte.

Välismaa kirjanduses leidub terve rida mikaniidi mehhaniseeritud valmistamise viise. Nende hulgast on laialdasemat kasutamist leidnud vaakum- ja tornimeetod. Joon. 76 on toodud vaakummeetodi juures kasutatava masina skeem, mida rakendatakse Ameerikas. Masin töötab järgmiselt: eri torude kaudu (joonisel näitamata) imetakse vilgukivi lehekesed vaakumtornidesse A ja langevad silindri B sisse, mis on valmistatud võrgust. Silinder B pöörleb ümber seisva silindri B<sub>1</sub>. Silindrite vahelisest ruumist M pumbatakse vaakumpumba abil õhk välja. Ülevalt alla lendavad vilgukivi lehed imetakse võrgu külge ja antakse liikuva silindri B poolt üle konveierivõrgule E. Veidi enne konveierivõrgule jõudmist lülitatakse vaakuum välja ja lehekesed langevad ühtlase kihina konveierile. Konveierile asetunud vilgukivi kiht kaetakse mehaaniliselt valtside D ja G abil lakiga, misjärel ta liigub

järgmise torni alla, kus talle asetub järjekordne vilgukivi kiht. Nii toimub see kuni vajaliku kihipaksuse saamiseni. Seejärel tõmmatakse kokkukleebitud vilgukivi kiht kuivatamise otstarbel soojendatud vattside C vahelt läbi.

NSV Liidus on tarvitusel nn. tornimenetlus. Erinevalt vaakuummenetlusest kasutatakse tornimenetluse juures mitte lakki, vaid kuiva vaiku (šellak, glüftaal või nende segu). Seadeldis ise kujutab endast kuni 7 m kõrgust torni, mille ülemisse ossa puhutakse suure kiirusega samaaegselt vilgukivi lehekesi ja pulbrilist vaiku. Alla langedes seguneb vilgukivi ühtlaselt vaiguga ja sadeneb ühtlase kihina torni põhjas olevas kastis. Vajaliku paksuseni jõudmisel võetakse kast välja ja toormikaniit läheb tulise pressi alla. Kõrge temperatuuri juures vaik pehmeneb ja tardudes kleebib vilgukivi lehed tugevasti üksteise külge kinni. Tornimenetlust kasutatakse mikaniidi valmistamisel Moskva Elektritehases ja Harkovi Elektrotehnilises Tehases.

Pärast kleepimist enamik mikaniidi sortidest pressitakse. Suure lakiprotsendiga mikaniidi juures kasutatakse survet 20—40 kg/cm<sup>2</sup>, väikese lakisisaldusega mikaniidi juures, mille pärastine kokkutõmbumine peab olema väike, on pressimise surveks 100—200 kg/cm<sup>2</sup>.

Mikaniiti on kolme põhiliiki: 1) kõva, 2) painduv, 3) kuumuskindel. Kõva mikaniit jaguneb omakorda kollektormikaniidiks, vaheplaatmikaniidiks ja vormitavaks mikaniidiks.

Kollektormikaniiti kasutatakse elektrimasinate kollektori vasklamellide üksteisest isoleerimiseks.

Seoses sellega esitatakse kollektormikaniidile rida nõudmisi. Kõigepealt peab ta olema ühtlase paksusega, mille saavutamiseks teda sageli lihvitakse. Kleepaine (šellak, viimasel ajal aga sagedamini glüftaal) hulk peab olema väike, mitte üle 2—4%, pressimise surve ei või olla alla 160 kg/cm<sup>2</sup>, kuna muidu edasisel soojenemisel võib mikaniit paksuses kahaneda ja pikkuses välja venida, mis kutsub esile kollektori deformeerumise. Tuleb märkida, et mikaniidi kahanemine kollektori koostamise surve mõjul on tingitud peamiselt vaigust, vilgukivi enda kokkusurutavus on võrdlemisi väike. Mikaniidi kulumine harjade hõõrumise tõttu peab olema võrdne vase kulumisega. Sellepärast võetakse tema valmistamiseks sagedamini pehmed flogopiidi sordid, harvemini flogopiidi ja muskoviidi segu.

Kollektormikaniidi elektrilised omadused ei tarvitse olla eriti kõrged, kuna elektrimasinate kollektorite naaberlamellide vaheline pinge ei ole kuigi suur.

Kollektormikaniiti valmistatakse lehtedes paksusega 0,4—3 mm. Läbilöögitugevus — mitte alla 18 kV/mm. Mahu-eritakistus peab olema  $2 \cdot 10^{14}$  oom · cm; erikaal 2,4 — 2,6; tg  $\delta = 0,03$ .

Kollektormikaniit on väga kõva ja tugev. Löökkollektormikaniidi lehe otsa pihta annab peaaegu metalse kõla.

Vahelehtede mikaniiti kasutatakse soojuskindla isoleeriva vahematerjalina elektrimasinates. Temast valmistatakse ka stantsimise teel mitmesuguste mõõdetega seibe. Teda valmistatakse madalanumbrilisest (nr. 7 või 8) muskoviidist või flogopiidist. Moskva Elektri-isolatsiooni Tehase tehnilised tingimused vahelehtede mikaniidi kohta on järgmised: lehe paksus 0,2—2,0 mm, vilgukivisisaldus kaalu järgi 80—90%. Läbilöögitugevus on kõikuv, olenevalt lehe paksusest, olles 0,2-mm paksuse juures 8 kV ja 2,0-mm paksuse juures 22,5 kV. Mahu-eritakistus on  $10^{13}$ — $10^{15}$  oom·cm,  $\text{tg } \delta = 0,1$ .

Vormitav mikaniit on määratud fassong-isolatsiooni valmistamiseks (kollektorikoonused, mitmesugused mansetid, hülsid, torud jne.) survega vormimise teel tulistes teraspressides. Pressitud mikaniit muutub jahtudes jälle kõvaks, hoides alal saadud vormi.

Standardi HKТП 13-3098 järgi peab vormitav mikaniit vastama järgmistele tingimustele: 1) vilgukivisisaldus (kasutatakse I, II ja III sordi muskoviiti ja flogopiiti nr. 5 kuni 8) peab olema 80—90%, ülejääk vaik (harilikult šellak); paksus 0,15—3,0 mm; läbilöögitugevus pressimata sortidel ei või olla alla 10 kV/mm ja pressitud sortidel mitte alla 15 kV/mm.

Mikaniidi leht, mis on  $110^\circ$  juures keeratud ümber varva, mille läbimõõt on lehe paksusest 50 korda suurem, kuid mitte üle 50 mm, ei tohi peale jahtumist toatemperatuurini kaotada antud vormi, seejuures ei tohi esineda lõhestumist ja vilgukivi lehekeste lahtilöömist.

Vormitava mikaniidi marke märgitakse lühendatult järgmiselt: ФМ-1, ФМ-2, ФМ-3, ФФ-1, ФФ-2, ФФ-3, ФС-1, ФС-2, ФС-3. Esimene täht märgib mikaniidi tüübi (vormitav), teine — vilgukivi tüübi (muskoviit, flogopiit või nende segu) ja number annab mikaniidi sordi. 1. sort — pressitud ja paksuses kalibreeritud mikaniit; 2. sort — pressitud, kuid kalibreerimata mikaniit; 3. sort — pressimata ja kalibreerimata mikaniit.

Painduv mikaniit on määratud mitmesuguste elektrimasinate ja aparaatide osade isoleerimiseks. See on külmas olekus painduv lehtmaterjal (ka lintidena), mis on valmistatud lõhestatud muskoviidist või flogopiidist nr. 4 ja 5; plastifikaatorit sisaldava kleepaine hulk moodustab seejuures 30—35% mikaniidist. Laialdast kasutamist on leidnud materjal, mida nimetatakse mikalindik. See on paber (harilikult jaapani paber), millele on šellaki või asfaltlaki abil kleebitud üks või mitu vilgukivi kihti. Paberist alust kasutatakse mikalindi valmistamisel selleks, et anda talle küllaldast tugevust, kuna kõrgepingeliste elektrimasinate mähiste varraste isoleerimisel tuleb mikalinti tugevasti pingutada. Mikalinti saab kerida vardale vajaliku paksuseni,

misjärel ta eripinkidel tulise silujaga surutakse tihedalt varda ligi ja asetatakse eripressi, kus vilgukivi lehekesi ühendav vaik sulab, täites kõik poorid ja andes monoliitse massi.

Moskva Elektri-isolatsiooni Tehase tehniliste tingimuste kohaselt 1938. aastast valmistatakse painduvat mikaniiti lehtedes mõõdetega  $720 \times 800$  ja  $360 \times 150$  mm, paksusega 0,15—0,5 mm ja vilgukivisisaldusega 65—90%. Mikaniidi proov, mõõdetega  $100 \times 50$  mm, peab toatemperatuuril andma ennast keerata ümber varva, mille läbimõõt on 50 korda suurem lehe paksusest, seejuures ei tohi esineda vilgukivi üksikute lehekeste eraldumist ja mikaniit ei tohi lõhestuda.

Pressimata paberalusel valmistatud mikalindi läbilöögitugevus ei või olla alla 15 kV/mm, pressitud mikalindil aga mitte alla 25 kV/mm. Tõmbetugevus peab olema mitte alla 1 kg/mm<sup>2</sup>.

Mikalinti kasutatakse elektrimasinate mähiste varraste ja sektsioonide isoleerimiseks.

Painduvaid mikaniite markeeritakse järgmiselt: ГМ-Π, ГМ-С, ГМ-О, ГФ-Π, ГФ-С ja ГФ-О. Esimene täht näitab mikaniidi tüüpi (painduv), teine vilgukivi tüüpi (muskoviit või flogopiit) ja kolmas — töötlemist (täht Π — pressitud, täht С — pressimata, täht О — paberaluse olemasolu).

Kuumuskindl mikaniit kuulub kõvade mikaniitide rühma. Teda kasutatakse peamiselt elektrisoojendusaparaatides (ahjudes, teeketjates, triikraudades, keedunõudes jne.). Kuumuskindla mikaniidi töötemperatuur tõuseb kuni 400°. Sideainena kasutatakse boorhaput seatina (õigemini boorhapuseatinaklaas), vedelat klaasi või fosforhapet.

Kuumuskindlat mikaniiti valmistatakse paksusega 0,3—0,7 mm, ta peab sisaldama mitte vähem kui 97% vilgukivi. Kasutatakse tema valmistamisel flogopiiti kui soojuskindlamat vilgukivi sorti suurusega mitte üle nr. 7.

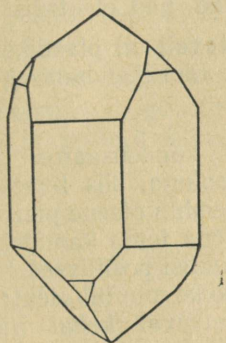
## 54. Kvarts.

Kvarts on looduses laialt levinud mineraal, keemiliselt koostiselt on ta ränioksüüd (SiO<sub>2</sub>). Kvartsi leidub liiva, mäekristalli, kvartsi näol, ta on paljude kivimite koosteosaks. Kvartsi kasutatakse portselani ja klaasi valmistamiseks; mäekristalli kasutatakse tema piezoelektriliste omaduste tõttu elektrotehnikas eriotstarbeks.

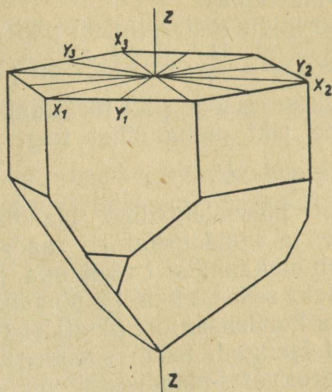
Mäekristall moodustab hästi kujunenud läbipaistvaid kristalle (joon. 77).

Kvartsi kõvadus on Moosi järgi 7, erikaal 2,5—2,8, sulamistemperatuur 1720°. Mäekristall on hästi vastupidav keemilistele reaktiividele. Happed ja alused ei mõjuta teda, ainult fluorvesinik lahustab teda aeg-

laselt. Ta on äärmiselt väikese joonpaisumise koefitsiendiga —  $5,5 \cdot 10^{-7}$ , suure soojusjuhtivusega ja suurepärase dielektriliste omadustega.

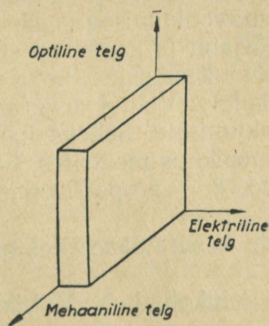


Joon. 77. Mäekristall (piezokvarts).



Joon. 78. Piezokvarts kristalli telgede asetus.

Mäekristallil on järgmised teljed:  $z$  — optiline telg,  $x_1, x_2, x_3$  — elektrilised teljed,  $y_1, y_2, y_3$  — mehaanilised teljed (joon. 78). Kui kristallist välja lõigata plaadike piki telgi  $z$  ja  $y$  (joon. 79) ning avaldada



Joon. 79. Piezokvarts-plaadike.

talle survet piki elektrilist telge, siis plaadikese pindadel tekivad suuruselt võrdsed, kuid märgilt vastupidised elektrilaengud. Seejuures on laengute suurus  $q$  võrdeline survega  $F$ . Selle laengu suurust võib väljendada valemiga  $q = a \cdot F$ , kus koefitsient  $a$  on nn. kvartsi piezoelektriline konstant (ta võrdub  $6,32 \cdot 10^8$  CGSE). Kogu nähtust nimetatakse otseseks piezoelektriliseks efektiks.

Vastupidi, kui anda kvartsplaadikese vastaskülgedele, mis on risti elektrilisele teljele, teatud potentsiaalide vahe  $U$ , siis pikeneb plaat piki elektrilist telge. Pikenemine  $\delta$  on võrdne  $\delta = aU$ . See on pöörd-piezo-elektriline efekt.

Survejõu  $F$  mõjumisel piki mehaanilist telge on tekkivate laengute suurus  $q = a \cdot \frac{l}{t} \cdot z$ , kus  $l$  on plaadikese mõõde piki elektrilist telge,  $t$  plaadikese mõõde piki mehaanilist telge. Vastavalt on plaadikese pikene-mine piki mehaanilist telge teatud pinge  $U$  rakendamisel võrdne  $S = - a \cdot \frac{l}{t} \cdot U$ .

Kui piezoelektriline plaadike paigutada kondensaatori plaatide vahele ja kondensaatorit laadida vahelduvvooluga, siis kvartskristall hakkab mehaaniliselt võnkuma. Seejuures väljendub otsene piezoelektri-line efekt selles, et taktis plaadikese võnkumisega tema kantidel, järeli-kult ka kondensaatori plaatidel tekivad vaheldumisi positiivsed ja nega-tiivsed laengud, teiste sõnadega — kvartsplaadike muutub elektrijuhiks.

Piezokvarts-plaadikesel on nagu igal vetruval kehal mehaani-lise võnkumise juures oma kindel resonants-võnkesagedus, mis on leeb tema mõõdetest ja võnkumise levimise kiirusest kvartsis eneses.

Kui rakendatud elektrivälja sagedus langeb ühte plaadikese omavõn-kesagedusega, siis tekib resonants ja mehaaniliste võngete amplituud suureneb tugevasti, mis kutsub esile piezoelektrilise juhtivuse suurene-mise. Kvartsplaadikese resonantsomadused on väljendatud väga järsult.

Kuna piezokvarts reageerib kõige järsumalt neile võnkumistele, mis langevad kokku tema omavõnkumisega, siis kasutatakse teda kõrge-sagedustehnikas lainemõõtjana ja sageduse stabilisaatorina. Nagu ees-pool öeldud, on leeb omavõnkesagedus keha mõõdetest ja võnkumise levimise kiirusest selles kehas. Võime arvutada lainepikkuse, mis vas-tab piezokvartsi omavõnkumisele. Selleks kasutame järgmist valemit:  $\lambda_0 = \beta \cdot l$ . Siin on  $\lambda$  — lainepikkus meetrites,  $l$  — plaadikese mõõde mm, piki millist levivad võnked,  $\beta$  — proportsionaalsuse tegur, mille suurus on 110—150.

Piezokvarts-preparaate kasutatakse veel survete mõõtmiseks, ultra-hääle tekitamiseks jne.

Parimad mäekristalli leikohad NSV Liidus on Uuralis ja Kau-kaasias.

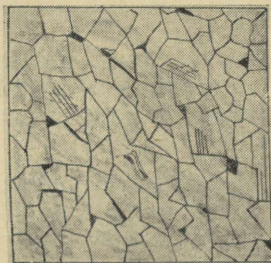
## 55. Marmor.

Marmoriks nimetatakse karbonaatseid kivimeid, mida on võimalik poleerida. Siia kuuluvad nii puhtad lubjakivi sordid ( $\text{CaCO}_3$ ) kui ka magneesiumkarbonaati ( $\text{MgCO}_3$ ) sisaldavad paed, mida nimetatakse dolomiitseiks, kuni puhtate dolomiitideni, mis sisaldavad võrdsetl kalt-siumi ja magneesiumi süsihapusid sooli ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ).

Marmorit on, nagu teisigi lubjakive, kivimite hulgas kerge kindlaks teha, tilgutades temale soolhapet, mille mõjul hakkab sisinaga eralduma süsihape. Marmor on üldiselt ebapüsiv hapete suhtes, ta lahustub ka nõrkades hapetes. Marmor värvus võib olla väga mitmesugune: valge, punane, roheline, hall, must, kollane. Tema värvus oleneb mitmesugustest lisanditest.

Marmorit toodetakse tavaliselt lahtistest karjääridest suurte eba-reeglipäraste tükkidena.

Marmor saagimise tehastes saetakse need tükid plaatideks, freesitakse ja poleeritakse. Saagimine toimub kiikuvate saeraamade abil,



Joon. 80. Marmorit struktuur (50 × suurendus).

millesse on paigutatud terasest lõiketerad, tavaliselt 3 cm kaugusel üksteisest. Saeraam on kettide abil riputatud marmoripanga kohale ja saab tööks vajaliku liikumise elektrimootorilt. Lõikematerjalina riputatakse tera alla koos veega ka liiva.

Saagimise tulemusena saadakse ebakorrapärase kujuga marmoriplaadid, milles on praod ja sageli ka võõrkehad. Nende plaatide freesimisel lõigatakse välja jaotuskilbid, paneelid jne. Freesimine toimub ketassaaga. Sae lõikeserv on ümardatud ja koosneb karborundterakestest, mis on suure kõvadusega (Moosi skaala järgi umbes 9).

Freesimisel ja saagimisel juhitakse terale veejuga, mis uhub välja kivi puru ja jahutab saagi, mis hõõrumise tõttu tugevasti soojeneb. Marmorilõplikuks töötlemiseks on poleerimine. Poleerimine teostub kiiresti-tiirlevate ketaste abil. Selleks kasutatakse kolme ketast. Esimese ketta lõikeserv koosneb nagu freeski karborundteradest, mis on lakiga kokku kleebitud. See ketas kõrvaldab eelnevast töötlemisest jäänud ebatasasused. Edasine silumine toimub luiskudest koosneva ketta abil. Lõpuks antakse viltketta abil läige, kusjuures marmorile riputatakse kroomoksüüdi.

Marmorilõpleritavus oleneb suurel määral tema tihedusest ja ehituse ühtlusest. Hea läike saab anda marmoritele, mille erikaal ei ole

alla 2,6. Marmori tihedus oleneb tema tera suurusest: mida tihedam on marmor, seda peenem on ta tera. Tera jämeduse järgi võib marmorit jagada järgmistesse sortidesse:

- tihe marmor, terasuurus 0,02—0,05 mm,
- peeneteraline marmor, terasuurus 0,3 mm,
- keskmiseteraline marmor, terasuurus 1,3 mm,
- jämedateraline marmor, terasuurus 5,0 mm.

Joon. 80 annab ettekujutuse marmori üldisest struktuurist. On selgesti näha tema teraline ehitus.

Kuni Sotsialistliku Oktoobrirevolutsioonini veeti marmorit sisse peamiselt Itaaliast (peamine maailmaturu varustaja) ja sellepärast olid kodumaistest leiukohtadest ainult udused teated.

Alles pärast revolutsiooni ja eriti viimasel ajal sisseveo lakkamise ja suure nõudmise tõttu marmorile dekoratiivse ehitusmaterjalina ja elektri-isolatsiooni materjalina, võeti kasutamisele terve rida kodumaisei leiukohti.

Kodumaise marmori elektriliste ja mehaaniliste omaduste uurimise tulemusena on võimalik koostada kokkuvõtlik tabel.

Tabel 26.

Leiukoha nimetus	Värvus ja kristallstruktuur	Veeima- vus %	Surve- tugevus kg/cm <sup>2</sup>	Mahu-eri- takistus niisutatult 00m <sup>3</sup> ·cm	tg δ	Läbilöögi- tugevus kV/cm	Pinna-eri- takistus niisutatult 00mm <sup>2</sup>
Ufalei (Uural)	Hallikasvalge, peenekristalliline	0,09	1340	10 <sup>8</sup>	0,07	45	10 <sup>9</sup>
Prohorovo- Balandinsk (Uural)	Puhas-valge, peenekristalliline	0,25—0,85	1190	10 <sup>8</sup>	0,15	35	10 <sup>9</sup>
Koelginsk (Uural)	Valge, keskmise suurusega kris- tallid	0,2	750	10 <sup>7</sup>	0,05	40	10 <sup>8</sup>
Fominsk (Uural)	Kollane, tugevasti rauasoolade poolt värvitud, peene- kristalliline	0,3	596	10 <sup>7</sup>	0,05	35	10 <sup>8</sup>
Agamzalsk (Armeenia)	„Oniks“, läbipaistev, valge, üsna tihe	0,12	1403	10 <sup>8</sup>	0,09	45	10 <sup>9</sup>
Davalinsk (Armeenia)	Must lubjakivi	0,28	1003	10 <sup>7</sup>	0,13	20	10 <sup>8</sup>
Harvirabsk (Armeenia)	Must lubjakivi	0,28	1162	10 <sup>7</sup>	0,18	25	10 <sup>8</sup>

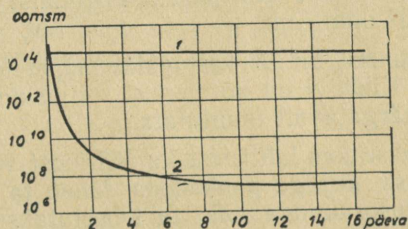
Tabeli 26 andmete võrdlemisel on võimalik teha järgmised järeldused:

1) elektrotehnika otstarveteks on väärtuslikumad need marmorid, mis endast kujutavad ümberkristalliseerunud lubjakivi;

2) ühtlaselt kogu marmori massis jagunenud kõrvallisandid ei vähenda oma vähese hulga tõttu elektrilisi omadusi (näitena võib tuua Fominski marmorit, mis on intensiivse värvusega rauaoksüüdi lisandi tõttu);

3) elektrilistele omadustele mõjuvad negatiivselt sügavad praod, mille kaudu kergesti toimub läbilöökk ja millesse koguneb vett.

Marmori elektriliste omaduste nõrgenemine teostub peamiselt kapillaarse niiskuse arvel (niiskuse tungimine kapillaaridesse).



Joon. 81. Immutatud (1) ja immutamata (2) marmori mahu-eritakistuse suuruse ole-  
nevus 80% relatiivse niiskusega õhus olemise ajast.

Kui marmori mahu-eritakistus on kuivas olekus  $10^{14}$  oom · cm, siis 20-tunnise vees oleku järel langeb ta kuni  $10^6$  oom · cm ja halvamate sortide juures veelgi madalamale.

Häid tulemusi annab marmori hügrooskoopsuse kaotamisel tema immutamine mittehügrooskoopsete ainetega, nagu õli, parafiini, stürooli ja steariinhappega. Joon. 81 näitab piltlikult niiskuse mõju kadumist immutatud marmori juures. Kõver 1 kuulub immutatud marmorile, kõver 2 — immutamata marmorile. Huvitav on võrrelda kõveraid joon. 81 ja 71. Kiuliste materjalide juures, nagu asbest, parandab immutamine tugevasti dielektrilisi omadusi, teatud omaduste halvenemine niiskuse toimel jääb aga püsima. Teralise struktuuriga marmori immutamisel aga paranevad tema dielektrilised omadused väga tugevasti ja nagu nähtub joon. 81, saadakse immutamisel praktiliselt täiesti niiskuse mõjust lahti. Eriti häid tulemusi annab stürooliga immutamine.

Elektrotehnikas kasutatakse marmorit jaotuskilpide ja lahkülilitite paneelide valmistamiseks. Elektrotehnika tarveteks läks 1937. a. 80 000 m<sup>3</sup> marmorit, mis moodustas 43% kogu toodetud marmorist.

## 56. Mitmesugused kivimid.

a) **Kildkivi.** Kildkivi on settekivim, millel on tekkinud suure surve ja kõrge temperatuuri mõjul kihiline ehitus ja mis on piki kihte kergesti lõhestatav. Kildkivi koosneb savist, väga peenikestest kvartsiteradest, vilgukivi libledest, karbonaatseist ainetest ja teistest lisandeist, ta on halli värvusega.

Oma füüsikaliste omaduste poolest on kildkivi lähedane marmorile, mistõttu teda kasutatakse viimase asendajana. Erikaal on 2,7—2,8, kõvadus Moosi skaala järgi 2—3, paindetugevus 500—600 kg/cm<sup>2</sup>, survetugevus 700—1200 kg/cm<sup>2</sup>, läbilöögitugevus 5—10 kV/mm, hügroskoopsus 0,2—1,0%.

Kuivas olekus (pärast kuivatamist 100° juures) on hea kildkivi mahu-eritakistus 10<sup>12</sup> oom·cm, pärast 24-tunnist vees lignemist aga langeb see kuni 10<sup>7</sup> oom·cm.

Erinevalt marmorist on ta vastupidav hapetele, alused mõjutavad teda samuti vähe. Kildkivi on võrdlemisi soojuskindel, kuni 200° talub ta oma omadusi märgatavalt muutmata.

Kildkivi toodetakse kas lahtistest karjääridest või allmaakaevandustest. Ebakorrapärase kujuga pankadena läheb ta kildkivi töötlemise tehaste ettevalmistusosakonda. Siin ta lõhestatakse õhemateks plaatideks ja õgvendatakse servad lint- või ketassaagide abil. Edasi lõhestatakse kildkivi meisli abil plaatideks paksusega 3—8 mm. Saadud plaatidele märgitakse vastavate šabloonide abil vajalikud kontuurid ja saetakse üleliigne osa maha. Suurepinnalisi plaate saadakse kildkivist harva ja need on väga kallid. Elektrotehnikas kasutatakse kildkivi peamiselt lahkliitite paneelideks, reostaatide kommutatsiooniplaatideks ja väikesteks jaotuskilpideks.

Kodumaistest kildkivi leiukohtadest, millel on tööstuslik tähtsus, tuleb märkida Larski leiukohta (Põhja-Kaukaasias), kust saadakse parimate elektriliste omadustega kivi; kasutatakse ka Krivoi Rogi ja Krasnolutski leiukohti (Ukraina). Terve rida leiukohti annavad madalakvaliteedilist kildkivi, mida ei saa soovitada elektrotehniliseks otstarbeks.

Viimasel ajal nii marmor kui ka kildkivi asendatakse sageli asbetsement-plaatidega.

b) **Talk ja talgikivi.** Talk on magneesiumsilikaat  $H_2Mg_3Si_4O_{12}$ , mis oma keemiliselt koostiselt on lähedane krisotüülasbestile. Ta on kõige pehmem mineraal, mis asub Moosi skaalal esimesel kohal (tema kõvadus on 1). Talgile on kerge künnega tõmmata joont. Oma väikese kõvaduse tõttu puruneb ta kergesti peeneks pulbriks; tuntud on talgi-pulbri kasutamine arstiteaduses ja parfümeerias puudrina. Talgi värvus on peaaegu puhas-valge. Elektrotehnikas kasutatakse talki täite-

materjalina plastmasside valmistamisel, kummi, lakeeritud või kompaundeeritud juhtmete kokkukleepumise vältimiseks.

Talgikivi koosneb peenikestest talgilibledest ja reast lisaaineist, nagu dolomiit, kvarts ja teised. Tema struktuur on kas keerukas või peeneteraline. Talgikivi erisort sisaldab talki ja kloriiti ( $H_4Mg_2Al_2SiO_9$ ) ja süsihapisid rauasooli.

Talkkloriit on tumehalli värvusega. Tema erikaal on 3,0; survetugevus 200—300 kg/cm<sup>2</sup>; löögitugevus 1,7—2,8 kg/cm; paindetugevus 200 kg/cm<sup>2</sup>; veeimamine 0,35%; hügrooskoopsus 0,25%; mahu-eritakistus 10<sup>7</sup>—10<sup>8</sup> oom · cm, pinna-eritakistus 10<sup>7</sup>—10<sup>9</sup> oomi, läbilöögitugevus 3 kV/mm.

Talkkloriiti on kerge lõigata, puurida, freesida. Ta võib olla kildkivi ja marmori asendajaks, olles neist mehaaniliselt nõrgem.

Talgi ja talgikivi tagavarad on NSV Liidus suured. Talgi leiukohti on Uuralis (umbes 300 leiukohta), Kasahstanis, Altais, Ida-Siberis ja Kaukaasias. Talgikivist esemeid turustab trust „Karelgraniit” Leningradis.

## XII peatükk.

### KLAAS JA SULATATUD KIVIMID.

#### 57. Klaas.

Keemiliselt koostiselt on klaas peamiselt kolme keemiliste ühendite rühma: happeliste (liiv  $\text{SiO}_2$ ), leelismetallide oksüüdide (näit. naatriumoksüüd  $\text{Na}_2\text{O}$ ) ja leelismulla metallide oksüüdide (näit. lubi  $\text{CaO}$ ) sulam.

Klaasi sulatamisel kasutatakse puhtate naatriumoksüüdi ja lubja asemel soodat ja kriiti, mis sulatamisel muutuvad oksüüdideks, kusjuures eralduv süsihappegaas lendub. Hapendid  $\text{Na}_2\text{O}$  ja  $\text{CaO}$  ühinevad liivas sisaduva ränihappega, andes ränihapusid sooli (silikaate). Nii kuulub klaas silikaatsete materjalide hulka.

Peale loetletud põhi-koosteosade sisaldab klaas veel teisi aineid, mis annavad klaasile mitmesuguseid keemilisi ja füüsikalisi omadusi. Neist on märkimisväärne  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  jt., mida viiakse klaasi väga väikesel määral.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumiiniumoksüüd) tõstab keemilist püsivust ja võimet — püsida purunemata ka järskude temperatuurimuutuste juures.

$\text{ZnO}$  (tsinkoksüüd) annab klaasile suure tõmbetugevuse. Klaasi läbi paistvuse suurendamiseks lisatakse talle  $\text{PbO}$  (seatinaoksüüdi), mille lisand on eriti tähtis klaaside juures, mis lähevad elektrilampide valmistamiseks.

Boorhappe anhüdriid ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) omab klaasi sulatamise juures peamiselt tehnoloogilist tähtsust, kuna märgatava  $\text{B}_2\text{O}_3$  lisandiga klaas sulab kergesti ja klaasi sulatamise protsess kergeneb. Magneesiumoksüüd ( $\text{MgO}$ ) tõstab klaasi keemilist püsivust.

Eritletakse järgmisi klaasi sorte: boorsilikaatne, naatriumseatina-, naatriumkaltsium- ja kaaliumklaasid. Nii võib klaasi lugeda üsna keerulise keemilise koostisega materjaliks.

Klaasesemete töötlemine jaguneb kahte järku: klaasi sulatamine ja eseme enese väljatöötamine. Klaasi sulatamine eespoolmainitud ainete segust teostub kas perioodiliselt töötavas pottahjus või pidevalt töötavas vannahjus. Viimasel juhul samas ahjus toimub samaaegselt nii klaasi sulatamise keemiline protsess kui ka valmisklaasi väljavõtmine. Sulatamise alguses aurab segusse jäänud niiskus ja selle järel veidi

kõrgema temperatuuri juures ka keemiliselt seotud vesi. Edasise temperatuuritõusu juures toimuvad keemilised reaktsioonid segu koostesade vahel ja sulamine, selle juures lendub süsihappegaas.

Esemete väljatöötamine sulatatud klaasist toimub kas käsitsi või mehaaniliselt. Vastavalt toote liigile toimub väljatöötamine kas puhumise, pressimise või venitamise teel. Saadud esemeid kas karastatakse või veel sagedamini — lõõmutatakse. Klaas on karastatud olekus, mida saavutatakse kiire jahutamisega, suure kõvadusega. Karastatuna valmistatakse näiteks aurukatelde juures kasutatavad klaastorud. Karastamist teostatakse sel juhul sellisel, et oleks tagatud vajalik kõvadus.

Klaasesemed võivad karastuse saada ka valmistusprotsessi jooksul, kusjuures karastus on tekkinud kontrollimatult ja sageli tekitab ebapüsiva pingete tasakaalu materjalis. Sellised esemed ei ole termiliselt ja mehaaniliselt püsivad ning purunevad kergesti. Sellepärast lõõmutatakse enamikku klaasesemeid pärast väljatöötamist. Lõõmutamine seisneb selles, et esemeid soojendatakse uuesti ja jahutatakse igale klaasi liigile, klaasi paksusele ja sordile kindlaks määratud kiirusega. Seejuures kaovad kõik klaasis olevad kahjulikud pinged, klaas muutub soojuseliste ja mehaaniliste mõjutuste suhtes stabiilsemaks.

Viimaseks töötlemise staadiumiks on mehaaniline töötlemine, mille juures lõigatakse ära servad, lihvitakse, poleeritakse läike andmiseks puikitastega ja kui on tarvis, siis ka graveeritakse.

Klaasi keemilistest omadustest tuleb kõigepealt märkida tema väikest vastupidavust atmosfäärilistele mõjutustele, kusjuures suurima mõjuga on niiskus ja süsihape. Lahtise õhu käes klaasi pind aeglaselt tuhmub või, nagu öeldakse, tuuldub. Vee mõjul tekib klaasi pinnal õhukese kihina ränihape, mis neelab ahnelt vett. Selle tulemusena langeb tugevasti pinna-eritakistus.

Klaasi põhiveaks on mehaanilise vastupidavuse mõttes tema rabeus, mis sageli takistab klaasi kasutamist elektri-isolatsiooni materjalina. Peale keemilise koostise mõjutavad mehaanilisi omadusi ka klaasi termiline töötlemine ja hangumise kiirus.

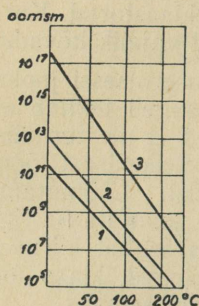
Klaas on amorfne aine. Amorfisuse põhjustajaks on kiire jahtumine. Aeglase jahtumise puhul võime saada klaasi ka osaliselt kristalse ehitusega.

Suureks puuduseks, mis annab ennast tunda eriti vaakuumtehnikas, on kõikide klaaside omadus kõrge temperatuuri juures lasta gaase läbi. Eriti kergesti difundeeruvad kerged gaasid, nagu vesinik ja heelium. Vaakuumparaadid, nagu generaatorlambid, kaotavad aja jooksul oma vaakuumi.

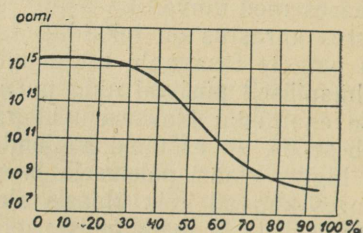
Klaasi mahu-eritakistus langeb ruttu temperatuuritõusuga, nagu see nähtub joon. 82. Mis puutub pinna-eritakistusse, siis tema suurus oleb suurel määral klaasi pinnal olevast niiskusest, nagu see nähtub

joon. 83. Klaasi koostises olevad leelismetallide oksüüdid suurendavad  $\text{tg } \delta$ , kuna raskete metallide oksüüdid (seatina, antimon, baarium) vähendavad teda. Väikseima  $\text{tg } \delta$  suurusega on boorseatina-klaasid.

Klaasi kasutamine elektri-isolatsiooni materjalina on ülemaailmasel levinud peamiselt nõrkvoolu- ja raadiotehnikas. Nõrkvoolu-tehnikas on hästi tuntud klaas-isolaatorid telefoni- ja telegraafipostidel. Siin ei ole nõutav kõrge isolatsioonivõime, vaid tähtis on isolatsiooni odavus ja selles ei suuda säärased materjalid nagu portselan klaasiga võistelda.



Joon. 82. Mitmesuguste klaaside mahu-eritakistuse olenevus temperatuurist.



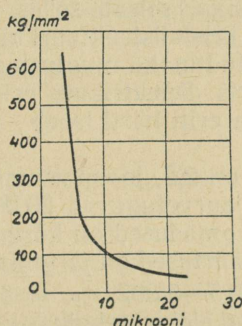
Joon. 83. Klaasi pinna-eritakistuse olenevus niiskusest.

Kuid ka siin on klaasi peamiseks puudusteks tema rabedus ja alluvus atmosfäärilistele mõjudele. Raadiotehnikas ja ka tugevvoolu-tehnikas läheb klaas lampide valmistamiseks: generaatorlampideks, võimenduslampideks ja valgustuslampideks. Generaatorlampide klaasilt nõutakse väikesi dielektrilisi kadusid. Elektrotehnikas on sageli kasutamisel eri klaasi sordid, mida nimetatakse minos- ja püreksklaasiks. Esimesel on suur dielektriline läbitavus ( $\epsilon = 7,5$ ) ja väike  $\text{tg } \delta$ , väike hügroskoop-  
sus ja suur vastupidavus temperatuurile; teda kasutatakse kondensaatorite valmistamiseks. Püreksklaasi iseärasuseks on väike rabedus, väike hügroskoop-  
sus, suur vastupidavus temperatuurile ja hapete mõjule, ta kuulub boorsilikaatklaaside rühma. Püreksklaasi koostis on:  $\text{SiO}_2$  — 80,7%,  $\text{B}_2\text{O}_3$  — 10,5%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 3,5%,  $\text{CaO}$  — 0,7%,  $\text{MgO}$  — 0,6%,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 4%.

Erilist huvi väärrib klaasi kasutamine klaaskiu valmistamiseks. Klaaskiud ilmusid turule 1936. aastal pärast seda, kui oli leitud selle kiu küllaldases koguses valmistamise meetodika. Klaaskiudu võib saada väga suures pikkuses ja ta on küllalt paind-  
v, mistõttu teda võib kedrata ja kududa, kusjuures peened (0,003 mm) klaaskiud on isegi puu-  
villa ja kunstiidi kiududest tugevamad (joon. 84). Selline materjali liik võib eduga asendada asbesti, kuna ta nagu asbestki ei põle ja on vähem hügrokoopne kui asbest, tema eritakistus jääb kõrgeks ka niisutamisel.

Elektrotehnikas on klaaskiud kasutatavad soojuskindla isolatsioonimaterjalina kaablite valmistamisel.

Huvi peaks äratama ka klaasitaolised emailid (mitte segada emailakkidega!). See on klaas, mida kantakse läikiva ja kindla kihina keramiiliste ja metallesemete pinnale. Peale dekoratiivsete, korrosioonivastaste ja peegeldamiskatete kasutatakse neid emaile ka toruliste takistuste isoleerimiseks, mida saadakse traadi kerimisel portselan- või steatiitalusele. Klaas-emaili saamiseks sulatatakse tiiglis kindla koostisega segu („Dünamo” tehase retsept: 27% boorhapet, 70% seatina-



Joon. 84. Klaaskiu tõmbetugevuse olenevus läbimõõdust.

oksüüdi, 3% mangaanülilhapendit) ja valatakse see vedelana külma vette, kus ta tardub. Saadud mass jahvatatakse kuulveskis vee juuresolekul peeneks pulbriks. Kuiv pulber või ta segu veega kantakse emailitavale esemele ja soojendatakse ahjus temperatuuril, mis on küllaldane emaili sulamiseks.

## 58. Sulatatud kvarts.

Kristallilise kvartsi väga kõrged isolatsiooniomadused sundisid otsima teid sulatatud kvartsist mitmesuguste fassongesemete valmistamiseks. Peamiseks raskuseks selle juures oli kvartsi kõrge sulamistemperatuur ( $1720^{\circ}$ ) ja suur viskoossus ning tugev aurumine sulanud olekus. Kõik need momendid teevad tehnoloogilise protsessi keerukaks ja alles viimasel ajal on jõutud üsna rahuldavate tulemusteni.

Sulatatud kvarts võib olla läbipaistev või läbipaistmatu. Läbipaistev sulatatud kvarts (nimetatakse ka kvartsklaasiks) saadakse suurekristallilisest kvartsist, kuna läbipaistmatu sulatatud kvarts saadakse kvartsilivast. Sulatamine toimub ühel kui ka teisel juhul elektriahjus.

Kvartsklaas laseb hästi läbi ultraviolettkiiri, mistõttu teda kasutatakse arstlikeks ja laboratoorseiks otstarveteks tarvitavate lampide

(nn. kvartslampide) valmistamiseks. Sulatatud kvarts on suure vastupidavusega järskudele temperatuurimuutustele, ta peab vastu kõigile hapetele peale fluorvesinikhappe ja fosforhappe, leelised aga ja aluselise reaktsiooniga soolad mõjutavad teda. Sulatatud kvarts ei adsorbeerigi oma pinnale niiskust, mistõttu ta pinna-eritakistus niiskuse mõjul peaaegu ei muutu. Analoogiliselt klaasile laseb ta aga gaase läbi, eriti kõrgete temperatuuride juures. Nii on vesiniku ja heeliumi difusioon märgatav juba 220° juures, kõrgematel temperatuuridel (1100—1300°) sulatatud kvarts laseb läbi ka teisi gaase. Sulatatud kvartsi paremus, võrreldes kristallilise kvartsi, seisab selles, et tema juures ei esine kristallilisele kvartsile omast kristallstruktuuri muutumist kõrgete temperatuuride juures, mis on seotud mahu muutustega. Elektriliste omaduste poolest asub sulatatud kvarts dielektrikute esireas. Eriti iseloomustav on tema väike  $\text{tg } \delta$ , mis teda eriti hästi laseb kasutada raadiotehnika otstarveteks.

Sulatatud kvartsi erikaal on 2,2, joonpaisumise koefitsient  $5,9 \cdot 10^{-7}$ , tõmbetugevus 700 kg/cm<sup>2</sup>, survetugevus 20 000 kg/cm<sup>2</sup>. Läbipaistva sulatatud kvartsi elektrilised omadused on kõrgemad kui läbipaistmatul. Nende omaduste keskmised väärtused on järgmised:  $\rho_v = 10^{16}$  oom · cm,  $\rho_s = 10^{15}$  oomi,  $\text{tg } \delta = 0,0015-0,002$ ,  $\epsilon = 3,5$ ,  $E_d = 30$  kV/mm.

Sulatatud kvarts on leidnud elektrotehnikas kasutamist mitmesuguste kõrgesageduse ja kõrgepinge isolaatorite valmistamisel, nagu induktioonpoolide alused, katoodlampide paneelid, generaatorlampide pirnid, eriti suure võimsuse puhul. Viimane kasutamise juhtum on tingitud sulatatud kvartsi kõrgetest isolatsiooniomadustest (väike  $\text{tg } \delta$ , suur läbilöögitugevus), suurest soojuskindlusest ja lambi remondi võimalusest. Sulatatud kvartsist generaatorlambi remontimine on väga lihtne. Pöörleva karborundkettaga lõigatakse osa pinnist ära koos remontimisele kuuluvate metallosadega. Peale remonti joodetakse äralõigatud osa jälle külge.

Lõpuks valmistatakse sulatatud kvartsist mootori süüteküünalde ja elektrifiltrite isolaatoreid.

## 59. Sulatatud basalt.

Basalt ja talle lähedase koostisega diabaas on vulkaanilise päritoluga kivimid, mille keemiline koostis on järgmine: ränihapet 40—50%, rauahapendit 12—25%, alumiiniumi-hapendit 11—23%, ülejääk on kaltsiumi, magneesiumi ja teiste metallide hapendid. NSV Liidus on suuri basaldi leiukohti Siberis, Karjalas, Ukrainas ja Kaukaasias.

Basalt sulab nagu metall ja teda võib valada vormi. Basaldi sulamistemperatuur on 1100—1200°. Basaldist eseme jahtumine peale valamist peab toimuma ettevaatlikult ja aeglaselt. Valatud basalt jahtumisel kristalliseerub, kusjuures ta pikad kristallid põimuvad üksteise ümber.

Selle omapärase struktuuri tõttu on basalt väga tugev materjal (survetugevus on 2000—3000 kg/cm<sup>2</sup>, tõmbetugevus 400 kg/cm<sup>2</sup>). Ta kõvadus on nii suur, et pinna lihvimine on teostatav suurte raskustega. Erikaal — 3.

Basaldi joonpaisumise koefitsient on lähedane raua joonpaisumise koefitsiendile, mistõttu temasse saab sisse valada raudosi, mis rea isolatsiooni konstruktsioonide juures lahendab kinnitusküsimuse. Keemilistest omadustest tuleb märkida basaldi happe- ja alustekindlust, mistõttu basalti kasutatakse suurel hulgal happekindla aparatuuri valmistamisel.

Sulatatud basaldi elektrilised omadused on võrdlemisi madalad, nii on  $E_a$  umbes 6 kV/mm,  $tg \delta$  umbes 0,02,  $\epsilon = 9$ ,  $q_v = 10^{13}$  oom · cm

Elektrotehnikas kasutatakse basalti isolaatorite valmistamiseks madalatele pingetele.

## 60. Mikaleks.

Mikaleks on kunstlik isolatsioonimaterjal, mida valmistatakse vilgukivist ja boorhapust seatinast (boorseatina-klaasist) kaunis keeruka menetluse teel. Valmistuse põhetappideks on koosteosade ettevalmistus, nende segamine ja kaks sellele järgnevat pressimist — külm ja soe. Hästi peenendatud vilgukivi pestakse põhjalikult läbi ja kuivatatakse, siis söelutakse ta läbi sõela, millel on 1200 auku 1 cm<sup>2</sup> kohta. Boorhapu seatina valmistatakse kahest kaaluosast PbO ja ühest kaaluosast boorhapest H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Mikaleksis on ta sideaineks. Mikaleksi valmistamiseks kasutatakse sagedamini järgmist segu koostist: jahvatatud vilgukivi 3 osa ja boorhapu seatina 2 osa. Pärast segamist ja niisutamist segu pressitakse külmalt plaatideks või torudeks survega 500 kg/cm<sup>2</sup> ühe minuti jooksul. Saadud tooresemed kuivatatakse 150—180° juures. Järgnevat soe pressimine teostatakse 500° ettesoojendatud pressvormides survega 650 kg/cm<sup>2</sup>. Protss lõpeb pressitud eseme aeglase jahutamisega termostaadis.

Võrdlemisi hiljuti leiutatud mikaleks on hea omadustega isolatsioonimaterjalina elektrotehnikas kiiresti levinud. Tema iseärasuseks on kõigepealt väike  $tg \delta$ , mistõttu teda laialdaselt kasutatakse raadiotehnikas. Koos suure mehaanilise tugevusega on tal omadus anda tihedat kontakti metallidega ja oma väikese joonpaisumise koefitsiendi tõttu laseb enesesse hästi pressida metalloosi. Temast tehakse elavhõbealaldajate anoodtühendid. Mikaleksi erikaal on 3,3, tõmbetugevus 490 kg/cm<sup>2</sup>, survetugevus 1200—1300 kg/cm<sup>2</sup>,  $q_v = 10^{16}$  oom · cm,  $tg \delta = 0,002$ ,  $\epsilon = 8$ ,  $E_a = 15—24$  kV/mm.

Mikaleksi on kerge saagida, treida, freesida ja puurida. Ta on võrdlemisi soojuskindel, kannatab omadusi kaotamata kuni 300—350° ja rohkemgi.

### XIII peatükk.

#### KERAAMILISED MATERJALID.

Keraamilisteks materjalideks nimetatakse mineraalaineid, mis on kõrge temperatuuri juures kokku paakunud. Enamiku keraamiliste materjalide põhi-koosteosaks on savi. Savi on määrs olekus plastiline ja võimaldab esemete vastavat vormimist. Peale põletamist aga muutuvad savist esemed molekulaarse vee kaotamise tõttu kõvaks ega pehmine vee mõjul, omandades seejuures võrdlemisi suure mehaanilise tugevuse.

#### 61. Portselani valmistamine ja omadused.

Tähtsamaks keraamilise rühma elektri-isolatsiooni materjaliks on portselan, mida elektrotehnikas kasutatakse võrdlemisi laialdaselt.

Portselani valmistamiseks kasutatavad põhimaterjalid on:

1) kaoliin — puhas hele savi, harilikult segatud teiste plastiliste tulekindlate savidega;

2) kvarts — peenendatud kvartsi või kvartslüüa näol;

3) põldpago — laialt levinud mineraal, harilikult kollaka või roosaka värvusega, koostis  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  (kaaliumpõldpago),  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  (naatriumpõldpago) või mõne taolisega.

Peale selle sisaldab portselan tavaliselt vana portselani jäätmeid pulbri näol.

Savi moodustab umbes poole portselani valmistamiseks kasutatava segu koostisest. Ainult savist koosnev lähtematerjal on liiga sitke, annab kergesti pragusid ja on suure kokkutõmbumisega põletamisel. Vormimist hõlbustava kleepumise vähendamiseks kasutatakse lahjendavate materjalide (kvarts, vana portselani puru) lisandit. Nii savi kui ka kvarts on tulekindlad materjalid ja portselani põletamise temperatuuri juures ( $1300-1400^\circ$ ) püsivad tahketena. Põldpago on kõige kergemini sulav koosteos (sulamistemperatuur  $1100^\circ$ ). Põldpago sulab portselani põletamise temperatuuri juures ja moodustades klaasitaolise massi, on sideaineks kristallilisele kvartsile ja veetule savile, astudes nendega osaliselt keemilisse ühendusse. Sulanud põldpao juuresolu garanteerib teiste

koosteosade tugevat mehaanilist ühendamist ja valmisportselani väikest hügroskoopsust. Kuna naatriumpõldpago sulab madalama temperatuuri juures kui kaaliumpõldpago ja on seejuures viimasest vedelam, mis võib põhjustada esemete deformatsiooni põletamisel, siis on kaaliumpõldpago portselani valmistamisel eelistatavam. Koosteosade suhe mõjutab tugevasti valmisportselani omadusi. Nii näiteks suureneb portselani mehaaniline tugevus kvartsi- ja põldpao-sisalduse suurenemisega ja kaoliini vähenemisega. Portselani termiline püsivus aga tõuseb kaoliini-sisalduse suurenemisega. Põldpao-sisalduse suurenemine tõstab põldpao läbilöögitugevust, liigne põldpao-sisaldus aga kutsub esile dielektriliste omaduste halvenemise,  $\text{tg } \delta$  tõuseb ja  $q_c$  väheneb, eriti kõrgemate temperatuuride juures.

Kõrgepingelise elektrotehnilise portselani valmistamise parim toor segu koostis on järgmine: savi 42—50%, kvartsi 10—25%, põldpago 8—20%, vana portselani 18—23%.

Väikese põldpao-sisaldusega poorilist portselani nimetatakse fajansiks, mida kasutatakse peamiselt toidunõude ja muude elutarbeliste esemete valmistamiseks.

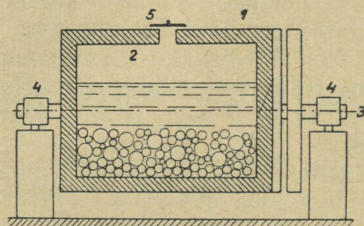
Portselaneseemete valmistamine algab veega niisutatud segu, nn. portselani massi ettevalmistamisega. Üksikud koosteosad peavad olema hästi puhastatud igasuguseist lisanditest, mis võivad halvasti mõjuda portselani omadustele. Segu peenendatakse ja segatakse põhjalikult. Koosteosade korralik peenendamine ja segamine on ühtlase ja kõrgeväärtusliku portselani saamise eeltingimuseks.

Kvartsi ja põldpago on otstarbekohane enne jahvatamist läbi kuumutada umbes 900° juures, mis tõstab nende rabedust ja kergendab järgnevat jahvatamist ja lisandite kõrvaldamist. Peale selle toimub kvartsis kuumutamisel kristallstruktuuri muutumine, mis on seotud mahu suurenemisega kuni 14%. Kui selkuuumutamist mitte teostada, siis toimub mahu suurenemine portselani põletamisel, mis mõjub portselani tugevusele negatiivselt. Vähem vastutavate portselaneseemete valmistamiseks kasutatakse kuumutamata kvartsiiva. Savi puhastatakse sadendamise teel, kusjuures suuremad kivised koosteosad sadenevad kiiremini sadendamise põhja.

Kõvemad portselanmassi koosteosad, nagu kvarts, portselani jäätmel ja põldpago, peenendatakse kollerveskis. Teisi kivimite purustajaid kasutatakse harvemini.

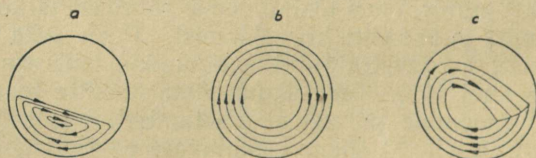
Peale sõelumist peenendatakse nimetatud materjalid kuulveskites. Kuulveski läbilõige on toodud skemaatilisel joon. 85. Terastrummel (1), läbimõõduga 500—2000 mm ja samasuure pikkusega, seest kaetud voodriga (2), pöörleb horisontaalvõllil (3). Läbi ava (5) laetakse trumliisse peenendamisele kuuluvad materjalid, teatud arv kuule ja vesi. Trumli pöörlemisel kuulid peenendavad hästi nende vahel asuva materjali. Eriiist tähelepanu tuleb osutada õigele trumli pöörete arvu valikule.

Liiga väikese pöörete arvu juures veerevad kuulid ainult materjali pinnal (joon. 86<sup>a</sup>), liiga suure pöörete arvu juures surub tsentrifugaaltung kuulid vastu trumli seina ja nad tiirlevad koos sellega (joon. 86<sup>b</sup>). Oieti valitud kiiruse juures, mida võib määrata Fischeri empiirilise valemiga  $n = 32 : \sqrt{d}$  pööret/min. (kus  $d$  on trumli sisemine läbimõõt meetrites), tõusevad kuulid küllaldasele kõrgusele ja kukkudes peenendatavale



Joon. 85. Kuulveski.

materjalile muljuvad ja hõõruvad teda katki (joon. 86<sup>c</sup>). Nii kuulid kui ka trumli vooder on valmistatud kõvast (põletatud) portselanist või kvartsiidist. Voodri kasutamine on tingitud sellest, et vältida metalliosakeste sattumist portselanist segusse, selsamal põhjusel valmistatakse ka kuulid portselanist, mitte terasest. Kuulide läbimõõt on 30—70 mm piirides, kusjuures trumliisse tuleb panna mitmesuguse läbimõõduga kuule, mis kiirendab jahvatust ja parandab selle kvaliteeti.



Joon. 86. Kuulide liikumine kuulveskis.

Savi lisatakse veskisse peale kõvade materjalide peenendamist või segatakse muude koostesadega erilistes segajates koos veega. Vedel segu lastakse läbi sõela, millel on 6400 auku 1 cm<sup>2</sup>, veel alles jäänud suuremate osakeste kõrvaldamiseks, ja seejärel läbi magnetseparaatori, kus kõrvaldatakse metallilise raua lisandid, mis jäävad elektromagneti pooluste külge.

Saadud segu sisaldab liiga palju vett. Ta pumbatakse filterpressidesse, kus survega 10 kg/cm<sup>2</sup> pressitakse suurem osa vett välja. Paremaks filtreerimiseks soojendatakse vedelat massi kuni 40—45°.

On mitu portselan-isolaatorite vormimise viisi. Põhiviisideks on treimine, valamine ja pressimine.

Treimise teel vormistatakse isolaatorid, millel on pöörlemiskehade kuju (elektriliinide posti-isolaatorid, telegraafi-isolaatorid, tugi-isolaatorid jne.). Portselanmass, mis läheb treimisele, lastakse plastilisuse suurendamise otstarbel teatud aja seista ja sõtkutakse seejärel mehaanilises savisõtkujas põhjalikult läbi. Sõtkumise otstarve on massi põhjalik läbisegamine ja õhumullikeste kõrvaldamine. Sõtkumist täiendatakse sagedasti veel käsitsi savi muljumisega, mis seisneb selles, et savi lõigatakse tükkideks, visatakse lauale, muljutakse jälle kokku, lõigatakse uuesti tükkideks, muljutakse jälle kokku jne.

Treimist teostatakse kas kipsist vormis, millel on eseme väliskuju, ja sisemus treitakse metallšablooniga, või vabalt, misjuures treitav savitükk ei asu vormis, vaid lahtiselt pöörleval laual. Treimisel kasutatavast taignataolisest massist valmistatakse kas sadulakujulised või muude profiilidega isolaatorid voolimise teel kipsvormides ja portselanitorud vastavast avast väljapressimise teel.

Kipsvormid on suure tähtsusega isolaatorite valamisel. Need vormid valmistatakse 150—200° juures põletatud kipsist, mida segatakse 70—80% veega ja kuivatatakse temperatuuril kuni 65°. Nii saadud kips on veel väga hügrokoopne ja märja portselanmassiga kokku puutudes imeb sellest vee enesesse. Valamiseks kasutatakse üsna vedelat portselanmassi, mida nimetatakse šlikeriks. Šlikerit valmistatakse sageli filterpressi läbinud massist, lahjendades seda veega erisegajas; mõnikord saadakse teda otse kuulveskist, kusjuures filtreerimine jääb ära. Esimesel juhul on kergem tagada šlikeri omaduste homogeensust, teine valmistamisviis aga on lihtsam: šlikerile lisatakse tavaliselt juurde leelist (soodat, vesiklaasi), mis teeb ta väiksema veesisalduse juures voolavamaks ja lühendab vormis pidamise ja kuivatamise aega. Šlikeri valamisel kipsvormi (harilikult lahtivõetavasse) imeb kips ahnelt portselanmassilt vett, seda eeskätt pinnakihtidest, mis kipsiga kokku puutuvad. Mõne aja pärast saadakse küllalt paks tahenenud pinnakiht ja võib võtta vormi lahti ning eseme välja, ilma et karta oleks selle lagunemist, kuigi eseme massis on niiskus veel küllaltki suur. Valamise teel on võimalik saada küllalt keerulise kujuga esemeid. Kui on tarvis valmistada õonesesemeid, siis asetatakse vormisse veel kipsist südamik.

Peale vormimist treimise või valamise teel töödeldakse saadud esemeid veel täiendavalt (täpsem treimine, nuutide sisselõikamine jne.), harilikult pärast lühikest kuivamist.

Stantsimiseks kasutatakse üsna väikese veesisaldusega massi, mida saadakse filterpressi läbinud massist pärast selle kuivatamist 100° juures. Kuivatamisel väheneb veesisaldus kuni 2—4%-ni. Sellele massile lisatakse kuni 50% isolaatorite treimisel saadud jäätmeid ja segu peenendatakse kollerveskis või desintegraatoris. Saadud portselanitölm lastakse läbi magnetseparaatori ja pöörleva sõela, seejärel lisatakse

talle sideainet, mis koosneb petrooleumis või tärpentinis lahustatud vaikudest ja õldest, ja veidi vett. Sideaine soodustab pressimist ja põleb portselani põletamisel välja. Segatud mass peenendatakse desintegraatoris ja asetatakse seisma kinnistesse kastidesse, kus ta oma kaalu mõjul tiheneb ja osakeste vahele jäänud õhu välja surub. Pressimine ise teostatakse terasvormides mitmesuguste konstruktsioonidega pressidel. Pressimist kasutatakse peamiselt väiksemate portselanesemete masstootmisel.

Sel või teisel viisil vormitud isolaatoreid kuivatatakse liigse vee kõrvaldamiseks. Kuivatamist teostatakse kuivatites või otse töökojaruumides.

Järgmised, kõrgekvaliteedilise portselani saamiseks eriti tähtsad operatsioonid on glasuurimine ja põletamine. Glasuuriks nimetatakse massi, mis kantakse portselani pinnale ja mis põletamisel sulab ning ühtlase, läikiva, klaasitaolise õhukese kihina katab kogu pinna. Kuigi portselaniil on klaasistunud põldpao tõttu tihedam struktuur kui paljudel teistel keraamilistel toodetel, on ta siiski teatud määral pooriline ja hügrokoopne ning annab põletamisel ebatasase ja mati pinna. Glasuur kaitseb portselani niiskuse sissetungimise eest ja teiselt poolt tõstab pinna-eritakistust, glasuuritud pinna külge ei jää mustust, esemete välimus on nägusam. Värviliste esemete saamiseks lisatakse glasuurile vastavat värvainet (harilikult mitmesuguste metallide oksüüde ja sooli). Lõpuks suurendab glasuurimine ka portselani mehaanilist tugevust.

Glasuur on üldiselt portselaniga sarnanev mass, temas on ainult kergesti sulava põldpao sisaldus suurem, sageli lisatakse glasuurisse ka muid aineid, nagu kriiti, magnesiiti jne.

Glasuuri sulamistemperatuur peab olema mada'am kui portselaniil, et põlemistemperatuuri juures, kus portselan ainult pehmeneb, glasuur sulaks ja hästi kataks portselani pinna. Liiga mada'a sulamistemperatuuri juures sulab glasuur põletamise esimeses staadiumis, kui portselaniist veel eralduvad veeaurud, need aurud läbivad glasuurikihti ja kisivad selle katki. Liiga kõrge sulamistemperatuuri juures ei anna glasuur klaasitaolist katet. Glasuur peab jääma väga tugevasti portselani pinna külge ja eriti tähtis on, et ta omaks portselaniga ühesugust paisumistegurit. Kui glasuuril on portselaniga võrreldes liiga väike paisumistegur, siis tekivad temperatuuri kõikumiste puhul glasuurisse peened praod. On aga glasuuri paisumistegur suurem, siis võib glasuur temperatuuri kõikumistel portselani pinnalt ära tulla.

Glasuurimise protsess seisneb selles, et glasuurimiseks määratud iso'aator kastetakse lühikeseks ajaks veenõusse, kuhu on sisse segatud peenike glasuuripulber (peenendamine toimub kuulveskis). Kui isolaator peab mõnes kohas jääma ilma glasuurita, siis kaetakse need kohad parafiiniga. Suured ja rasked esemed glasuuritakse pulveriseerimise teel.

Sagedasti elektrotehniline portselan glasuuritakse enne põletamist, s. t. kaetakse glasuurimassiga enne ahju asetamist ja siis põletatakse. Mõningail juhtudel aga, eriti õhukeste seintega esemete juures, võib ka lühiajaline glasuurisegusse kastmine eseme läbi niisutada ja deformatsiooni esile kutsuda. Sel juhul teostatakse nn. eelpõletamist umbes 900° juures. Sellise põletamisega saadav portselan on veel küllalt pooriline, kuid on juba tugev ega karda niiskumist glasuurisegus. Peale glasuuriga katmist läheb ta lõplikule põletamisele.

Enne glasuurimist puhastatakse portselani pind harjade või õhujoaga tolmut ja juhuslikust mustusest. Peale glasuuri pealekandmist kuivatatakse esemed kuni 1,5—2% niiskuseni, puhastatakse lõplikult ja sel kujul on nad põletamiseks valmis.

Portselani põletamise ahjud köetakse söe, nafta või gaasiga, võimalik on ka elekterkütte kasutamine.

Portselani põletamine võib toimuda perioodiliselt või pidevalt töötavas ahjus. Viimast nimetatakse tunnelahjuks. Perioodilistes ahjudes põletades tuleb põletamise lõpul ahi ära jahutada, et põletatud portselani välja võtta ja uut sisse panna. Tunnelahjud võimaldavad pidevat põletamist, kuna põletamisele kuuluv portselan liigub vastavaiis vagonettides ühest ahjuotsast sisse, läbib aeglaselt ahju ja tuleb teisest ahjuotsast välja. Tunnelahjud on pikerguse kujuga, portselanivabrikutes kasutatakse tunnelahje kuni 100 m pikkusega. On selge, et tunnelahjud on kasulikumad, kuna nende produktiivsus on suurem.

Põletamise kestus on olenevalt esemete suurusest ja koostise retseptuurist 20 kuni 70 tundi. Mitte vähem aega ei lähe põletatud esemete jahutamisele, enne kui neid võib ahjust välja võtta. Seejuures põletamine maksimaalse temperatuuri juures ei kesta kaua, kaua aega kulub järk-järguliseks temperatuuri tõstmiseks (et vältida toodete rikkumist eralduvate gaaside ja aurude poolt), samuti läheb aega põletatud portselani jahutamiseks (temperatuuripingete ja pragude vältimiseks). Tunnelahjus reguleeritakse ülessoojendamise ja jahtumise kiirust vastavate ahjuosade temperatuuri valikuga, kõige kõrgem on temperatuur ahju keskosas, kuna otste poole see järk-järgult langeb.

Põletamisele kuuluvad esemed asetatakse ahju šamottsilindrites või kapslites, et vältida leegi otse mõju. Kapslimaterjali sulamistemperatuur ei või olla alla 1700°. Kapslite iga on võrdlemisi lühike (5—15 põletamist). Katkiläinud kapslite materjali kasutatakse uute kapslite valmistamisel lisandina šamottmassile. Kapsli põhi, millel asub põletatav iso-laator, peab olema glasuurimata, kuna muidu jääks ta sinna külge kinni.

Põletamisel tekib portselani mahu vähenemine, mis on tingitud savi molekulaarvee lendumisest ja tema kristallstruktuuri muutumisest. Mahu vähenemine algab juba kuivatamisel õhu käes. Portselaani mahu

vähene mine on kaunis suur, ta võib ulatuda kuni 20%. Vertikaalsuunas (arvestades eseme asendit ahjus) on see mahu vähenemine tavaliselt suurem kui horisontaalsuunas. Mahu vähenemist arvestades peab vormima esemed suuremaina, kui seda on nende valmismõõted. Kuna aga on raske ette aimata mahu vähenemise määra (paratamatud koostise kõikumised, põletamise režiimist olenevad kõikumised jne.), ei ole ka võimalik saada täpsete mõõdetega valmistooteid; vajalik tolerant on 2—5%.

Portselanesemete kuju ja mõõted on üsna vabalt valitavad. Kuna paksus kihis põletamine toimub ebaühtlaselt, siis soovitatakse isolaatori seinä paksust teha mitte üle 25 mm.

Tuleb vältida õhukeste põiklõigete järske üleminekuid paksudeks, üleminekukohtadel võivad põletamisel tekkida ebaühtlaste temperatuuripingete tõttu praod. Kõik isolaatori nurgad tuleb võimalikult ümardada. Portselandetailide ühendamine omavahel võib teostuda ühendatavate pindade glasuurimise ja põletamise teel, kusjuures glasuur ühendab need pinnad küllalt tugevasti. Selline ühendamisviis on otstarbekohane peamiselt seal, kus on tähtis puhtmehaaniline ühenduskoha tugevus või vedelike ja gaaside läbitungimise vältimine. Piki glasuurikihti ei ole soovitat rakendada tugevat elektrivälja, kuna glasuur on vähem kindel isolatsioonimaterjal kui portselan, eriti veel, kui arvestada glasuurikihi ebaühtlast paksust. Sellisel teel saadakse parim ühendus, kui ühendatavad pinnad asuvad horisontaalselt ja glasuuritav pind on küllalt suur.

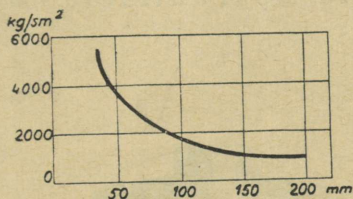
Portselandetaile võib ühendada üksteisega ja metalldetailidega ka portlandtsemendi, seatinaoksüüdi-glütseriini kitiga (15 osa seatinaoksüüdi ja 1 osa glütseriini), samuti seatinaga ja teiste kergesti sulavate metallidega. Seatina ja teiste metallide kasutamisel soojendatakse ühendatavaid detaile temperatuuripingete ja pragude tekkimise vältimiseks.

Õieti koostatud ja põletatud portselani põhiomadused on järgmised: erikaal 2,3—2,5, joonpaisumise koefitsient 15—100<sup>0</sup> intervallis 3,0 · 10<sup>-6</sup>—4,5 · 10<sup>-6</sup> ühe kraadi kohta; tuleb märkida, et see suurus on vastavaist raua (11 · 10<sup>-6</sup>) ja tsemendi (14 · 10<sup>-6</sup>) suurustest väiksem, mis loob teatud raskusi kõrgepinge portselan-isolaatorite armeerimisel ja kinnitamisel; soojusjuhtivus on 0,01, erisoojus 0,25, kõvadus Moosi skaala järgi 7.

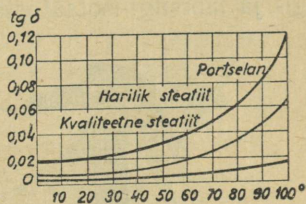
Survetugevus on üsna suur, ta on tavaliselt 4000—5500 kg/cm<sup>2</sup>, väikese ristlõikega esemete juures on ta suurem kui suure ristlõikega esemete juures (joon. 87). Tõmbetugevus on märksa väiksem (350—500 kg/cm<sup>2</sup> glasuuritud portselanil ja 200—300 kg/cm<sup>2</sup> glasuurimata portselanil), samuti on väiksem ka paändetugevus (800—1000 kg/cm<sup>2</sup>). Suurem survetugevus võrreldes teiste tugevuste liikidega on iseloomustavaks nähtuseks mitte ainult portselani, vaid ka teiste keraa-

miliste ja mineraalmaterjalide juures. Portselan on võrdlemisi rabe, tema löökpaindetugevus on umbes 2 kg/cm.

Portselani läbilöögitugevus on üldiselt küllalt kõrge, langeb aga kiiresti seinapaksuse suurenedes (joon. 38). Mahu-eritakistus langeb üsna kiiresti, dielektriline läbitavus ja kadude nurk suurenevad temperatuuri

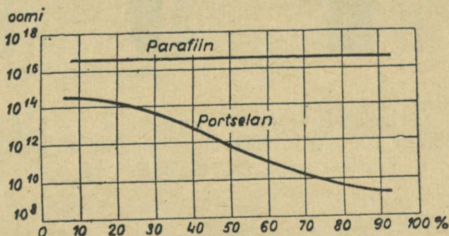


Joon. 87. Portselani survetugevuse olenevus läbimõõdust.



Joon. 88. Portselani ja steatiidi tg δ olenevus temperatuurist.

tõusuga (joon. 38, 88 ja 96), läbilöögitugevus seejuures langeb. Selle tõttu on portselani kasutamine isolatsioonimaterjalina kõrgemate temperatuuride juures raskendatud. Ka glasuuritud portselani pinna-eritakistus langeb märgatavalt niiskuse suurenemisega (joon. 89). Portselan on väga vastupidav mitmesugustele keemilistele reaktiividele,



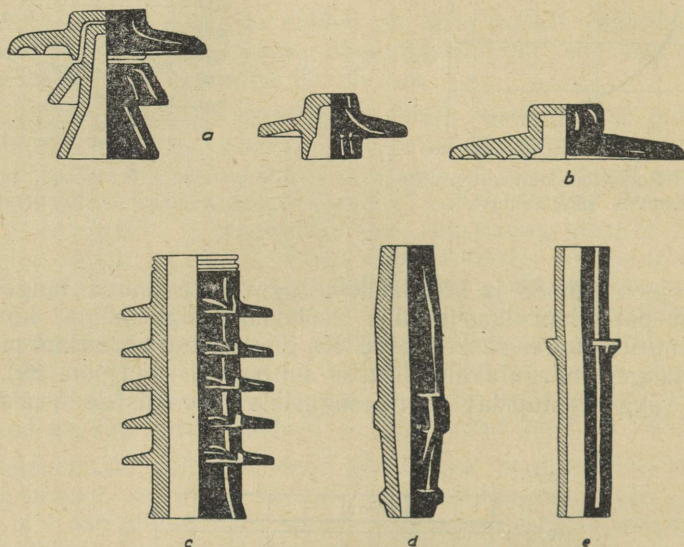
Joon. 89. Portselani ja parafiini  $q_8$  olenevus õhu niiskusest.

samuti pinnalahendustele. Hea portselan ja temal asuv glasuur hävib alles pikemaajase võimsa voltakaare mõjul.

Portselanile kui materjalile ei ole koostatud norme ega standarde, nende asemel aga esinevad normid isolatoritele ja teistele portselan-toodetele. See on seletatav sellega, et portselani omadustele avaldab suurt mõju vormimise, põletamise jne. režiim seoses eseme kujuga ja mõõdetega, seepärast standardkujuga portselanesemelt ei saa nõuda samu omadusi kui mitmesugustelt isolatoritelt.

## 62. Portselan-isolaatorid.

Portselanist valmistatakse väga mitmesuguseid isolaatoreid ja teisi elektrotehnilisi tooteid. Need on liini-isolaatorid — rippisolaatorid eriti kõrgete pingete jaoks (üle 35 kV) ja tugi-isolaatorid madalamate pingete jaoks, statsionaarsed isolaatorid — tugi- ja läbiviigi-isolaatorid, isolaatorid aparaatidele, mis



Joon. 90. Tüüpilised portselan-isolaatorite kujud: *a* — tugi-isolaator, *b* — rippisolaator, *c* — õlilahklüliti tüüp MK läbiviigi-isolaator, *d* — seesama, tüüp BM-22, *e* — seesama, tüüp BM-14.

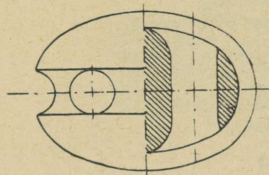
leivad kasutamist transformaatorites, õlilahklülites, kaitsmetes jne., seadmete tugi-isolaatorid — rullid, padrunite detailid, kaitsmete, lülitite jne. osad, antenni, telefoni ja telegraafi isolaatorid. Käesolevas raamatus piirdume lühikeste märkustega kõige tähtsamate isolaatorite tüüpide kohta.

Joon. 90 on toodud mõned sagedamini kasutatavad portselan-isolaatorite tüübid.

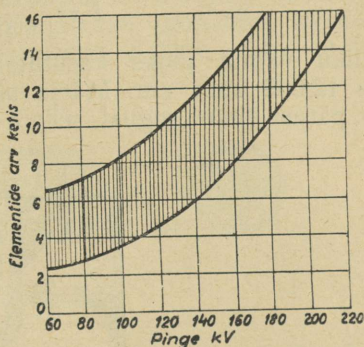
Isolaatorite konstrueerimisel tuleb silmas pidada, et portselani survetugevus ületab märgatavalt tema tõmbetugevuse ja paindetugevuse, nagu see on juba eespool märgitud. Sellepärast pannakse suurtele mehaanilistele pingetele alluvad isolaatorid tööle survele. Nii näi-

teks antenni isolaator (joon. 91), mis lõpptulemusena annab edasi ainult tõmbepinget, on konstrueeritud selliselt, et tema mehaanilist koormust edasiandev osa kahe ava vahel, mida läbivad juhtmete lingud, on pandud töötama survele.

Üleliiduline standard OCT 3370 määrab kindlaks järgmised liini-isolaatorite margid.



Joon. 91. Antenni-isolaator.



Joon. 92. Isolaatorite arv ketis.

Tugi-isolaatorid: III-6 liinidele, mille nimipinge on alla 6 kilovoldi, III-10 liinidele kuni 10 kV, III-20 kuni 20 kV ja III-35 kuni 38 kV.

Ripp-isolaatorid: П-2 vaskjuhtme ristlõikele kuni 50 mm<sup>2</sup>, П-4,5 kuni 120 mm<sup>2</sup> ja П-7 kuni 185 mm<sup>2</sup> (numbrid 2; 4,5; 7 on tõmbele proovimise koormus tonnides).

Ripp-isolaatorite arv ketis võetakse seda suurem, mida kõrgem on liini pinge. Praktiliselt võetakse see arv piirides, mis asub joonetatud pinnal joon. 92.

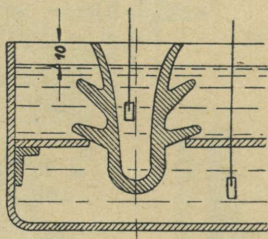
Nagu juba märkisime, on isolatsiooniporselani tähtsamateks proovimisteks valmisesemete proovimised. Porselan-isolaatorite proovimisel tuleb eritleda pinnalahenduspinget, mille juures toimub pinnalahendus, mis ei riku isolaatorit ennast, ja läbilöögipinget, mis kutsub esile läbilöögi läbi porselanmassi ja isolaatori reast väljamineku. Kuiv pinnalahenduspinge määratakse kuiva ja puhta isolaatori pinna juures, märg pinnalahenduspinge — isolaatoril, mis asub „vihma all” tugevusega 5 mm/min. selle langemisega 45° all horisontaalile.

Pinnalahenduspingete määramiseks kasutatakse vahelduvat pinget sagedusega 50 herti. Isolaatorid kinnitatakse harilikult töötamise asendisse. Kuiva pinnalahenduspinge määramiseks koormatakse isolaatorit umbes 50% oodatavast lahenduspingest ja tõstetakse sujuvalt pinget kuni lahenduse tekkimiseni, kiirusega 5 kV/sek. Võetakse kolme

määramise keskmine sama isolaatori juures. Kunstliku vihma jõudu, mida kasutatakse märja pinnalahenduspinge proovimisel, määratakse nõu abil, mille ava horisontaalne pindala on  $S \text{ cm}^2$ . See nõu asetatakse kohale, kuhu pärast asetatakse isolaatorid, ja määratakse veehulk  $V \text{ cm}^3$ , mis satub nõusse  $t$  min. jooksul. Vihma tugevus määratakse valemiga:

$$F = \frac{10 \cdot V}{S \cdot t} \text{ mm/min.}$$

Kunstliku vihma jaoks kasutatav vesi peab olema eritakistusega umbes  $12\,000 \text{ oom} \cdot \text{cm}$ . Märja pinnalahenduspinge määramine algab 5 min. pärast vihma algust, selle 5 min. jooksul on isolaatorid pinge all,



Joon. 93. Side-isolaatori takistuse proovimine.

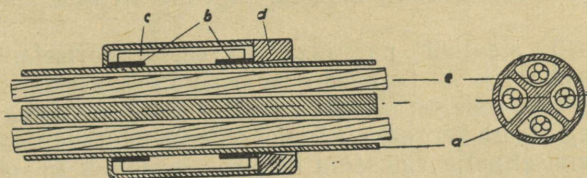
mis on 50% oodatavast pinnalahenduspingest. Edasi tõstetakse pinget sujuvalt kuni lahenduse tekkimiseni, kiirusega  $5 \text{ kV/sek}$ .

Läbilöögipinget mõõdetakse isolaatori olles kuivas ja puhtas transformaatorõlis. Ripp-isolaatoreid proovitakse läbilöögile üksikult, mitte ketis. Isolaatorit koormatakse seejuures pingega, mis on võrdne kuiva pinnalahenduspingega, siis tõstetakse pinget sujuvalt kuni läbilöögineni või sädeme ülehüppamiseni, kiirusega  $5 \text{ kV/sek}$ .

OCT 2852 poolt on ette nähtud neli sideliinide isolaatori suurust, mida kasutatakse telegraafi- ja telefoniliinidel, aga ka tugevvoolu madalpinge liinidel: TΦ-1 — suur, TΦ-2 — keskmine, TΦ-3 — väike, TΦ-4 — kõige väiksem (telefoni isolaator).

Side-isolaatorite elektriline proovimine teostatakse standardi järgi järgmiselt: isolaator asetatakse 1–2,5% väävelhappega hapustatud vette, nagu on näidatud joon. 93 (väävelhappe lisand on vajalik vee elektrijuhtivuse tõstmiseks), sedasama lahust valatakse ka isolaatori sisse, nii et vee pind nii väljas kui ka sees oleks 10 mm allpool isolaatori ülemist serva. Pärast 24-tunnist hapustatud vees hoidmist ei tohi takistus isolaatori sees ja väljaspool asuva vee vahel olla alla  $5 \cdot 10^9$  oomi isolaatorite TΦ-1 ja TΦ-2 juures ja mitte alla  $1 \cdot 10^9$  oomi isolaatorite TΦ-3 ja TΦ-4 juures.

Huvitav portselani kasutamise ala elektrotehnikas on portselankaablid, mille valmistamist alustati Saksamaal 1937.—1939. aastail. Selline kaabel kujutab enesest portselantorustikku, mis samaaegselt on isolatsiooniks ja ka veekindlaks ja mehaaniliselt tugevaks kaitsekihiks. Pingete juures kuni 1 kV leiab kasutamist mitmefaasine kaabel (joon. 94, parempoolne osa), suuremate pingete juures (kuni 6 kV) aga võetakse iga faasi jaoks omaette toru. Torustik koostatakse üksiktorudest pikkusega 1500—2000 mm, mis ühendatakse omavahel veekindlate muhvidega ja kompaundiga kinnivalamisega. Selline muhv on toodud



Joon. 94. Portselankaabel.

joon. 94 (tähistus: *a* — portselantorustik, *b* — koonilised tihendrõngad sünteetilisest kautšukist, *c* — portselanmuhv, *d* — kergest metallist hülss, mis koosneb kahest vindiga kokkukäivast osast, *e* — paljasjuhe). Selline kaabel on küll kallim kui normaalehitusega kaabel, kuid ta ei vaja valmistamiseks defitsiitset seatina, omades kõrgemat töötemperatuuri on koormatav suurema voolutihedusega ja on vähem tundlik ülekoormamisele. Meie oludes pakub portselankaabel suurt huvi maja installatsiooni juures soojuskindla vertikaalkaablina.

### 63. Uued keraamilised materjalid.

Selles paragrahvis toome lühikesi märkusi mitmesuguste keraamiliste materjalide kohta, mis on kasutamisele tulnud viimaste aastate jooksul oma eriliste elektriliste ja füüsikalise-keemiliste omaduste tõttu.

XI peatükis mainitud talgi rühma mineraalid annavad umbes 380° juures põletamisel keraamilise materjali, mida nimetatakse steatiidiks. Steatiitesemete vormimine teostub kas talgikivi töötlemisel lõikamisega või talgipulbri pressimisega terasvormides. Talgikivi lõikamine on tema pehmuse tõttu kerge. Talgi paakumis- ja sulamistemperatuur asuvad väga kitsas intervallis, mille pidamine on sageli võrdlemisi tülikas. Paakumine annab steatiidile suure mehaanilise tugevuse, kuna sulamistemperatuurile lignimine teeb esemed pehmeks, mis suurendab deformeerumise ohtu. Selle vältimiseks lisatakse talgile tavaliselt plastilist tulekindlat savi (mis kergendab ka vormimist), praaki-

läinud steatiidi pulbrit, magnesiiti jne. Materjali, mis saadakse talgi ja portselanpulbri põletamisel, nimetatakse melaliidiks. Steatiit-esemeid võib glasuurida, enamasti aga ei ole see vajalik, kuna steatiit on väikese poorsusega.

Steatiidi omadused on järgmised: erikaal 2,6—2,8, survetugevus 6000—9500 kg/cm<sup>2</sup>, tõmbetugevus 550—850 kg/cm<sup>2</sup>, paindetugevus 1000—1400 kg/cm<sup>2</sup>, löökpaindetugevus 3,0—5,0 kg/cm. Joonpaisumise koefitsient on (7—9) · 10<sup>-6</sup>, dielektriline läbitavus 6,4, tg δ mitte üle 0,01. Eritakistus on üldiselt kõrgem kui portselanil ja väheneb temperatuuri tõusmisel aeglasemalt. Läbilöögitugevus on keskmiselt sama mis portselanil.

Nii seisab steatiidi paremus võrreldes portselaniga esimese suuremas mehaanilises tugevuses ja osalt ka kõrgemais elektrilistes omadustes. Peale selle on steatiit püsivam järskudel temperatuurimuutustel (ei pragune nii kergesti). Lõpuks on real juhtudel tähtis, et steatiit annab põletamisel palju väiksema kahanemise (1—2 15—20% asemel). Viimane omadus võimaldab saada palju täpsemate mõõdetega esemeid, samuti ka suuri esemeid.

Eriti puhtate talkmaterjalide ja eri tehnoloogiliste protsesside kasutamisel õnnestus saada eriti väikese kadunudurgaga keraamilisi materjale, mis teeb neid eriti väärtuslikeks materjalideks kõrgesageduse tehnikas. Siia kuuluvad kaliit, kalan, ultrakalan, frekent jne. Nende materjalide tg δ on piirides 0,002—0,004, ultrakalanil isegi 0,001. Nimetatud materjale, mis on suure mehaanilise tugevusega, hästi vormitavad, suhteliselt odavad, võib eduga kasutada selliste materjalide asemel nagu vilgukivi ja kvarts. Selle rühma materjalide mehaaniline tugevus ja dielektriline läbitavus on lähedane steatiidi rühma kuuluvaile materjalidele.

Suurt huvi pakuvad rutiili sisaldavad keraamilised materjalid. Rutiil on keemilise koostise poolest TiO<sub>2</sub> — titaani oksiid — mineraal, mida peenendatud kujul kasutatakse titaanvalge värvi valmistamiseks. Rutiilil on määratu suur, kõvade dielektrikute kohta täiesti ekstraklassiline dielektriline läbitavus: ε = 173 (kui mitte arvestada kristallilist ja dielektrikuna mitte kasutatavat segneti soola, millel on muutlik dielektriline läbitavus). Rutiili sisaldavad dielektrikud nagu kerafar, kondensa, tempa jne. on dielektrilise läbitavusega 40 kuni 100, nende kasutamine kompaksete, suure mahtuvusega kondensaatorite valmistamisel on kasulik. Väike tg δ suurus (niisama suur kui kaliidi rühmal) võimaldab nende kasutamist kõrgesageduse tehnikas. Titaankeraamika läbilöögitugevus on veidi väiksem kui portselanil, kuid siiski küllalt kõrge (umbes 10—20 kV/mm). Titaankeraamiliste materjalide dielektriline läbitavus väheneb temperatuuritõusuga, mis kõvade dielektrikute juures esineb harva. Rutiilkeramiliste materjalide erikaal on 3—4.



sulamistemperatuur on 2050°, kõvadus Moosi skaala järgi 9, surve-tugevus 1000 kg/cm<sup>2</sup> ja väga suur soojusjuhtivus. Sinterkorundi eritakistus on eriti kõrge, temperatuuri intervallis 600—1000° ületab ta tugevasti mitte ainult portselani, vaid ka selliste dielektrikute eritakistuse nagu kvarts (joon. 96). Sinterkorund on keemiliselt väga püsiv. Isegi 1000° juures on ta praktiliselt gaasikindel.

Alumiiniumoksüüdi lisamisel portselanmassi hulka saame nn. alundportselani, mis töötab kõrgete temperatuuride juures paremini kui tavaline portselan. Veel kõrgemate sulamistemperatuuridega on kroomoksüüd (2300°), berülliumoksüüd (2500°), zircoonoksüüd (2700°), magneesiumoksüüd (2800°), tooriumoksüüd (3000°).

Berülliumoksüüd BeO on alumiiniumoksüüdiga sarnane, ületab aga teda oma omaduste poolest, eriti soojusjuhtivuse ja elektri-isolatsiooniliste omaduste poolest kõrgete temperatuuride juures, ta on vastupidav järskudele temperatuurimuutustele. Zircoonoksüüd ZrO<sub>2</sub> omab kõrgete temperatuuride juures suuremat eritakistust kui ükski teine aine. Ta on üsna püsiv keemiliselt, kuid ei ole nii gaasikindel kui BeO ja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Tooriumoksüüd ThO<sub>2</sub> on kõige kõrgema sulamistemperatuuriga, tema töötemperatuur ulatub 2500°-ni, tal on võrdlemisi suur erikaal, keemiliselt püsiv, kuid vastandina BeO-le on ta tundlik järskudele temperatuuri kõikumistele. Nende oksüüdide laialdasemale levimisele on takistuseks kõrge hind.

Rääkides metallide oksüüdidest, tuleb märkida, et mõni nendest leiab kasutamist elektri-isolatsiooni materjalina mittekeraamiliste valmistusviiside juures. Nii võime saada õhukese Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kihi alumiiniumtraadi või plaadikese pinnal elektrolüütilisel teel (nn. oksüüdne alumiiniumi-isolatsioon). Selleks tuleb alumiinium asetada elektrolüütilisse vanni, mis sisaldab väävelhappe, kroomhappe või oblikhappe lahust, ja lasta vannist vool läbi.

Kui selle juures kasutatakse alalisvoolu, siis alumiinium peab olema anoodiks, et elektrolüüsil eralduks temal hapnik, mis teostabki hapendamist. Kui elektrolüüsiks kasutatakse vahelduvvoolu, siis võivad mõlemad elektrodid olla alumiiniumist ja nad oksüdeeruvad ühtlaselt. Oksüüdne isolatsioon on väga õhuke (kiht, mille läbilöögitugevus on 200—300 volti, on paksusega 0,03 mm) ja väga soojuskindel, kuid väga hügrokoopne ja väga elastne. Vedelas elektrolüüdis töötav oksüüdne isolatsioon on kasutatav alumiiniumist elektrolüüt-kondensaatoreis ja alaldajais.

Magneesiumi pinnal on peale elektrolüütilise viisi võimalik saada oksüüd-isolatsiooni veel magneesiumi asetamisega ülekuumendatud aurusse. Soojendusaparatuuride takistuselemendid valmistatakse sel teel, et metallkaitsetorusse asetatakse takistustraadi spiraal, spiraali ja toru seina vaheline ruum täidetakse pulbrilise magneesiumoksüüdiga, mis toru väiksemast august kui tema läbimõõt läbitõmbamise teel

tihendatakse. Sellised takistuselemendid on pika eaga ja ökonoomilised, soojuste ülekande on MgO suure soojusjuhtivuse tõttu väga hea. Analüütiliselt saadakse ka soojuskindlad ja leegikindlad „pürotenaks“-juhtmed ja -kaablid, milles vasktraadi ja seda ümbritseva metalltoru vaheline ruum on täidetud magneesiumiga.

Uraani oksüüd  $UO_2$  („urdox“) (viimasel ajal ka titaanoksüüdi ja magneesiumoksüüdi sulam) leiab pressitud varbade näol, mis on asetatud lämmastiku või vesiniku atmosfääri, kasutamist juhtmaterjalina, mille takistus väheneb järsult soojendamisel. Kui sellise varva takistus on toatemperatuuril 250 oomi, siis  $100^\circ$  juures on see ainult 25 oomi ja  $200^\circ$  juures 10 oomi.

Eriti huvitavad on mõnede metallide (volframi, tantali, tsirkooniumi, vanaadiumi jt.) boriidid, nitriidid ja karbiidid. Need ained on eriti kõrge sulamistemperatuuriga ( $3000\text{--}4000^\circ$  piirides) ja väga suure mehaanilise tugevuse ja kõvadusega (nende hulka kuulub ka „pobediidi“ tüüpi kõvametall). Neil on üsna väike eritakistus, kusjuures mõningail juhtudel on see isegi väiksem kui puhtal metallil (näiteks on metallilisel tsirkooniumil  $\rho_V = 0,446$ , tema nitriidil ZrN aga  $0,131$ , boriidil ZrB  $0,092$ ; titaanil on  $\rho_V = 0,897$ , tema nitriidil TiN  $0,217$ , boriidil TiB  $0,152$ ). Temperatuuri tõusuga suureneb ka nende ainete  $\rho_V$ , nagu see toimub puhtate metallide juures. Neid materjale kasutatakse elektrotehnikas juhtmetena suurimate praktiliselt saavutatavate temperatuuride juures. Laialdast kasutamist ei saa nad leida oma kalliduse tõttu. Karbiididest on elektrotehnikas laialdasemalt kasutamisel karborund (ränikarbiid SiC), mis saadakse elektrotermilisel teel. Ränikarbiidid vähese vaba süsiniku sisaldusega on kasutamisel „siliidi“ nime all varbade näol soojenduselementidena kõrgetemperatuuri-ahjudes. Siliidi erikaal on  $2,3\text{--}2,8$ , töötemperatuur  $1400^\circ$ , eritakistus normaaltemperatuuril umbes  $100$  oom  $\cdot$  cm, mis tugevasti väheneb soojendamisel või rakendatud pinge suurendamisel.

## XIV p e a t ü k k.

### PLASTMASSID.

Plastmasside rühm haarab tervet rida mitmesuguseid materjale, mida iseloomustab eriline valmistusviis, mille juures toodetele antakse lõplik kuju nende pressimisega terasvormides.

Sel viisil saadakse kas juba tarvituskõlblik toode või vajab see toode veel täiendavat termilist ja mehaanilist töötlemist.

Pressitud isolatsioonidetailide paremuseks on nende valmistamise suur täpsus, rahuldav mehaaniline tugevus, väike erikaal, võimalus pressitavasse massi valmistamise juures mitmesuguseid metalloosi sisse pressida, mistõttu langeb ära terve rida operatsioone montaaži juures.

Juhul, kui materjalilt ei nõuta erilist läbilöögitugevust, on pressitud isolatsioonidetailid nende massilise tootmise juures üsna odavad ja arvestades eelpooltoodud paremusi levivad nad järjest suuremal määral.

#### 64. Plastmasside koostesad.

Pressitavad isolatsioonimassid koosnevad kahest põhiosast: sideainest ja täiteainest.

Sideaine ülesandeks on ühendada pressitava massi osakesed ühtlaseks, tihedaks, tahkeks kehaks. Mehaaniliselt ja elektriliselt tugevate ning ka muus osas vastupidavate detailide saamiseks peab sideaine täiteaine hästi läbi imutama ja siduma. Sideaineteks võivad olla nii orgaanilised kui ka anorgaanilised ained, mis seovad massi kas sulamise ja sellele järgneva tardumise või pressimise ajal toimuvate keemiliste muudatuste tõttu.

Sagedamini kasutatavaiks sideaineiks on kas üksi või mitmesugustes kombinatsioonides looduslikud ja kunstlikud vaigud, bituumenid, tselluloosi estrid, tsement jt.

Sideaine iseloomu järgi jaotatakse elektrotehnilised plastmassid järgmistesse rühmadesse:

1. **Plastmassid kunstvaikude baasil.** Kõige sagedamini kasutatakse plastmasside sideaineks bakeliidi tüüpi vaikusid, mis soojendamisel muutuvad sulamatuks ja lahustumatuks.

2. Plastmassid looduslike vaikude baasil (šellak, kopaal jne.) on oma kalliduse tõttu kunstvaikude poolt peaaegu välja tõrjutud.

3. Looduslike ja kunstlike bituumenite, asfaltide ja pigide (kivisöe, puidu, põlevkivi jne. pigid) abil valmistatud plastmassid. Need on odavad, ei vaja valmistamiseks defitsiitseid tooraineid, neil on küllalt kõrge läbilöögitugevus, kuid väike soojuskindlus ja mehaaniline tugevus.

4. Plastmassid tselluloosi estritest. Sellesse rühma kuulub suur hulk plastmasse, mis on valmistatud tselluloosi derivaatide baasil. Praegu on tähtsamaks selle rühma esindajaks etrool.

Selle rühma materjalid on suure mehaanilise tugevuse ja läbilöögitugevusega, kuid väikese soojuskindlusega (60° ümber).

5. Plastmassid kautšuki baasil (vt. p. 69).

6. Plastmassid asbotsemendist (vt. p. 51).

7. Mikaleks— valmistatakse boorhapust seatinast ja vilgukivist.

Teiseks vajalikuks plastmassi koosteosaks on täiteaine, mis on sideainele nagu kondikavaks. Täiteaine vähendab sideaine rabadust ja kahanemist pressimisel, suurendab toodetavate esemete mehaanilist tugevust. Ilma täiteaineta omavad sellised sideained nagu vaik, asfalt jt. oma loomuliku rabaduse kõrval peale vormimist suurt kahanemist, moodustavad tühemikke, esemetesse jäävad sisepinged, mis tekitavad töö juures kergesti pragusid.

Peale selle tõstavad paljud täiteained detailide soojuskindlust. Vähendades sideaine hulka mõistlikkudes piirides odavama täiteaine hulga suurendamise teel, vähendame ka valmisesemete hinda. Harilikult on plastmassis kuni 50% täiteaineid.

Täiteaineiks kasutatakse kõige sagedamini keemiliselt inertseid orgaanilise või anorgaanilise päritoluga aineid, mis ei reageeri ühegi plastmassi komponendiga, kuid mõnikord täidavad ka muid funktsioone, olles värvaineks või plastifikaatoriks.

Täiteainetena esinevad talk, kriit, marmorjahu, muumia, jahvatatud vilgukivi, raskepaga, puitjahu, asbestkiud, puuvillased kaltsud jne.

Sagedamini kasutatavaiks täiteaineiks on puitjahu ja asbest. Sideaine mitte ainult ei kata puitjahu osakesi, vaid ka immutab neid, mis soodustab sidumist, tõstab mehaanilist tugevust ja vähendab hügroskoopsust. Puitjahu pehmuse ja sileduse tõttu tekib sile poleeritud pind ja väheneb pressvormi kulumine.

Puitjahu puuduseks on tema madal soojuskindlus ja homogeeses ning kuivas seisukorras hoidmise raskus.

Asbestil on puitjahust suurem soojuskindlus, kuid halvemad isolatsioonilised omadused. Peale selle raskendab asbest hea välispinna saamist.

Peale side- ja täiteainete võivad plastmassid sisaldada veel värvaineid, lahusteid ja kiirendeid.

Värvaine ülesandeks on valmisesemele vastava värvuse andmine. Värvainetena kasutatakse nigrosiini, tahma, krookust jne. Värvaineid lisatakse plastmassile kuni 1,2%. Enamikul juhtudel nad vähendavad plastmassi elektrilisi omadusi.

Lahusteid (piiritus, bensool) kasutatakse sideaine pehendamiseks, segamise soodustamiseks ja massile suurema plastilisuse andmiseks.

Kiirendit kasutatakse sideaine kõvenemise kiirendamiseks, et selle tulemusena väheneks pressvormis väljapidamise aeg. Nii kasutatakse fenoolaldehüüdvaikude baasil valmistatavate plastmasside juures kiirendina heksametüleentetramiini (urotropiini).

### 65. Pressitud esemete tootmise protsess.

Peale plastmassi koostise valikut viiakse koosteosad olekusse, mis garanteerib valmisesemete täit kvaliteeti. Soovimatute lisandite kõrvaldamiseks sõelutakse täiteaine (talk, kriit jne.) läbi vastava sõela. Puitjahu tuleb kuivatada vastava temperatuuri juures ja kohe ära tarvitada või hoida kinnistes anumates, õhust niiskuse sisseimamise vältimiseks. Asbest lastakse kiu lahtistamiseks läbi desintegraatori, soovitatav on raualisandite kõrvaldamiseks kasutada ka magnetseparaatorit. Sideaine viiakse vastava konsistentsini või erikaaluni.

Koosteosade segamine teostub mehaanilistes segajates täiesti ühtlase segu saamiseks. Mõnikord kasutatakse selleks otstarbeks soojendusega segajat. Segajast saadakse enamikul juhtudest tükiline mass, mida peale õhus kuivatamist peenendatakse ühtlase presspulbri saamiseks.

Antud detaili pressimiseks vajalik presspulbri hulk määratakse kas kaalu või mahu järgi. Mõnikord pressitakse pressvormi mõõdete vähendamiseks pulber enne lõplikku pressimist tablettideks (ainult küllalt plastilise massi puhul), mis hiljem asetatakse pressvormi.

Pressitud isolatsioonimaterjalide valmistamisel kasutatakse suuri surveid, mis küünivad sageli kuni 1000 kg/cm<sup>2</sup>, mistõttu ei piisa käsi-pressidest, vaid töötatakse hüdrauliliste pressidega. Eseme vormist väljatõukamine teostub kas mehaaniliselt või hüdrauliliselt.

Pressimine võib olla külm või soe.

Soojalt pressimise juures viiakse mass plastilisse olekusse kas tema enese soojendamise või vajaliku temperatuurini või pressvormi soojendamise, või siis samaaegse massi ja pressvormi soojendamise. Seejärel pressitakse teda vajaliku survega ja sama surve all jahutatakse, kuni on võimalik valmiseset vormist välja tõugata.

Mõnikord toimub detaili kõvenemine juba soojas olekus, pressimise juures toimuvate keemiliste protsesside tõttu, siis ei ole üldse vajadust jahutamiseks. Nii toimub see bakeliidist sideaine juures, mis ongi bakeliidi laialdase kasutamise põhjuseks plastmasside valmistamisel.

Soojalt pressimisega saadakse suure mehaanilise tugevusega, kõrgete elektriliste omadustega, küllaldase niiskuskindlusega, ilusa välimusega ja väikese kahanemisega detaile. Pressvormi kulumine on pehmete täitematerjalide tõttu väike.

Soojalt pressimise viisi puudusteks on nii toormaterjali kui ka pressimise kallidus. Teatud aja väljapidamise vajadus (2—20 minutini, olenevalt pressitava eseme kujust ja mõõdetest) vähendab pressi produktiivsust ja teeb töö kalliks. Soojalt pressitud plastmasse kasutatakse neil juhtudel, kui on nõutav suur läbilöögitugevus; neid plastmasse ei saa kasutada siis, kui neile võib mõjuda voltakaar (välja arvatud mikaleks).

Soojalt pressitud plastmasse võib jagada kahte rühma:

1. Soojalt pressitud plastmassid, mis kõvenevad ainult jahtumisel pressvormides. Neid tuntakse termoplastide nime all (sellised on etroolid ja pigimassid). Soojendamisel need massid muutuvad jälle pehmeks ja plastiliseks.

2. Soojalt pressitud plastmassid, mis kõvenevad pressvormis juba pressimistemperatuuri juures. Neid tuntakse fenoplastide nime all (näiteks presspulbrid fenoolaldehüüdvaikude baasil). Need plastmassid ei pehmene enam järgneva soojenduse juures.

Termoplastide paremuseks on jäätmete ärakasutamise võimalus, hea voolavus, mille tõttu on võimalik saada keerulise kujuga esemeid võrdlemisi väikese survega; ka prits tehnikat on võimalik kasutada. Puudusteks on madal soojuskindlus ja pressvormide auruga soojendamine, kusjuures tuleb seda teha vaheldumisi külma vee sisselaskmisega. Pressvormide gabariit on seetõttu suur.

Fenoplastide paremuseks on valmistamise lihtsus ja pidevus, kõrgendatud soojuskindlus; puuduseks on jäätmete kasutamise võimatus.

Külmalt pressimise viisi juures pressitakse pulbrit toatemperatuuril. Massi plastilisse olekusse viimiseks niisutatakse teda veega (asbetsement) või antud sideaine mingi lahustiga. Vesi või lahusti kõrvaldatakse järgneva töötlemisega, mis seisneb valmispressitud detailide kuivatamises õhus või kindla temperatuuri juures ahjus. Mõningail juhtudel tekivad esemeil gaaside eraldumise tõttu paisundid, mille vältimiseks tuleb kuivatamist teostada autoklaavis surve all.

Külmalt pressimise teel saadud isolatsiooni paremusteks tuleb lugeda kõrgendatud soojuskindlust anorgaaniliste sideainete kasuta-

mise tõttu, suhteliselt madalat detailide hinda lihtsa ja vähe aega nõudva valmistusviisi järeltulusel ja kasutatavate toorainete odavust.

Selle pressimisviisi puuduseks on saaduste madal mehaaniline tugevus ja läbilöögitugevus, märgatav hügroskoopsus, halb välimus ja pressvormide suur kulumine. Mõned sellise isolatsiooni sordid immutatatakse õlide, bituumenite ja lakkidega — niiskuskindluse suurendamise otstarbel.

Termoplastide valmistamiseks kasutatakse veel menetlust, mis on tuntud survevalu nime all. Selle viisi juures toimub pressimine erilistes survevalumasinais. Eri reservuaaris, millel on ühendus pressvormiga, soojendatakse teatud hulk massi pehmenemistemperatuurini ja surve all juhitakse vajalik osa temast pressvormi, kus ta tardub. Selliste masinate produktiivsus on märgatavalt kõrgem kui tavalistel pressidel.

## 66. Pressvormid ja nende konstruktsioon.

Pressitud detailide valmistamisel omab erilist tähtsust pressvormide konstruktsioon ja valmistamise täpsus ning hoolikus, kuna see kajastub üsna tugevasti valmisesemete kvaliteedil ja hinnal.

Iga pressvorm koosneb kahest osast — ülemisest ja alumisest. Mõlema osa vahele jääb ruum, mis vastab täpselt pressitava eseme kujule. Peale nende kahe põhiosa esinevad veel täiendavad detailid, mis on määratud valmisesemete väljavõtmise hõlbustamiseks või vastavate aukude, süvendite, pealkirjade jne. saamiseks.

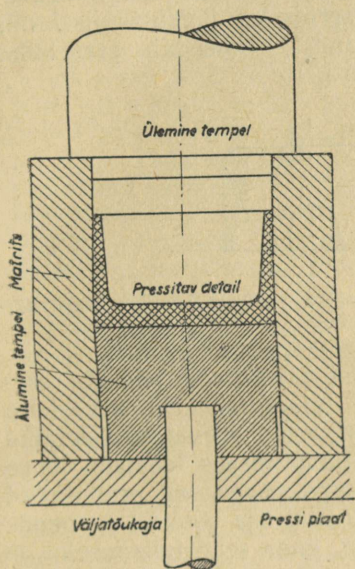
Tööviisi järgi jagunevad pressvormid statsionaarseiks ja mahavõetavaiks.

Mahavõetavaiks vormideks nimetatakse neid, mis ei ole pressi külge kinnitatud; esemete väljatõukamine toimub kas pressil enesel või lähedal asuval töölaual, kasutades töö hõlbustamiseks pressi asendi muutmise võimalust. Need operatsioonid on aeglased ja nende produktiivsus on väike, pressi konstruktiivse lihtsuse, järelikult ka suhtelise odavuse tõttu aga osutub sageli kasulikuks neid tarvitada, kuid ainult neil juhtudel, kui pressvormi kaal ja pressitavate esemete arv on väike. Seda tüüpi pressvormid on käepärased veel selle tõttu, et nad võimaldavad pressimiseks kasutada käsipresse.

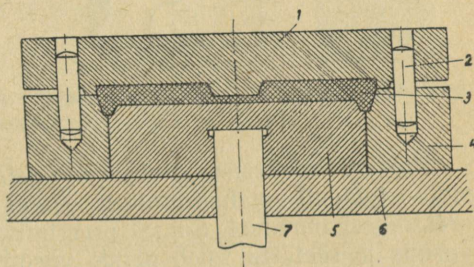
Statsionaarseiks pressvormideks nimetatakse neid vorme, mille alumine osa (matriits) on kinnitatud pressi alumise laua külge, ülemine osa (tempel) aga pressi ülemise plaadi külge. Selle vormi kasutamisel on nõutav vormi täpne ülesseadmine, kuna muidu võib esineda vormi riknemine pressimisel. Eseme väljatõukamine toimub kas mehaaniliselt või hüdrauliliselt pressvormi alumise osa külge konstrueeritud detaili abil.

Konstruktiivselt võivad pressvormid olla kas kinnised või lahtised. Kinnistes pressvormides läheb tempel matriitsisse momendil, kui pressmass hakkab pressi survele kokku tõmbuma. Templi juhtpinnaks on matriitsi sisepind. Sellise pressvormi skemaatiline joonis on toodud joon. 97.

Lahtiste pressvormide juures ei lähe tempel sügavale matriitsi sisse, vaid suleb selle momendil, kui mass on peaaegu lõplikult kokku



Joon. 97. Kinnine pressvorm.



Joon. 98. Lahtine pressvorm: 1 — tempel; 2 — juhttihvt; 3 — pressitav detail; 4 — matriits; 5 — alumine tempel; 6 — pressi plaat; 7 — väljatõukaja.

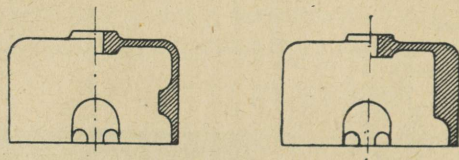
surutud. Tempel (1) (joon. 98) toetub matriitsile (4), templi juhtimine teostub juhttihvite (2) abil, mis on matriitsi või templi küljes.

Pressi produktiivsuse suurendamiseks kasutatakse mõnikord mitmepesalisi pressvorme, milles pressitakse korraga mitu ühesugust detaili. Selline tööviis on kasulik ainult massvalmistamise juures ja juhul, kui detaili mõõted on väikesed.

Kuna pressimisel esinevad võrdlemisi suured erisurved, siis peab pressvorm olema valmistatud tugevast terasest ja karastatud, et tagada tema võimalikult pikka iga. Pressvormi detailid, mis kuluvad kõige rohkem, nagu tihvtid, valmistatakse eriti kõrgeväärtuslikust terasest. Pressvormid peavad olema välja töötatud väga täpselt, kuna nad on määratud massilise tootmise vahendiks ja on tähtis, et järgnev viimistlemine oleks minimaalne. Läikivate pindadega valmisesemete

saamiseks peavad templi töötavad pinnad eseme väljavõtmise kergendamiseks olema mitte ainult lihvitud, vaid ka poleeritud ja kroomitud.

Pressvormi konstruktsiooni keerulikkus oleneb valmistamisele tuleva eseme kujust. Üldiselt tuleb alla kriipsutada, et igasugused ribad, süvendid, ümardatud servad, tihvtid aukude jaoks jne. ei tee pressi hinda kuigi palju kallimaks, eriti siis, kui järeltöötlemine tuleks kallim. Teiselt poolt aga ei maksa sellega ka liialdada, kuna mõnikord on otstarbekohane teostada väikest järeltöötlemist, kui sellega saavutatakse vormi konstruktsiooni ja tootmisprotsessi lihtsustamist, mis võimaldab esemete kergemat väljatõukamist, vähendab pressimise aega ja väldib pressvormi sagedast remonti.



Joon. 99. Vasakul -- eset ei saa templilt maha võtta, paremal -- õige konstruktsioon.

Pressvormi konstrueerimisel tuleb erilist tähelepanu pöörata esemete templilt mahavõtmisele (joon. 99), misjuures tuleb arvestada pressmassi omadusi. Soojal pressimisel kõvenevad pressitavad detailid vormis ja seetõttu tuleb nende vormist väljavõtmiseks teostada terve rida manipulatsioone. Külma pressimise juures kõvenevad pressitavad esemed alles pärast vormist väljavõtmist teatud aja jooksul ja nende vormist eraldamiseks ei saa kasutada jõudu, kuna selle tulemuseks on nende deformatsioon või isegi riknemine.

Pressvormi konstruktsioon peab tagama esemete (eriti suurte mõõdete puhul) väljatõukamist alt üles, milleks peab olema ette nähtud väljatõukaja. Kui väljatõukamine toimub ülevalt alla, siis toote enese kui ka teda kaasatõmbava alumise templi raskuse tõttu võib ese ülemise templi otsast suure kiirusega maha kukkuda ja rikneda. Eriti on see kehtiv külmal pressitud esemete kohta, kuna need on pressvormist väljatulekul veel pehmed.

Pressvormide konstrueerimisel tuleb arvestada materjali kahanemist, s. o. eseme mõõdete muutumist võrreldes pressvormi mõõdetega. Külmal pressimisel on see kahanemine umbes 0,5—1,5% ja soojalt pressimisel 0,8—1,0%.

Pressvormi matriitsi ja templi vahele peab pressimise korralikuks kulgemiseks jääma teatud pilu. Liiga väikese pilu puhul on pressimisel eralduvate aurude ja gaaside kõrvaldumine raskendatud, liiga suure pilu puhul tekivad kraadid, eseme vormist väljatõukamine raskeneb

ja massi küllaldase voolavuse juures võib esineda tema väljapressimine.

Viimasel ajal kasutatakse pressmassi voolavuse määramiseks soojalt pressimisel Raschigi meetodit, mis seisneb selles, et kindlat pulbri hulka pressitakse kindla survega ja kindlal temperatuuril läbi koonilise kanali (joon. 100). Väljapressitud pulga pikkus mm ongi voolavuse kriteeriumiks.

Võib märkida, et külmalt pressimise juures on voolavus palju väiksem, mistõttu võib pilu olla sel juhul suurem.

Matriits peab olema konstrueeritud selliselt, et temasse mahuks eseme pressimiseks vajalik pressipulbri hulk, milleks tuleb arvesse võtta pulbri täitetegurit. Täiteteguriks nimetatakse pulbri ja sellest pressitava eseme ruumalade suhet (sama kaalu juures). Mitmesuguste pressipulbrite täitetegurid kõiguvad 2,5—4 piirides. Ruumala muutumist võib arvestada ka pulbri erimahu järgi (ühe g pulbri maht  $\text{cm}^3$ ).

Pressivorme tuleb püüda konstrueerida selliselt, et mõningaid tema osi oleks võimalik kasutada tulevaste vormide valmistamisel.

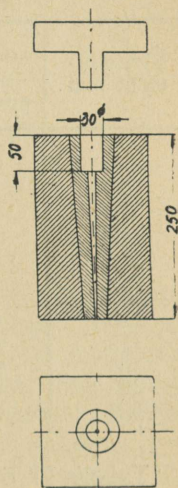
## 67. Pressitud isolatsioonidetailide konstrueerimine.

Pressitud esemete ideaalkujuks peab lugema silindrit, kuna sel juhul pressivormi valmistamisel jätkub treimisest, eseme pressivormist väljavõtmine on lihtne, vormid kuluvad ühtlaselt, puuduvad nurgad ja servad ning on garanteeritud ühtlane massi paiknemine kogu vormi ulatuses. Kuigi kõik pressitud detailid ei saa olla silindrilised, kasutatakse seda otstarbekohast kuju liiga harva.

Pressitavate detailide konstrueerimisel tuleb silmas pidada järgmisi kaalutlusi.

a) **Tolerantsid.** Pressimise teel on võimalik saada kiiresti ja odavalt suurt hulka esemeid võrdlemisi väikeste mõõdete täpsuste kõikumisega. Teatud kõrvalekaldumised on paratamatud pressivormi valmistamisel lubatavate tolerantside, pressivormi enese järk-järgulise kulumise ja eespoolmainitud materjali kahanemise tõttu pressimisel.

Külmalt pressitavatel esemel esinevad suuremad mõõdete kõikumised kui soojalt pressituil. See on tingitud sellest, et neid töödeldakse peale pressimist veel edasi, mille jooksul esineb edasine kahanemine, mida ei ole võimalik täpsemalt arvestada. Peale selle sisaldavad külmalt pressitud detailid koosteosi, mis põhjustavad kiiremat pressivormi



Joon. 100. Raschigi pressivorm.

kulumist. Seda tüüpi esemed konstrueeritakse selliselt, et ei tekiks ras-  
kusi nende kokkupanekul ja montaažil; selleks tuleb arvesse võtta  
tabelis 27 toodud tolerantse. Loomulikult saab tabeli andmeid kasutada  
ainult juhiseana, kuna ei ole võimalik koostada tabelit, mis haaraks  
kõiki plastmasse ja kõiki pressitavate esemete konstruktsioone; palju  
oleneb ka detaili kujust ja plastmassi omadustest.

Tabel 27.

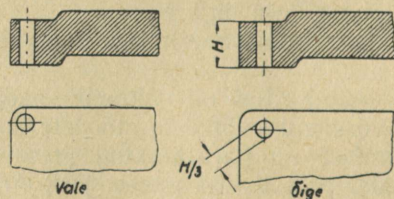
Tabel 28.

Nimiläbi- mõõt mm	Tolerants mm	
	Soojalt pressimine	Külmalt pressimine
6	0,25	0,30
12	0,30	0,40
25	0,35	0,50
50	0,40	0,60
75	0,45	0,65
100	0,50	0,70
125	0,55	0,80
150	0,60	0,90
175	0,65	1,00
200	0,70	1,15
225	0,75	1,25
250	0,80	1,50

Nimiläbi- mõõt mm	Tolerants mm	
	Soojalt pressimine	Külmalt pressimine
6	0,10	0,30
12	0,15	0,40
25	0,20	0,50
50	0,25	0,60
75	0,30	0,65
100	0,35	0,70
125	0,40	0,80
150	0,45	0,90
175	0,50	1,00
200	0,55	1,15
225	0,60	1,25
250	0,65	1,50

Tabelis 27 on antud tolerantid soojalt ja külmalt pressitud esemete  
jaoks, mille pidamine ei tee raskusi tavalistes tootmistingimustes.

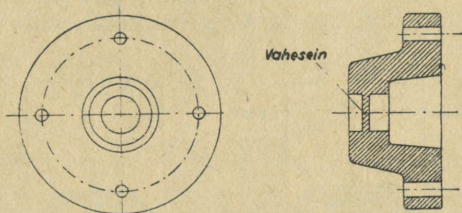
Tabelis 28 on toodud tolerantid, mille saavutamiseks on tarvis  
valmistada pressvormid eriti täpselt, valmistamiseid tuleb aga sageli  
ka lihvida, mis on seotud valmisproduktiooni kallinemisega.



Joon. 101. Aukude asend pressitud detailis.

b) **Augud.** Kõige kiiremini kuluvaiks pressvormi osadeks on tihvtid,  
mis on määratud aukude ja süvendite saamiseks pressitavas esemes.  
Selle tõttu tehakse nad maksimaalsele tolerantile vastavas mõõtes.  
Kui tihvt on kulunud minimaalse lubatava mõõteni, siis tuleb ta asen-

dada uuega. Ei ole otstarbekohane peale vältimatult vajalikkude juh-  
tude projekteerida keermetisega auke, mis on koormatud või mida  
sageli peab kasutama sisse- ja väljakeeramiseks. Neil juhtudel on ots-  
tarbekohasem kasutada metallpukse, mis on tingimata vajalikud  
aukude juures läbimõõduga alla 3 mm.



Joon. 102. Vaheseinaga auk pressitud detailis.

Auke ei tohi asetada liiga ligidale detaili äärelle, eriti külvalt pressitud esemete juures. Seinapaksus peaks olema vähemalt 3 mm (joon. 101). Alla 3 mm läbimõõduga auke ei ole otstarbekohane pressida, kuna selliste aukude saamiseks tuleks kasutada liiga peeneid tihvte, sama on kehtiv ka horisontaalsete aukude kohta; mõlemal juhul tihvtid kergesti painduvad ja lähevad pressimisel katki.



Joon. 103. Seintele kiilu kuju andmine.

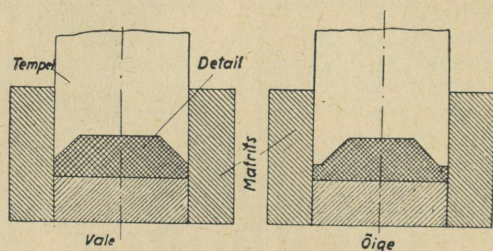
Selliseid auke on lihtsam pärast puurida, mõnikord on otstarbekohane pressida esemele aukude sentrid.

Mõnikord on otstarbekohane pressida auke, milledesse jäetakse 0,1—0,2 mm kile, mis võimaldab kasutada lühemaid tihvte (joon. 102). Neljakandilised augud, mille nurgad on ümmarguste detailide servade lähedal, ei ole samuti soovitatavad. Mõnikord on tarvis asetada mitu auku ritta, mis nõrgestab detaili; sel juhul tuleb muuta detaili konstruktsiooni tema tugevdamiseks selles lõikes, mida sageli teostatakse sel teel, et ümmarguste aukude asemel projekteeritakse ruudukujulised augud.

c) **Kiilu kuju.** Kui pressitaval detailil peavad olema süvendid või ribid, siis tuleb neile eseme parema pressvormist väljatuleku otstarbel anda kiilu kuju. Külvalt pressitavad detailid vajavad parimate tule-

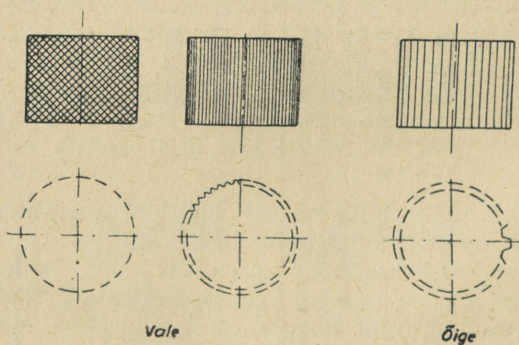
muste saamiseks koonilisust mitte alla 1,5 mm iga 25 mm kohta (joon. 103). Kui konstruktiivseil kaalutlustel koonilisus ei ole lubatav, saab valmistada detaile ka ilma selleta, kuid hinnatõusu arvel.

d) **Servad ja nurgad.** Sageli on pressitud esemete juures nõutavad ümardatud või teatud nurga all faasitud servad. Et saada selliste servadega eset, peavad templi servad olema teravad, nagu on näidatud joon. 104 (vasakul). Selline terav serv kulub kiiresti ja võib pressi



Joon. 104. Templi teravate servade vältimine.

töötamise väiksemagi ebatäpsuse juures puruneda, mille tulemusena rikutakse ka matriitsi sisepind, viies reast välja kogu pressvormi. On soovitatav kasutada faasitud või ümardatud servade asemel joon. 104 paremal näidatud kuju.

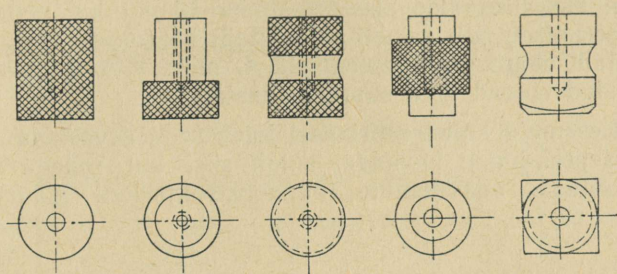


Joon. 105. Karestus.

Sisemised nurgad tuleb igal pool, kus see võimalik on, ümardada kas või raadiusega 1—2 mm. Külvalt pressitavate esemete juures on see eriti tähtis, kuna massi väikese plastilisuse tõttu võivad tekkida vaevalt märgatavad praod, mis vähendavad mehaanilist tugevust ja läbilöögitugevust (hügroskoopsus suureneb). Samal põhjusel tuleb

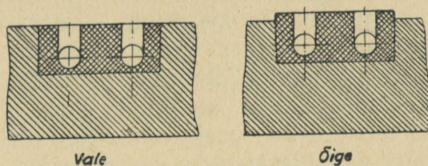
hoiduda ka liiga õhukestest vaheseintest ja ribidest (alla 2 mm soojalt pressitud ja alla 5 mm külmalt pressitud esemete juures).

e) **Karestamine.** Kus on vajalik pinna karestamine, tuleb valida selline pinnakuju, mille pressimine on teostatav lihtsais vormides.



Joon. 106. Metalldetailide kuju.

Näiteks tuleb valida rombiline karestuse asemel horisontaalne karestus ja võimalikult suure sammuga (mitte alla 1,5 mm), nagu see on näidatud joon. 105. See karestus on kergemini teostatav, kuna ta ei vaja mitmest osast koosnevat vormi, milleta ei ole võimalik saada rombiline karestust.



Joon. 107. Metalldetaili asetus plastmassis.

f) **Metallesemete sissepressimine.** Metallist detailide konstrueerimisel, mida tuleb pressida plastmassi sisse, tuleb hoolitseda selle eest, et neil puuduks sissepressituna võimalus nihkuda oma telje suunas ja pesa ringi pöörduda. Seda saavutatakse mitmel viisil, milledest tüüpilisemad on toodud joon. 106. Erilist tähelepanu tuleb pöörata metalldetailide õigesse kohta fikseerimisele, kuna pressimisel kasutatava suure surve juures nad võivad kohalt nihkuda.

Massikiht metalldetailide peal ei või olla alla 3 mm. Metalldetailide ei tule asetada pressitava eseme nurkadele ja servadele liiga ligidale. Metalldetailide mõõted peavad olema kindlas vahekorras pressitava

eseme mõõdetega, kuna muidu võivad esineda kaardumised ja pragunemised. Sissepressitavaile metalldetailidele tuleb anda selline kuju, mis soodustaks massi laialivoolamist, kasutades selleks ümardatud servi ja koonilisust, nagu see nähtub joonisest 107. Tuleb vältida pikki, ainult ühest otsast plastmassiga ühendatud metall detaile.

Sageli on metalldetailide sissepressimine kallim kui nende juurdepanek monteerimisel. See esineb pressdetaili keerulise konfiguratsiooni või metalldetaili ebamugava asendi puhul, mille tõttu pressvormi valmistamise kulud võivad liiga suureks tõusta.

Pressitud esemete konstrueerimisel tuleb seda arvestada ja metalldetailide sissepressimist teostada ainult siis, kui sellega tagatakse järgneva montaaži odavnemine või konstruktsiooni jäikus ja kompaktsus.

## 68. Plastmasside omadused.

Plastmassidega töötades peab täpselt teadma nende mehaanilisi, elektrilisi ja teisi omadusi.

Plastmasside omadusi määratakse vastavate proovikehade proovimise teel, kusjuures kasutatakse samu meetodeid, mis on kirjeldatud VI peatükis, selle vahega, et plastmassist proovikehad tuleb valmistada kindla režiimi juures (temperatuur, erisurve, väljapidamine), mis on ette nähtud antud plastmassi jaoks. Valmisesemete omadused aga erinevad märgatavalt normaliseeritud proovikehade omadustest, kuna selle juures mõjuvad kaasa ka detaili kuju, koormuse aste ja iseloom. Sel põhjusel teostatakse vastutavail juhtudel täiendavaid valmistdetailide proovimisi eksploatatsiooni tingimustes ja tehakse lõplik otsus saadud tulemuste põhjal.

Toome plastmasside voolavuse määramise meetodi kirjelduse Raschigi järgi. Raschigi meetodit saab kasutada ainult soojalt pressitavate plastmasside juures. Presspulber pressitakse tabletki, milleks võetakse 7,5 g pulbrit, mida pressitakse toatemperatuuril survega 300 kg/cm<sup>2</sup>. Tableti kujuks on 30 mm läbimõõduga silinder. Saadud tablett asetatakse Raschigi pressvormi (joon. 100), mis on proovitava pressipulbri jaoks ettenähtud temperatuurini ette soojendatud ja pressitakse kohe kindlaksmääratud erisurvega ja väljapidamisega. Koonilise tulbakese pikkus mm-tes ongi voolavuseks Raschigi järgi. Proovimist teostatakse kolm korda ja võetakse kolme määramise keskmine.

Plastmasside põhiomadused on toodud tabelites 29, 30 ja 31.

## Plastmasside põhiomadused.

Omadused	Fenoalaldehüüdvaikude baasil			Etroolid	Pigi-massid	Asbotse-ment
	Puitjahuga	Asbest-kiuga	Riide- ja paberi-jäätmega			
1. Värvus . .	Must, pruun	Pruun	Pruun	Must	Must	Hall
2. Erikaal . .	1,35—1,40	1,35—1,40	1,35—1,40	1,5—2,0	1,8—2,0	1,8—2,0
3. Soojustkind- lus Martensi järgi °C . .	100—115	120—130	100—120	45—60	45—75	250
4. Veeimavus % . . . . .	0,3—0,5	0,4—0,6	0,5—1,0	0,5—0,8	0,2—0,5	15—20
5. Paindetuge- vus kg/cm <sup>2</sup>	500—700	400—600	700—1000	400—500	100—250	150—250
6. Löökpainde- tugevus kg.cm/cm <sup>2</sup>	4,0—5,0	3,5—6,0	10—20	12—20	2—4	3,5—4,0
7. Tõmbetuge- vus kg/cm <sup>2</sup>	250—300	250—300	300—400	300—400	100—200	—
8. Läbilöögi- tugevus kV/mm . .	7—16	5—8	5—10	10—15	5—10	2—3*)
9. Mahu-eri- takistus oom.cm . .	10 <sup>10</sup> —10 <sup>12</sup>	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup> —10 <sup>12</sup>	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>	10 <sup>8</sup> —10 <sup>9*</sup> )
10. Pinna-eri- takistus oomi	10 <sup>10</sup> —10 <sup>12</sup>	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup> —10 <sup>12</sup>	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>	10 <sup>8</sup> —10 <sup>9*</sup> )
11. Pressimis- viis . . . . .	Soe	Soe	Soe	Soe	Soe	Külm

\*) Elektrilised andmed on antud õliga või bituumenitega immutatud asbotsemendi kohta.

Tabel 30.

## Fenoalaldehüüd-pesspulbrite põhiandmed standardi projekti järgi.

Nimetus	Tüüp P-II Näidis: Tehase „Karbolit“ pulber K-21-22	Tüüp P-III Näidised: 1) Tehase „Karbolit“ pulber K-18-2 2) Ohta tehase pulber „Monolit“	Tüüp P-IV Näidis: Tehase „Karbolit“ pulber K-29
1. Definiit- sioon	Presspulbrid on saadud fenoalaldehüüd- ja kresoolaldehüüdvaikude kombineerimisel puittäiteainega, millele on lisandatud mineraalpigmenti või orgaanilist värvainet		Seesama

## I. Presspulber.

1. Definiit-  
sioon

Presspulbrid on saadud fenoalaldehüüd- ja kresoolaldehüüdvaikude kombineerimisel puittäiteainega, millele on lisandatud mineraalpigmenti või orgaanilist värvainet

Seesama

Tabel 30 (järg)

Nimetus	Tüüp P-II Näidis: Tehase „Karbolit“ pul- ber K-21-22	Tüüp P-III Näidised: 1) Tehase „Kar- bolit“ pulber K-18-2 2) Ohta tehase pulber „Monolit“	Tüüp P-IV Näidis: Tehase „Kar- bolit“ pulber K-29
2. Kasutamisala	Soojendatud pressvormides pressimise teel mitme- suguste esemete valmistamiseks		
3. Värvus . . . . .	Must, punane, pruun		
4. Erimaht . . . . .	2,8 cm <sup>3</sup> /g	2,2 cm <sup>3</sup> /g	2,2 cm <sup>3</sup> /g
5. Niiskus . . . . .	2,5 %	3,0 %	3,0 %
6. Pressimistempera- tuur . . . . .	150—160°	140—150°	140—150°
7. Voolavus Raschigi järgi . . . . .		1. rühm 35—50 mm 2. „ 51—75 „ 3. „ 76—110 „ 4. „ 111—140 „	
8. Kõvenemise (välja- pidamise) aeg . .	60 sek./mm	40 sek./mm	60 sek./mm

## II. Pressitud detailid.

9. Pinna seisukord .	Sile, läikiv, ilma paisunditeta ja pragudeta, ilma nähtavate täitematerjalide osadeta		
10. Erikaal . . . . .	1,35 — 1,40	1,35 — 1,40	1,35 — 1,40
11. Kahanemine mat- riitsiimõodete suhtes	0,9 ± 0,1%	0,9 ± 0,1%	0,9 ± 0,1%
12. Veimavus . . . . .	0,2%	0,30%	0,35%
13. Soojuskindlus Mar- tensi järgi . . . . .	110°	115°	100°
14. Paindetugevus . .	600 kg/cm <sup>2</sup>	700 kg/cm <sup>2</sup>	400 kg/cm <sup>2</sup>
15. Löökpaindetugevus	5 kg · cm/cm <sup>2</sup>	5 kg · cm/cm <sup>2</sup>	4 kg · cm/cm <sup>2</sup>
16. Survetugevus . .	1500 kg/cm <sup>2</sup>	1500 kg/cm <sup>2</sup>	—
17. Tõmbetugevus . .	300 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>	—
18. Läbilöögitugevus .	16 kV/mm	10 kV/mm	7 kV/mm
19. Mahu-eritakistus .	5 · 10 <sup>12</sup>	10 <sup>10</sup>	—
20. Pinna-eritakistus .	8 · 10 <sup>12</sup>	10 <sup>10</sup>	—
21. Kadude nurga tg 50 Hz juures . . . .	0,07	0,10	—
22. Metalsete detailide sissepressimise või- malus . . . . .		On võimalik	

## Plastmasside tüüpidesse jaotamine Saksa standardi järgi.

Tüüp	Koostis	Pressimisviis	Mehaanilised omadused		Termilised omadused		Pinnakeritakistus oomides peale 24-tunnist vees leotamist mitte alla
			Paindetugevus kg/cm <sup>2</sup> mitte alla	Löökpaindetugevus kg · cm/cm <sup>2</sup> mitte alla	Soojuskindlus Martens'i järgi °C mitte alla	Kuumuskindluse hinne mitte alla	
M O S T K	Fenoolaldehüüdvaik anorgaanilise täiteainega	Soe	500	3,5	150	4	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
	Fenoolaldehüüdvaik anorg. kiulise täiteainega	"	700	15,0	150	4	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
	Fenoolaldehüüdvaik orgaanilise täiteainega	"	600	5,0	100	2	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
	Fenoolaldehüüdvaik orgaanilise täiteainega	"	700	6,0	125	3	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
	Fenoolaldehüüdvaik orgaanilise kiulise täiteainega	"	600	12,0	125	2	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
	Karbamiidvaik orgaanilise täiteainega	"	600	5,0	100	2	10 <sup>10</sup> —10 <sup>12</sup>
	Looduslik vaik, looduslik või kunstlik bituumen anorgaanilise täiteainega	"	350	3,5	65	1	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
6—7	Looduslik või kunstlik bituumen asbesti ja anorgaanilise täiteainega	"	250	1,5	65	1	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
	Looduslik või kunstlik bituumen asbesti ja anorgaanilise täiteainega	"	150	1,0	45	3	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
	Atsetüülselluloos täiteainega või ilma	"	300	15,0	40	1	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
	Kunstvaik anorgaanilise täiteainega	Külm	350	2,0	150	4	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
A	Kunstvaik asbesti ja anorgaanilise täiteainega	"	200	1,7	150	4	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
	Kunstvaik või looduslik bituumen asbesti ja anorgaanilise täiteainega	"	150	1,2	150	4	10 <sup>8</sup> —10 <sup>10</sup>
Y	Vilgukivi boorhappu seatinaga	Soe	1000	5,0	400	5	10 <sup>10</sup> —10 <sup>12</sup>
X	Tsement ja vesiklaas asbesti ja anorgaanilise täiteainega	Külm	150	1,5	250	5	—

Märkus: Kuumuskindlus määratakse Schrammi aparatuuril. Proovikeha mõõdetega 120 × 15 × 10 mm puutub kokku 3 min. jooksul 950° soojendatud siliitpulgaga. Kuumuskindluse hinne saadakse kaalu kao mm korrutamisel põlenud osa pikkusega cm järgmise tabeli järgi:

Saadud korrutis	üle 10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> —10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup> —10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup> —10 <sup>3</sup>	10—10 <sup>2</sup>	alla 10
Kuumuskindluse hinne	0	1	2	3	4	5

## 69. Kautšuk ja kautšuki derivaadid.

Eri olukorras on kautšukist saadavad plastmassid nii oma mitmekesisuse kui ka tootmisprotsessi ja omaduste poolest. Peatume selle tootmisharu juures pikemalt.

Kautšuk on kummitootmise lähteaine. Kummi on oma heade isoleerivate ja mehaaniliste omaduste tõttu elektrotehnikas laialdaselt kasutamisel.

Naturaalkautšukit saadakse mõningate troopiliste puude piimja mahla (*latex*) vastava töötlemisega. Teda võib saada nii metsikult kui ka istandikes kasvavalt puudelt.

Praegu on peamiseks tooraine baasiks istandiku kautšuk (umbes 95%), kusjuures peamine osa sellest tuleb Kagu-Aasiast Inglise ja Hollandi koloniaalist, ülejäänud osa saadakse Aafrikast, Brasiiliast ja mujalt.

Metsikult kasvavalt puudelt toodetakse kautšukit praegu peamiselt Brasiilias, vähesel määral ka Aafrikas ja Aasias. NSV Liidus teostuvad tagajärjekad katsed kautšukikandjate aklimatiseerimise alal, samuti kodumaiste kautšukit andvate taimede kultiveerimise alal (koksagõs, tau-sagõs jt.).

Keemiliselt on kautšuk süsivesinike segu valkude, vaikude jt. lisanditega. Kautšuk lahustub bensoolis, bensiinis, väävelsüsinikus jm. Peale naturaalkautšuki valmistatakse praegu, muuseas ka NSV Liidus, mitmesuguseid kunstliku kautšuki liike.

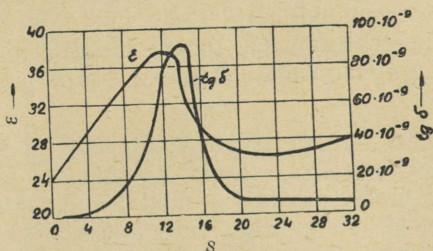
Süntetilise kautšuki saamine ja imporditava naturaalkautšuki asendamine temaga on NSV Liidu seisukohalt esmajärgulise ökonomilise ja poliitilise tähtsusega. Olenevalt sellest laheneb ka kodumaise kummitööstuse arenemise küsimus ilma välismaise tooraineta.

Puhast kautšukit ei kasutata esemete valmistamiseks, kuna ta ka tagasihoidliku soojendamise juures pehmeneb ja kleepuvaks muutub, külma käes aga muutub ta kõvaks ja rabedaks. Suurema mehaanilise tugevusega, parema ja püsivama elastsusega ja temperatuuri suhtes väiksema tundlikkusega produkti saamiseks vulkaniseeritakse kautšukit kas külmalt või soojalt, mis seisneb tema töötlemises väävliga.

Külmalt vulkaniseerimise puhul töödeldakse kautšukit kloorisüsiniku või vääveldioksiidiga, järgneva väävelvesinikuga mõjutamisega.

Elektrotehniliste detailide juures kasutatakse ainult soojalt vulkaniseerimist, kusjuures pehme kummi saamiseks toimub see 125—145° juures, kõvakummi (eboniidi) saamiseks 160—170° juures. Vulkaniseerimise kestus oleneb vulkaniseeritava eseme suurusest ja kummiseguomadustest. Soe vulkaniseerimine seisneb selles, et kautšuk segatakse tulistel valtsidel (umbes 80° juures) väävliga, täitematerjalidega, värv-

ainetega ja plastifikaatoritega (kriit, talk, nõgi, metallide oksüüdid, mitmesugused orgaanilised ühendid jne.). Saadud segust valmistatakse esemed, mida seejärel peetakse teatud aeg autoklaavis, kus väavli ja soojuste mõjul toimub vulkaniseerimine. Olenevalt väavlisaldusest saadakse vulkaniseerimisel mitmesuguseidprodukte (joon. 108). 3—10% väavli sisaldusel saadakse pehme kummi, 20—50% sisaldusel — kõvakummi (eboniit). Vulkaniseerimisel osa väavlit („seotud väavel”) ühineb keemiliselt kautšukiga (ei hapendu broomi mõjul) või absorbeeritakse tema poolt (hapendub broomi mõjul), teine osa aga



Joon. 108. Vulkaniseeritud kummi  $\varepsilon$  ja  $tg \delta$  olenevus väavlisaldusest.

(„vaba väavel”) jääb kummissse vabas olekus (teda saab ekstraheerida kuuma atsetooniga), hapendub kergesti ja mõjub saadava kummi omadustele halvasti.

Kautšuki vulkaniseerimine on pöördumatu protsess. Vulkaniseeritud kautšuk vulkaniseerub aja jooksul täiendavalt vaba väavli seotuks muutumise tagajärjel.

Pehmet kummit kasutatakse laialdaselt juhtmete ja kaablite isoleerimiseks, isoleerivate vaipade, kinnaste, lintide, torude, plaatide jne. valmistamiseks.

Kõvakummit ehk eboniiti turustatakse mitmesuguse paksusega lehtede ja mitmesuguse läbimõõduga ümmarguste pulkade näol, millest edasise mehaanilise töötlemise ja poleerimise teel saadakse mitmesuguseid detaile. Peale selle toodetakse kummisegu sooja pressimise teel pressvormides, koos pärastise vulkaniseerimisega, terve rida kummist ja eboniidist fassongesemeid. Viimane viis võimaldab kautšuki suurt kokkuhoidu.

Eboniidi jaoks näeb standard CT 870/18—24 ette kaks marki: P — erikaaluga mitte üle 1,25 ja C — erikaaluga mitte üle 1,45. Tõmbetugevus mark P — mitte alla 500 kg/cm<sup>2</sup>, mark C — mitte alla 225 kg/cm<sup>2</sup>. Läbilöögitugevus lehe paksuse juures kuni 3 mm mark P juures mitte alla  $(14 \cdot d + 18)$  kV ja mark C juures mitte alla

$(6 \cdot d + 15)$  kV ( $d$  — lehe paksus mm). Eboniidi standardmõõted: lehtedes — pikkus 1000 mm, laius 500 mm, paksus 0,75; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25 mm; pulkades — pikkused 750 ja 1000 mm, läbimõõdud 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 35; 38; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75 mm; torudes — pikkus 1000 mm, sisemised läbimõõdud 6—60 mm, välised läbimõõdud 8—74 mm. Välimuse järgi jagatakse eboniit kahte sorti: 1. ja 2.

Eboniidi mitmesugustest eriliikidest märgime nn. rauakummi, mis ennast hästi seob rauaga, mistõttu teda kasutatakse mitmesuguste raudesemete katmiseks. Kautšuki derivaatide hulka kuulub ka vulkasestooni nime all tuntud lehtmaterjal, mida saadakse asbesti immutamisel vastava kummiseguga ja sellele järgneva sooja pressimise ning vulkaniseerimisega.

Kautšuki tooted on silmapaistvate elektriliste ja mehaaniliste omadustega, suure veekindlusega, rahuldava happe- ja leeliskindlusega, kuid neil on ka rida olulisi puudusi — madal soojuskindlus ( $60^{\circ}$  ümber), mida on võimalik veidi tõsta täiteainete hulga tõstmisega, ja pinnaeritakistuse muutumine otseste valguskiirte mõjul.

Eboniidi pinna taastamiseks pestakse seda algul ammoniaagiga ja pärast seda mitmekordselt destilleeritud veega. Seotud väevli kõrgendatud sisaldus eboniidis suurendab elektrilist läbitavust ja kadude nurka. Sünteetilisest kummist esemeil on väiksem külmakindlus ja mehaaniline tugevus ning suurendatud dielektrilised kaod, ja nad vananevad kiiremini.

Kummi põhiomadused on toodud tabelis 32.

Tabel 32.

Materjali nimetus	Omaduse nimetus						
	Erikaal	Soojus-kindlus $^{\circ}\text{C}$	Läbitõuge-tugevus kV/mm	Mahu-eritakistus oom·cm	Pinna-eritakistus oomi	Dielektriline läbitavus	Dielektriliste kadude nurga tg
Pehme kummi .	1,7—2,0	50	15—25	$10^{14}$ — $10^{16}$	—	2,6—3,0	0,005—0,02
Eboniit . .	1,2—1,8	50—70	15—30	$10^{15}$ — $10^{17}$	$10^{14}$ — $10^{16}$	2,8—3,5	11
Rauakummi	1,4—1,7	50—80	8—10	—	—	—	—

Tõmbetugevus on pehmel kummil 50—200 kg/cm<sup>2</sup>, eboniidil 300—700 kg/cm<sup>2</sup>, rauakummil 200—300 kg/cm<sup>2</sup>; paindetugevus on eboniidil 400—1000 kg/cm<sup>2</sup>, rauakummil 400—500 kg/cm<sup>2</sup>.

## 70. Kihilised plastmassid.

Eespool (p. 68) me käsitlesime fassongdetailide tootmist elektriisulatsiooni otstarbeks pulbrilistest plastmassidest pressimisega pressvormides. Siirdume nüüd lehtede ja torude näol toodetavate kihiliste materjalide vaatlamisele, mida kasutatakse elektrotehnikas laialdaselt mitmesuguseks otstarbeks. Neid materjale valmistatakse paberist või riidest, mille kihid on omavahel ühendatud mingi sideainega. Neist materjalidest valmistatakse otse tööstustes, kus neid rakaendatakse, vastavakujulisi paneele, plaadikesi, torusid jne. mehaanilise töötlemise teel (lõikamisega, puurimisega, stantsimisega). Sellesse materjalide rühma kuuluvad getinaks, tekstoliit, faneriit, vulkasbestoon, fiiber ja asbotsementplaadid.

a) **Getinaks.** Getinaksi saadakse bakeliidi tüüpi sünteetilise vaiguga immutatud paberilehtede soojalt pressimise teel. Spetsiaalse sulfaatpaberi rullid (paberi paksus 0,12 mm) lastakse läbi bakeliitlakki sisaldava vanni (bakeliidi-lahus piirituses), kust nad siirduvad piirituse äraaurutamiseks šahtkuivatisse, mille maksimaalne temperatuur on 90—100°, liiguvad selles kiirusega umbes 1,2 m/min., sealt väljudes juba kuivana keritakse nad uuesti rullidesse.

Viimasel ajal kasutatakse defitsiitse piirituse kokkuhoiu otstarbel nn. gerkoliitimmutusviisi, mis seisab selles, et immutatav paber lastakse läbi teatud temperatuurini soojendatud valtside, kuhu antakse ka kuiv bakeliitvaik, mis valtside vahel sulades paberit immutab.

Vaigu hulk immutatud paberis on 35—55%, olenevalt neist omadustest, mida getinaksilt soovitakse. Väikese vaigusisalduse juures saadakse getinaksi mark A (mürgistamine on standardi projekti järgi), millel on kõrgendatud elektrilised omadused. Suurema vaigusisalduse juures saame getinaksi mark B, millel on suurem mehaaniline tugevus ja niiskuskindlus. Lenduvate ainete hulk paberis ei tohi olla üle 9%, kuna see kajastub tugevasti getinaksi omadustel, eriti selle töötamisel tulises transformaatorölis. Viimasel juhul ei või lenduvate ainete hulk paberis ületada 5%, mille tagamiseks paberit enne immutamist kuivatatakse vaakumis 600 mm elavhõbeda-sambast 65° juures 1,5—3 tundi.

Nii või teisiti immutatud paber lõigatakse vajaliku suurusega lehtedeks (jäetakse pärastiseks serva lõikamiseks teatud varu) ja laotakse üksteise peale koguses, mis on vajalik vastava paksusega plaadi saamiseks. Sellised hunnikud, eraldatuna üksteisest poleeritud 2 mm paksuste terasest vaheplaatidega, asetatakse pressi alla. Pressi plaate soojendatakse auruga kuni 150—160°, seejärel surutakse survega 100—120 kg/cm<sup>2</sup>. Survet ja temperatuuri peetakse teatud aja jooksul (olenevalt saadavate plaatide paksusest), mis on vajalik bakeliitvaigu

staadiumisse C viimiseks. Pärast seda vabastatakse plaadid surve alt ja võetakse pressist välja. Jahtumise järel lõigatakse servad sirgeks ja sel kujul läheb getinaks edasisele töötlemisele. Getinaks on heade mehaaniliste ja elektriliste omadustega (vt. tab. 33), laseb ennast mehaaniliselt hästi töödelda, mistõttu teda elektrotehnikas kasutatakse laialdaselt.

Kihiliste isolatsioonimaterjalide põhiomadused.

Tabel 33.

Omaduste nimetus	Getinaks	Teksto- liit	Faneriit	Vulkasbestoon
1. Värvus . . . . .	Helepruun	Seesama	Tumepruun	Tumepruun, täpiline
2. Pinna seisukord . .	Sile, läikiv	Seesama	Seesama	Sile, matt
3. Erikaal . . . . .	1,4	1,4	1,1—1,2	1,8
4. Paindetugevus kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	1000—1300	800	1500	800
5. Löökpaindetugevus kg · cm/cm <sup>2</sup> . . . . .	20	25	—	15
6. Veeimavus % . . . .	2—10	1—3	5—10; punsu- b, kõmmeldub	1—2
7. Soojuskindlus . . . .	100 <sup>0</sup>	100 <sup>0</sup>	100 <sup>0</sup>	100 <sup>0</sup>
8. Läbilöögitugevus kV/mm . . . . .	10—15	4—5	4—4,5	2—3
9. Mahu-eritakistus oom · cm . . . . .	10 <sup>9</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>
10. Pinna-eritakistus oomides . . . . .	10 <sup>9</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>
11. Töödeldavus . . . . .	Mehaaniliselt töödeldav, pak- susega alla 3 mm stantsitav	Seesama	Seesama, kuid ei ole stantsitav	Seesama, kuid ei ole stantsitav
12. Lehtede suurus . . .	1000 × 1500 ja 1000 × 750 mm, paksusega ala- tes 0,5 mm	Seesama	Seesama	1500 × 1000 mm, paksusega 3—40 mm

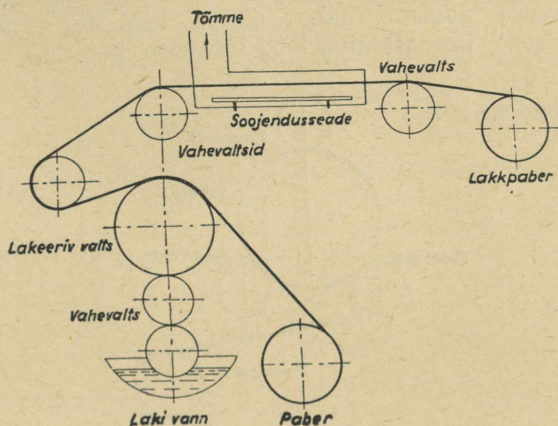
Getinaksi nagu ka teisi kihilise ehitusega plastmasse iseloomustab nende elektriliste omaduste erinevus olenevalt vaadeldavast suunast. Piki paberikihte on läbilöögitugevus mitu korda väiksem kui risti kihte. Kui seda ei arvestata, võivad getinaksist isolaatoritega tekkida sageli avariid.

Bakeliidiga immutatud paberist võib saada väikese voolavusega plastmassi, millest saab pressida detaile tavalise töötlemisviisiga sarnaneva soojalt pressimisega. Immutatud paber peenendatakse erilistes veskites väikesteks tükkideks. Sellisest massist pressitud esemed on suure mehaanilise tugevusega, kuid nad on väiksema niiskuskindlu-

sega ja halvemate elektriliste omadustega kui harilikudest presspulbri-  
test valmistatud esemed.

Kondensaatori väljaviikide, samuti transformaatoreite ehitamisel kasutatavate bakeliitsilindrite ja -torude valmistamiseks vajatakse bakeliitlakiga kaetud paberit. Lakikiht kantakse ainult paberi ühele poolele. Paberi paksuseks on OCT 8143 järgi 0,07 mm.

Samal ajal kui getinaksi valmistamiseks minevalt paberilt nõutakse suurt immutusvõimet, peab see lakkpaberil olema minimaalne. Lakkimine toimub erilisel lakkimismasinal (joon. 109), mille üheks elemen-



Joon. 109. Paberi lakkimise masina skeem.

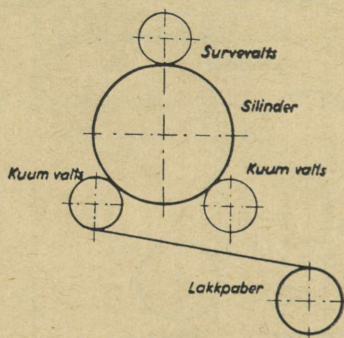
diks on bakeliitlaki vann. Bakeliitlaki erikaal peab olema 0,93—0,95. Vannis pöörlev valts puutub kokku teiste valtsidega, mis asuvad lakikihi kõrgemal ja on vedrudega surutud esimese vastu. Viimasest valtsist libiseb paber üle ja kattub lakikorruga, misjärel ta läbib lahusti aurutamiseks horisontaalse kuivatise ja keritakse jälle rulli. Lakikiht peab olema ühtlane ja peab moodustama 26—34% valmis-  
paberi kaalust, vastavalt sellele, mis otstarbeks paber on määratud. Lenduvate ainete hulk ei tohi olla üle 7% lakitud paberi kaalust.

Bakeliitsilindrite ja -torude valmistamiseks keritakse paber rullidelt vajaliku läbimõõduga raudsüdamikule erilisel kerimispingil (joon. 110), millel paber kerimise juures bakeliitvaigu sulatamiseks ka soojendatakse. Sulanud vaik kleebib paberikihid omavahel kokku. Pärast seda soojendatakse torusid ahjus bakeliidi lahustumatuks ja sulamatuks muutmiseks.

Alati, kui vajatakse kõrgendatud mehaanilise tugevusega ja läbilöögitugevusega torusid, pressitakse neid peale kerimist 140° juures pressvormides kindla survega.

Lakitud paberit kasutatakse ka metallvarbade ja -võllide isoleerimiseks, kusjuures neile keritakse teatud paksuseni paberit, pressitakse pressvormides ja soojendatakse ahjus.

b) **Tekstoliit.** Tekstoliiti saadakse puuvillase riide bakeliidi tüüpi kunstvaiguga immutamise ja soojalt pressimise teel. Riie peab olema pleekimata, kloori jälgedeta. Tekstoliidi tootmisprotsess sarnaneb getinaksi omaga. Tekstoliiti toodetakse nagu getinaksigi mitmesuguse paksusega plaatidena ja kasutatakse neilsamadel juhtudel. Tekstoliit on getinaksist palju kallim ja jääb temast oma elektriliste omaduste ja paindetugevuse poolest maha, ületab teda aga niiskuskindluse, löökpaindetugevuse ja raskema lõhestatavuse poolest.



Joon. 110. Torude kerimise masina skeem.

Immutatud riide peenendamisel väikesteks tükikesteks saadakse plastmass, millest soojalt pressimisega saadakse suure mehaanilise tugevusega detaile. Massi voolavus on väike ja elektrilised omadused on halvemad kui tavaliste presspulbrite juures.

c) **Faneriit.** Faneriiti saadakse vineerilehtede, mille vahele on asetatud 2—3 lehte bakeliidiga immutatud paberit, soojalt pressimisel. Vineer peab olema kuiv (mitte üle 10% niiskusega). Bakeliidisaldus paberis peab olema tavalisest kõrgem (40—60%). Tootmisprotsess sarnaneb getinaksi ja tekstoliidi tootmisprotsessiga, kuid pressimine toetub madalama erisurve juures (umbes 50 kg/cm<sup>2</sup>).

Faneriit on suure paindetugevusega, teiste omaduste poolest aga jääb ta getinaksist ja tekstoliidist maha, eriti niiskuskindluses ja elektrilistes omadustes. Faneriidi omadusi saaks parandada, kui kuivatatud vineerilehti otsekohe immutada bakeliidiga, see teeb aga tema valmistamise keerukamaks, kuna vineer selle juures kõmmeldub. Nimetatud puuduste tõttu ei ole faneriidi kasutamine eriti levinud. Tema omadused on toodud tabelis 33.

d) **Lehtplastmassid.** Peale kirjeldatud plastmasside on huvitavad veel sellised plastmassid, millest saab õhukesi painduvaid ja läbipaistvaid lehti. Selliseid lehti saadakse tselluloosi derivaatidest (atsetüültselluloos, bensüültselluloos, tsellofaan), vinüül- ja akrüülühenditest plastifikaatorite lisandamisega. Märgime lehtmaterjalidest mipolaami, stabooli, stiروفleksi, vinifooli. Need lehtmaterjalid võivad leida kasutamist isolatsioonimaterjalina elektrimasinate isoleerimisel, kaablite ja juhtmete valmistamisel ja võrdlemisi kalli, defitsiitse ja raske seatina asendajana kaablimantlites. Lehtmaterjalid on oma heade elektriliste ja mehaaniliste omaduste ning väikese hügroskoopsuse tõttu elektrisolatsiooni tehnikas laialdaselt levinud.

Mipolaami erikaal on 1,34, tõmbetugevus  $600 \text{ kg/cm}^2$ , suhteline pikenedamine katkemisel kuni 40%, paindetugevus  $1000 \text{ kg/cm}^2$ , surve-tugevus  $785 \text{ kg/cm}^2$ , pinna-eritakistus  $10^{12}$  oomi, dielektriline läbitavus 3,2,  $\text{tg } \delta = 0,015$ .

Stiروفleksi dielektriline läbitavus on 2,4,  $\text{tg } \delta = 0,0001$ .

## XV peatükk.

### KAABLID JA JUHTMED.

Kaablite valmistamine on elektrotehnilise tööstuse üheks tähtsaks haruks. Ühelt poolt varustab ta tugevvoolu- ja nõrkvoolu-võrke valmiskaablite ja juhtmetega, teiselt poolt aga annab mähise ja konstruktiiuse vase näol pooltooteid elektrimasinate ja -aparaatide tööstusele.

#### 71. Õhuliinide paljasjuhtmed.

Paljasjuhtmetena kasutatakse tugev- ja nõrkvoolu-võrkudes:

1. Ühe- ja mitmekiulisi vasest ja vase sulamitest (pronks, vaskkadmium jt.) juhtmeid.
2. Mitmekiulisi alumiiniumist, alumiiniumi sulamitest (aldrey jt.) ja alumiinium-terasest juhtmeid (p. 9).
3. Raudjuhtmeid nii tavalisest kui ka spetsiaal-elektrotehnilisest rauast.
4. Õones-vaskjuhtmeid.
5. Bimetalljuhtmeid (p. 11).

Peale selle on veel eriotstarbe juhtmed, nagu mittevibreerivad juhtmed, lahtikeerdumisvabad juhtmed, tsellulaarsed juhtmed jne.

Loetletud juhtmeid, välja arvatud raudjuhtmed, toodetakse kaabli-tehastes. Raudjuhtmeid toodetakse metallurgilistes tehastes, kuna vaskjuhtmete tõmbamine selsamal masinal, millel tõmmatakse raudjuhtmeid, mõjutab vase omadusi halvasti, mistõttu kaablitehased reeglina hoiduvad raudjuhtmete valmistamisest.

Aastat 20 tagasi olid vaskjuhtmed meil kui ka välismaal peamiseks tugevvoolu-võrkude ehitusmaterjaliks. Vaskjuhtmed moodustavad enamikus maades ka praegu 50—80% kogu õhuliinide pikkusest, määrava tähtsusega on nad ka nõrkvoolu-liinidel. Ennemalt olid levinud ka vase sulamitest juhtmed, eriti nõrkvoolu-võrkudes.

Meil on vaskjuhtmed OCT 7943 järgi standarditud ja selleks minev traat OCT 7940 järgi. Selle OCT-i järgi ei või juhtme tõmbetugevus olla alla 90% üksikute juhtme traatide tõmbetugevusest, kusjuures kõi-

kide paljasjuhtmete juures esinevail läbimõõtudel tõmbetugevus ei lange alla  $39 \text{ kg/mm}^2$ . Eritakistus võib kõikuda  $0,0179$  ja  $0,0182$  oomi  $\cdot \text{mm}^2/\text{m}$  vahel  $20^0$  juures vastavalt juhtme läbimõõdule. Juhtme oomilise takistuse arvutamisel võetakse arvesse ka traadi keerdumise mõju, mis moodustab paljasjuhtmete juures umbes  $2,5\%$ . Ühekiulised juhtmed on OCT 7943 poolt lubatud ainult kuni  $10 \text{ mm}$  ristlõike, suuremate ristlõigete juures tuleb kasutada mitmekiulisi juhtmeid. Ühekiulised juhtmed on mehaaniliselt vähem kindlad, osalt sellepärast, et nende tõmbetugevus on väiksem, arvestatuna ristlõike mõõtühikule, peamiselt aga paratamatute jootekohtade nõrkuse tõttu. Sel põhjusel on ühekiuliste juhtmete lubatud tõmbepinge ainult  $12 \text{ kg/mm}^2$  mitmekiuliste juhtmete  $19 \text{ kg/mm}^2$  vastu. Peale selle on mitmekiulised juhtmed palju painduvamad.

Ohujuhtmete materjalina võistleb vasega alumiinium, mille kasutamise esimesed katsed ulatuvad möödunud sajandi lõppaastatesse. Alumiiniumi hakati laialdaselt kasutama õhuliinide ehitamiseks peamiselt pärast esimest imperialistlikku maailmasõda. Alumiiniumjuhtmeid on kahte liiki: mitmekiulised alumiiniumjuhtmed ja alumiiniumterasjuhtmed.

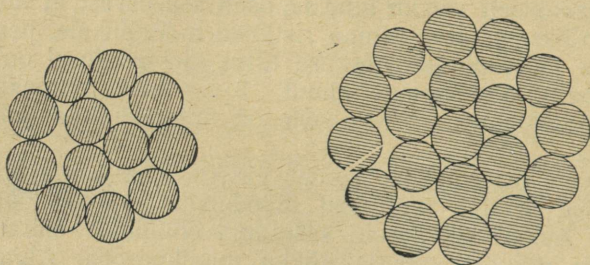
OCT 5363 ei luba üldse ühekiulisi alumiinium- ja alumiinium-terasjuhtmeid, kuna alumiiniumi tõmbetugevus on väike. Peale selle lubatakse mitmekiulisi juhtmeid kasutada alates ainult  $16 \text{ mm}^2$  ristlõikest (vaskjuhtmete juures on alammäär  $4 \text{ mm}^2$ ). OCT 5363 järgi peab alumiiniumjuhtme tõmbetugevus olema  $16 \text{ mm}^2$  ristlõike juures mitte alla  $16 \text{ kg/mm}^2$  ja ristlõike juures üle  $16 \text{ mm}^2$  — mitte alla  $15 \text{ kg/mm}^2$ .

Teras-alumiiniumjuhtmed, millel on ühest või mitmest keerutatud terastraadist südamik, mille ümber on keeratud üks või mitu alumiiniumikiudu, on kasutamisel kahe margi all: normaaljuhtmed mark AC ja tugevdatud juhtmed ACY. Mark AC juures on alumiiniumi ja terase ristlõike pindade suhe  $8,7$  kuni  $5,3$ ; mark ACY juures on see suhe  $4,48$ — $4,09$ . Viimast juhtmeliiki kasutatakse siis, kui vajatakse suurt tõmbetugevust. Mark AC tõmbetugevus on  $26,7$ — $31,5 \text{ kg/mm}^2$  ja mark ACY  $34,0$ — $35,8 \text{ kg/mm}^2$ . Teras-alumiiniumjuhtmetel ristlõikega kuni  $70 \text{ mm}^2$  alumiiniumikiud on ühekordselt, suuremate ristlõigete juures kahekordselt. Ühekordsete alumiiniumtraatide juures tõuseb tugevasti juhtme induktiivne takistus, kusjuures vahelduvvooluga koormamisel see suurenemine võib tõusta kuni  $25$ — $45\%$  alalisvoolu takistusest.

Alumiiniumjuhtmete mehaaniliste omaduste parandamise otstarbel võeti kasutamisele alumiiniumi sulamist (aldrey) juhtmed, mis oma konstruktsioonilt ei erine harilikest alumiiniumjuhtmetest. Need juhtmed, lähedased oma mehaaniliselt tugevusele ja elektrilistelt omaduselt teras-alumiiniumjuhtmeile, leidsid välismaal laialdast levikut.

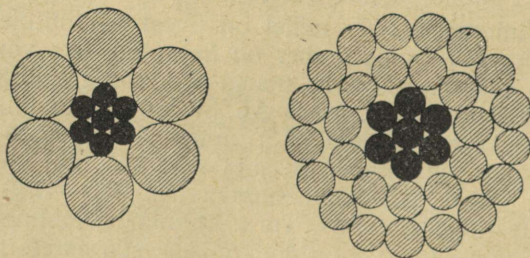
Ühest metallist valmistatavad mitmekiulised juhtmed keeratakse alati ühesuguse läbimõõduga traadist, kahest metallist valmistatavad

juhtmed (mark ACY) keeratakse kas ühesuguse või erinevate läbimõõtudega traadist — terastraadil on teine läbimõõt kui alumiiniumil. Ise-lahtikeerdumise vältimiseks asetatakse üksikud keerud eri suundades, kusjuures selleks, et liini ehitamisel esinevate ühenduskohtade tegemisel ei esineks juhtme lahtikeerdumist põhjustavaid pingeid, peab välimine keerd olema suunatud paremale (parempoolne keere). Viimane suund on leppeline.



Joon. 111. Paljas-vaskjuhtme konstruktsioon.

Ummargusi juhtmeid ei saa kokku keerata vabalt valitud arvust ühesuguse läbimõõduga traatidest. On olemas viis sellist kokkukeeramise põhivormi, nimelt: kui südamikus on 1, 2, 3, 4 või 5 traati. Neist on ainult 1 ja 3 traadiga vormid rahuldava mehaanilise püsivusega, mis pärast ainult neid kahte vormi kasutatakse paljasjuhtmete keeramiseks.



Joon. 112. Teras-alumiiniumjuhtme konstruktsioon.

Joon. 111 on toodud lõige paljas-vaskjuhtmest, mis on keeratud 12 traadist (kolme traadiga südamikus), ja juhtmest, mis on keeratud 19 traadist (ühe traadiga südamikus). Joon. 112 on toodud lõige teras-alumiiniumjuhtmest mark AC ühekordsete alumiiniumtraatide ja lõige sama tüüpi juhtmest kahekordsete alumiiniumtraatidega, mõlemal juhul on südamikus 7 terastraati.

Tuleb veel mainida õõnsaid vaskjuhtmeid, mida kasutatakse väga kõrge pingega liinidel. Et vältida suuri kadusid koroona kaudu (§ 33),

tekib 220 kV pingest alates vajadus juhtme läbimõõdu suurendamiseks sellisel määral, et täisjuhtme ristlõige muutuks liiga suureks. Nii on 220 kV pinge juures tavaliselt vajalik juhtme läbimõõt 30 mm. Sellised läbimõõdud esinevad teras-alumiiniumjuhtmete suurimate ristlõigete juures: AC-400 ja ACV-400. Kuna sellised ristlõiked on tavaliselt liiga suured energia edasiandmise vajadusteks, siis on välismaal käesoleval ajal küllalt seadmeid, mis on varustatud nn. õõnsate juhtmetega. Selline juhe on näiteks kasutamisel Ameerika Ühendriikides 290 kV pingega voolu edasiandmiseks Boulder Dam'i elektrijaamast Los Angeles'i linna.

Paljasjuhtmete valmistamine jaguneb kolmeks põhioperatsiooniks: metalli soe valtsimine; traaditõmbamine külmalt ja traadi juhtmeks keerutamine.

Kui traat on määratud isoleeritud juhtmete või kaablite valmistamiseks, lõõmutatakse teda peale tõmbamist pehmemdamise otstarbel. Paljasjuhtmete valmistamiseks minevat traati ei lõõmutata, et mitte vähendada tema tõmbetugevust.

Traadi juhtmeks keeramiseks kasutatakse mitut tüüpi masinaid.

## 72. Immutatud paber-isolatsiooniga jõukaablid.

Käesoleval ajal kasutatakse peaaegu igal pool kaableid immutatud paber-isolatsiooniga ja vaskkiududega. Meil lasti teatud aja jooksul turule rohkesti alumiiniumkiududega kaableid. See katse ei õnnestunud tehniliselt ega ka majanduslikult. Saksamaal aga valmistatakse kõik jõukaablid alumiiniumkiududega.

Jõukaablite peaaegu eranditu paberiga isoleerimise põhjuseks on osalt küll paberi odavus, peamiselt aga see asjaolu, et paberil on rida tehnilisi paremusi, võrreldes teiste isolatsioonimaterjalidega. Tema võimalike konkurentidena võivad esineda vulkaniseeritud kummi ja lakkriie. Paberi paremused nende materjalidega võrreldes on järgmised:

1. Immutatud paberi läbilöögitugevus on märgatavalt kõrgem kui kummil ja lakkriidel. Valmiskaablites on läbilöögitugevus järgmise suurusega: immutatud paberil 20—60 kV/mm, kummil ja lakkriidel 12—25 kV/mm.

2. Dielektrilised kaod, mida iseloomustab tg  $\delta$ , on immutatud paberil väiksemad. See asjaolu teeb paberi ainukasutatavaks kõrgepingekaablites.

3. Paber-isolatsiooniga kaablite iga on võrdse tööpinge juures palju pikem kui kummi-isolatsiooniga kaablitel. Kui immutatud paberiga isoleeritud kaablite iga on 25 aastat, peavad seatinamantlita kummi-isolatsiooniga kaablid vastu ainult 2—10 aastat ja seatinamantliga 10—15 aastat.

4. Keskmisele pingele määratud paber-isolatsiooniga kaablid ei kannata koroon nähtustest, kummi-isolatsiooniga kaablid aga on selles suhtes väga tundlikud. Samal ajal kui paber-isolatsiooniga kaableid ehitatakse pingetele 1000 kuni 220 000 volti, ei või Ameerika kogemuste kohaselt seatinamantliga ja kummi-isolatsiooniga kaableid kasutada suuremate pingete juures kui 5000 volti — koroonast põhjustatavate isolatsioonirikete tõttu. Lakkriidest isolatsiooniga kaableid valmistatakse pingetele kuni 22 kV, kõrgemate pingete jaoks pole nad oma suurte dielektriliste kadude tõttu kõlblikud.

Paber-isolatsioon on kummi-isolatsioonist halvem suurema hügroskoopsuse ja madalamate mehaaniliste omaduste tõttu. Paberi hügroskoopsus on võrdlemisi suhteline ja ta ei ole takistuseks tavalise muhvi montaaži teostamisel, kui kasutatakse lihtsaid ettevaatusabinõusid. Paberi mehaanilised omadused on küllaldased jõukaablite töötingimustes ega ole takistuseks paberi laialdaseks kasutamiseks isolatsioonimaterjalina.

a) **Kaasaegsed kaablite konstruktsioonid.** OCT 6260 järgi valmistatavate kaablite peamised margid on järgmised:

1. CF — seatinaga kaetud paljas ühe- või mitmesooneline ümmarguste soontega kaabel vöö-isolatsiooniga, ühises seatinamantlis.

2. CFG — seesama, kuid mitmesooneline, sektorsoontega.

3. CA — seesama mis CF, kuid seatinamantli-pealse asfalteeritud džuutriidest kattega.

4. CAC — seesama mis CA, kuid sektorsoontega.

5. CB — seatinaga kaetud ja kahe teraslindiga soomustatud ümmarguste soontega ühe- või mitmesooneline kaabel ühises seatinamantlis ja vöö-isolatsiooniga.

6. CBC — seesama, kuid mitmesooneline, sektorsoontega.

7. CP — seatinaga kaetud ja soomustatud ümmarguste soontega kaabel ühises seatinamantlis ja vöö-isolatsiooniga.

8. CPC — seesama, kuid mitmesooneline, sektorsoontega.

9. CK — seatinaga kaetud ja ümmarguste tšingitud raudtraatidega soomustatud ümmarguste soontega kaabel ühises seatinamantlis, vöö-isolatsiooniga.

10. CKC — seesama, kuid sektorsoontega.

11. OCB — mitmesooneline eraldi isoleeritud ja seatinaga kaetud soontega, kahe raudlindiga soomustatud kaabel.

12. OCK — seesama, kuid ümmarguste tšingitud raudtraatidega soomustatud kaabel.

Alumiiniumsoontega kaabli margi ette on kirjutatud täht A, näit. ACPI, ACBC jne.

Nagu sellest märkide loetelust nähtub, valmistatakse valdav enamus standarditud kaableid vöö-isolatsiooniga. See konstruktsioon on järgmine: voolu juhtiv kaablisoon, mis koosneb ühest või mitmest traadist, mähitakse kitsa paberlindiga standardis ettenähtud paksuseni, mis-

järel kaks, kolm või neli sellist soont keerutatakse kokku, täites tühja vaheruumi džuudi või paberikordelliga, ja sellele kokkukeeratud soontekimbule asetatakse kas üldine või vööde kaupa (standardis ettenähtud paksusega) isolatsioon. Seejärel kaabel kuivatatakse, immutatakse, kaetakse seatinamantliga ja soomustatakse.

Vöö-isolatsiooniga kaableid kasutatakse meil ainult pingete juures kuni 10 kV, välismaal mõnikord isegi kuni 30 kV. Kõrgemate pingete juures pole nad kasutatavad järgmistel põhjustel:

1. Nende elektrivälja kuju on selline, et kaabli isolatsioonis tekivad tangentsiaalpinged (piki paberikihte), mis kaablit tugevasti nõrgestavad.

2. Tühemike täitmiseks kasutatav džuut või paberikordell on väga väikese läbilöögitugevusega ja nad põhjustavad kaabli sees tühemikke, kus harilikult tekib ioniseerimine.

3. Kaabli seatinamantel ületab nende suurte survete juures, mis tekivad kaablis tema normaalse eksploatatsiooni juures ja eriti tekkida võivate lühiste puhul, oma elastsuse piiri, mistõttu tekivad tühemikud isoleeritud kaabli ja seatinamantli vahel.

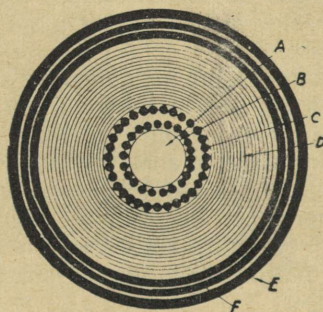
4. Kaabli immutusmassil on 8—10 korda suurem paisumiskoeffitsient kui teistel kaabli elementidel. See asjaolu põhjustab ühelt poolt ülemäärase surve kaabli sees normaalse eksploatatsiooni juures, teiselt poolt aga on tühemike põhjustajaks kaabli isolatsiooni sisemuses tema jahtumisel.

Esimeseks katseks neid vöö-isolatsiooniga kaablite puudusi kõrvaldada, oli H-kaabli tarvitusele võtmine (nimetuse sai ta oma leiutaja Hochstädteri järgi), mis üksvahe oli välismaal väga populaarne ega ole praeguseni veel kaotanud oma tähtsust plokkides mahapandavates kaabelliinides. Selle kaabli konstruktsiooni kohta võiks märkida järgmist.

Voolukandev kaablisoon isoleeritakse kaablipaberiga, millele asetatakse perforeeritud metallitatud paberlint või perforeeritud vasklint. Kolm sellist soont keerutatakse koos hariliku vahetäitega ümmarguseks kaablikuks, mida tõmmatakse kokku veel vasega läbipõimitud tekstiillindiga. Vase sissepõimimine on vajalik kontakti loomiseks metallitatud lindi ja seatinamantli vahel. Peale kuivatamist ja immutamist kaetakse kaabel seatinamantliga ja soomustatakse. Sellise kaabli elektrivälja koosneb kolmest eraldi oleva soone elektriväljast, mille jõuhood on suunatud radiaalselt ja seepärast on risti paberikihtidele, mis ei lase tekkida tangentsiaalpingeid. Tühemikke täitev džuut asub väljaspool elektrivälja, mistõttu temas tekkivad tühemikud on mõjuta. Samuti ei mõju seatinamantli paisumiste mõjul tekkinud tühemikud, kuna nad on ekraneeritud. Vöö-isolatsiooniga kaabli puudus, mis seisnes selles, et immutusmaterjali termilise paisumise mõjul tekivad tühemikud, ei ole ka siin kõrvaldatud. Siiski töötavad need kaablid päris hästi kuni 60 kV pingete juures.

Eraldi seatinaga kaetud mitmesooneline kaabel (mark OCB) on oma elektrilise iseloomu poolest H-kaablile analoogiline, kuid palju odavam, selle tõttu ongi ta peamiseks H-kaabli väljatõrjajaks.

Immutusaine suure termilise paisumise mõju on kõrvaldatud ainult õliga täidetud kaablites, mille leiutas L. Emmanueli ja mille kasutamisele võtmine lahendas kaabli probleemi 110—220 kV pingele. Selle kaabli lõige on toodud joon. 113. Siin on A — tühi ruum kaabli sees, mis on moodustatud traatspiraali B poolt. Selle spiraali peale on asetatud kaablisoone C vasktraadid; sellele järgneb paber-isolatsioon D ja kaks seatinamantlit E, mille vahel asub messinglintidest soomus F.



Joon. 113. Õliga täidetud kaabli lõige.

Sageli aga valmistatakse see kaabel ühe seatinamantliga ja soomustamata. Kaabli sisemuses olevas tühemikus on transformatorõli, mis võib termiliste paisumiste ja kokkutõmbumiste puhul ühendusmuhvide kaudu voolata kaablisse ja sealt välja nn. toite- või survepaakidesse. Need paagid ja kaabli sisemine õõnsus on nii dimensioneeritud, et mitte mingisuguste kaabli eksploatatsiooni tingimuste juures ei saa kaablis tekkida alarõhku võrreldes atmosfäärilisega, mis väldib tühemike tekkimise kaablis.

Peale õliga täidetud kaabli on konstrueeritud veel mitu kaabli tüüpi ülikõrgete pingete jaoks, millest tähelepanuväärsemad on nn. „kaabel surve all“ ja gaasiga täidetud kaabel.

Peaaegu kõik need kaablid on veel kas katse-ajajärgus või on kasutamisel väikestes tööstuslikes seadmes. Nende kaablite idee seisneb selles, et kaabli isolatsioon suurendab surve all tugevasti oma dielektrilist tugevust.

Surve all asuv kaabel on harilik kaabel, mis immutatakse viskoosse kompaundiga ja asetatakse terastorusse, millesse surutakse 12—15 at all gaasi. Gaasi surve surub läbi õhukese seatinamantli kaabli dielektriku kokku, mis võimaldab umbes kaks korda suurendada kaabli tööpinget.

b) **Kaabli konstrueerimise alused.** Voolujuhtivad jõukaablite sooned võivad olla kas ümmargused, sektori või segmendi kujulised. Mitmest traadist koosnevad sooned valmistatakse samuti nagu paljasjuhtmed, selle vahega, et siin kasutatakse lõõmutatud traati ja traadi kokkukeerutamine toimub selliselt, et südamikus on üks traat, mis annab kõige tihedama soone ja hoiab kokku isolatsioon- ja kaitsematerjale. Peale selle võetakse keeru sammuks 18—22 soone läbimõõtu vase kokkuhoiu ja juhtivuse suurendamise otstarbel. Ümmargusi sooni kasutatakse praegu ainult ühesooneliste kaablite ja väga väikeste ristlõigete juures (kuni 6—10 mm<sup>2</sup>). Kõik teised mitmesoonelised kaablid valmistatakse peamiselt, meil isegi eranditult, sektor- või segmentsoontega, et vähendada kaabli välist läbimõõtu ja järelikult ka tema hinda.

Sektorsoonte moodustamiseks on mitu viisi:

1. Fassongsüdamiku kasutamine. Ühe või kahe fassongtraadi ümber keritakse üks või kaks keerdu ümmargust traati. See kerimisviis annab ristlõigete juures üle 50 mm väga ebakasulikud mõõted, mispärast teda kasutatakse harva.

2. Stantsimisviis seisab selles, et algul keerutatakse tavaline ümmargune soon, millele pärast antakse vajalik kuju erilise pressiga. Selle viisi juures saadakse väga ökonoomiliste mõõdetega sooned, kuid protsess on seotud suurema töökuluga kui teiste viiside juures.

3. Keerutamismasinasse lastakse mitu eri läbimõõduga südame traati ja selle peale keritakse üks või mitu keerdu ümmargust traati. Seda kerimisviisi kasutab mitmesuguse südamiku kuju saamiseks enamik kaablitehaseid.

4. Tihendatud soone viis erineb eelmisest ainult sellega, et peale kokkukeerutamist lastakse soon läbi valtside, kus teda tihendatakse, seetõttu tema mõõted märgatavalt vähenevad ja isoleerivate ning kaitsematerjalide kokkuhoid võib tõusta kuni 10%. See viis on mitmesuguste erinevustega levinud nii Euroopas kui ka Ameerikas.

Sektorkaablitel on väiksem läbimõõt kui samale pingele määratud ümmarguste soontega kaablitel, mistõttu nad on 10—20% odavamad. Sektorkaablite elektrimahtuvus on 15—30% suurem kui ümmarguste soontega kaablitel. Kuigi see asjaolu loob madala ja keskmiste pingetega võrkudes soodsad töötamistingimused  $\cos \varphi$  suhtes, suurendab ta selle eest tugevasti maandumisvoolusid.

Paber-isolatsiooni paksused on harilikult standarditud. Meil on nad ette nähtud OCT 6260 poolt. Need paksused põhjenevad peamiselt praktilistel kogemustel ja nende suurused vähenesid koos kaablitehnika arenguga ja kaablivalmistamise meetodite täiенemisega ning nähtavasti nad vähenevad veelgi.

Isolatsiooni korralikuks töötamiseks on tähtis, et lindi asetamine soonele oleks õige. Tühemike ja järskude paberi murdumiste vältimiseks asetatakse lint soonele harilikult väikese piluga — 0,5—2,5 mm. Suure

tähtsusega on nende pilude asetus isolatsiooni sees. Lindi laius määratakse peamiselt mehaanilise tugevuse kaalutlustel. Mida kitsam on lint, seda väiksem on isolatsiooni defektide arv (süvendid, paberi pikirebendid, kortsumised jne.). Oige paberi asetuse juures keritakse linnid kõik suunaga ühele poole, kuna vastasel korral võivad soonte kaabliks keerutamisel tekkida isolatsioonis tühemikud.

Ka seatinamantlite paksus on standarditud.

c) **Kaablite tootmine.** Pehme, lõõmutatud traat tuleb kaablitöökotta tavaliselt poolidele kerituna, millele ta asetatakse kerimismasinasse. Keerutamine toimub kas neilsamadel masinatel, mida kasutati paljasjuhtmete valmistamisel, või lihtsamatel. Keerutamine võib toimuda samaaegse isoleerimisega või sellest eraldi. Vahe nende viiside vahel seisab reas tootmistehnilistes momentides, kuid ka saadava toodangu kvaliteedis. Sektorsoone püsivuse seisukohalt on koos toimuv keerutamine ja isoleerimine ohutum, kuna eraldi operatsioonide puhul on mõnel juhul võimalikud isolatsiooni pikirebendid.

Peale kaabli kokkukeerutamist teostub kuivatamine ja isoleeriva massiga immutamine. See operatsioon on kaabli valmistamisel üheks vastutavamaks. Kuivatamise ja immutamise protsessid teostatakse tavaliselt samas katlas, et vältida kuivatatud kaabli kokkupuutumist õhuga. Raudpoolile või silindrilisse raudnõusse (korvi) keritud kaabel asetatakse vaakuum-kuivatuskatlasse. Katel on varustatud soojendus-särgi või soojendusspiraaliga, milles tsirkuleerib aur. Algul soojendatakse kaablit poolavatud kaanega mõne tunni jooksul 110—120° juures, seejärel suletakse katla kaas ja kuivatamine jätkub vaakuumis sama temperatuuri juures mõned tunnid kuni mõni päev. Vaakuum on harilikult 90—95%, uutest seadmetes aga viiakse vaakuum kuni 1 mm elavhõbeda-sambast. Sageli kiirendatakse kuivatamist kiudude soojendamisega elektrivoolu abil, mis vähendab märgatavalt kuivatamise aega ja tõstab kuivatamise kvaliteeti. Ülikõrgete pingete jaoks määratud kaablite valmistamisel täidetakse katel enne kuivatamise lõppu süsihappegaasiga, mis pärast välja pumbatakse. Sellega saavutatakse keemiliselt aktiivse hapniku asendamist vähem aktiivse süsihappega, pealegi lahustub süsihape immutusmaterjalis paremini kui õhk, mistõttu vähenevad esialgsed tühemikud kaablis. Nende tühemike tekkimise vähendamiseks ja kaablimassi hapendumise vältimiseks immutatakse ülikõrgetele pingetele määratud kaablid degaseeritud massiga, mida pärast degaseerimist hoitakse vaakumis.

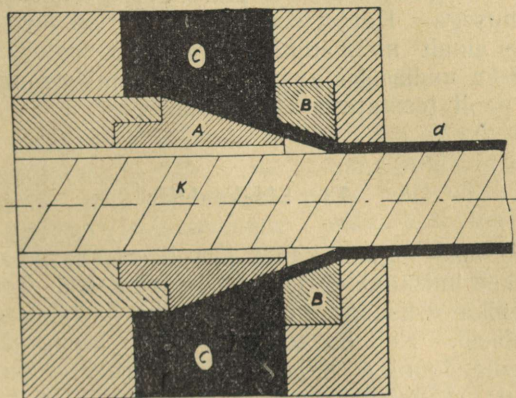
Immutamisprotsess seisneb selles, et immutusmass imetakse vaakuumi poolt katlasse. Immutusmassi esialgne temperatuur on 115—140°.

Massi katlasse imemise protsess peab olema küllalt aeglane ja kestma 1—2 tundi, selleks et võimalikult täielikult kõrvalduks veel kaablistse jäänud õhk. Immutamine kestab 1—2 ööpäeva, seejärel las-

takse kaabel enne seatinaga katmist jahtuda, pidades teda seejuures immutusmassis. Sellise jahutamise eesmärgiks on võimaldada immutusmassi termilise kahanemise arvel suuremat kaabli täitumist.

Immutusmassina on praegu peaaegu eranditult tarvitusel kas mineraalõli ja kampoli segu või mineraalõli üksi. Selle massi omadused ja koostis on eri tehastes üsna kõikumad.

Immutusmassina on kasutamisel kõik mineraalõlide tüübid, alates päris vedelatest ja lõpetades raskete ja paksude õlidega. Viskoosse immutusmassina kasutatakse keskmise ja suure viskoossusega õlisid,



Joon. 114. Seatinapressi töötamise põhimõte.

millele on lisatud kampolit; viimase sisaldus kõigub 10—60%, vastavalt massi otstarbele, tüübile ja kaablitehase tehnoloogilisele protsessile.

Immutusmassi viskoossus tõuseb tugevasti kampoli lisamisega, — eriti madalate temperatuuride juures. Kampoli-lisand tõstab ka kaabli isolatsioonitakistust.

Kõrgepingekaablite immutamiseks kasutatakse Ameerikas ka piranooli — materjali, mis on analoogiline meie sovolile. Tema kasutamine ei leia arvatavasti levikut, kuna ta nende temperatuuride juures, kus on karta isolatsiooni süttimist, eraldab lämmatavaid gaase, mis on veel ohtlikumad kui kaabli põlemine.

Seatinamantli asetamiseks kaablile kasutatakse mitmesugust süsteemi presse. Seatina pressitakse nendest hüdraulilistest pressidest välja poolplastilises olekus, temperatuuriga 160—200°, vastavalt kaabli läbimõõdule. Samuti kõigub ka seatinatoru väljapressimise surve 150—300 at, samuti olenedes kaabli läbimõõdust. Peened kaablid vajavad kõrgemat temperatuuri ja suuremat survet. Seatinapressi töötamise põhimõte on toodud joon. 114. Pressi sisse asetatakse õines

torni *A* ja rõngas (matriits) *B*. Seatina surutakse ruumist *C* torni ja matriitsi vahele jääva rõngakujulise ava kaudu välja toru *d* näol, mis haarab läbi torni õõnsuse tuleva kaabli tihedalt ümber ja viib selle kaasa. Jõukaablite jaoks kasutatakse puhast seatina, puhtusega 99,85% või vähemalt 99,7%, telefonikaablite jaoks aga seatinale lisatakse juurde teisi metalle, mis teevad mantli tugevamaks. Sellisteks lisanditeks võivad olla inglistina (1—3%), antimoon (0,6—1%), kaltsium (0,04%) ja rida teisi lisandeid.

Kaabli soomustamine teostatakse soomustamismasinaga, mis katab kaabli korruga vaikudega, paberiga, džuudist kattega ja lint- või traat-soomusega. Kaabli soomustamine või broneerimine ei ole kaitseks mitte ainult mehaaniliste vigastuste vastu, vaid ta kaitseb seatinamantlit ka mullas leiduvate ainete keemiliste mõjude ja rändavate voolude poolt teostatava elektrolüüsi eest.

### 73. Sidekaablid.

Sidekaableid võib jagada kahte järsult erinevasse rühma: a) telegraafi- ja plokeerimiskaablid ja b) telefonikaablid. Telegraafikaablid, olles kaablitehnika esiisadeks, ilmusid mitu aastakümnet enne jõu- ja telefonikaableid. Neil on seljataga mitu arengujärku: esialgsed gutapertšist isolatsiooniga kaablid, immutatud džuut-isolatsiooniga kaablid, immutatud paber-isolatsiooniga kaablid ja kordellpaber-isolatsiooniga kaablid. Meil valmistatakse praegu telegraafikaableid samuti kui plokeerimiskaableid, mida kasutatakse raudtee vajadusteks. Tehnoloogiliselt erineb see rühm vähe jõukaablitest, kuna valmistamisprotsess on samasugune, samuti on samasugused ka toormaterjalid. Markeeritakse neid vastavalt kaitsekihtidele: COГ (katteta), COБ (lintidega soomustatud), COП (lameda traadiga soomustatud) jne. Paberiga isoleeritud voolujuhtivad sooned on nendes kaablites läbimõõduga 1 mm ja soonte arv on 1 kuni 108. Valmistatakse neid standardi CT/ГЦМО—25/2978 järgi.

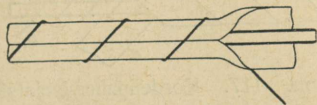
Telefonikaablite tehnika erineb märgatavalt üldisest kaablitehnikast, kusjuures ilmnevad seda tüüpi kaablite valmistamise eritahasse koondamise tendentsid. Selle rühma kaableid võib vastavalt kasutamisaladele jaotada järgmistesse alarühmadesse:

- a) keskjaamade kaablid, mida kasutatakse jaama enese piirides,
- b) jaotuskaablid, mida kasutatakse abonentide juures majades,
- c) kohalikud telefonikaablid, mida kasutatakse linnades maa-aluste liinide tõmbamiseks,
- d) kaugühenduste maa- või õhukaablid,
- e) raadiotranslatsiooni kaablid,

f) kombineeritud telefoni-telegraafikaablid raudtee otstarbeks, g) veealused kaablid.

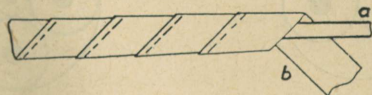
Neile alarühmadele võib veel juurde lisada koaksiaalkaablid, mis ilmuvad alles hiljuti ja mida kasutatakse telefoni kaugside ja kaugnägemise otstarveteks.

Isolatsiooni iseloomu järgi võib telefonikaableid jagada järgmistesse alarühmadesse: a) puuvillast immutatud isolatsioon, mida kasutatakse jaotuskaablite ja ka emailiga kombineeritult keskjaama kaab-



Joon. 115. Isolatsioon piki soont asetatud paberlindiga.

lite juures, b) immutatud siid-isolatsioon, mida varem kasutati keskjaama kaablite juures, c) villane isolatsioon, mida kasutati enamalt samuti keskjaama kaablite juures, d) email-isolatsioon, kombineeritult immutatud puuvillast isolatsiooniga, mida kasutatakse keskjaama kaablite juures, e) nitrolakiga või atsetüültsellulooslakiga lakitud puuvill-isolatsioon, mida kasutatakse välismaal telefonijuhtmeteks, f) kummi-isolatsioon, mida kasutatakse laeva telefonikaablite ja tele-



Joon. 116. Õõnesisolatsioon.

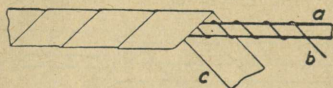
foni abijuhtmete juures, g) gutapertšist isolatsioon, mida varemalt kasutati merealustes kaablites, h) õhkpaber-isolatsioon, mis on praegu valdavamaks isolatsiooniks telefonitehnikas kasutatavate igasuguste kaablite juures.

Viimast isolatsiooni on mitu tüüpi, meid huvitavad ainult järgmised:

1. Isolatsioon piki soont asetatud paberlindiga. Skemaatiliselt on see isoleerimisviis toodud joon. 115. Siin vasksoon on asetatud õõnsasse paberist torusse. Toru on lahtituleku vältimiseks mähitud spiraalselt niidiga. Seda liiki isolatsiooni kasutatakse enamiku meil kasutatavate kohaliku telefonivõrgu standardkaablite juures.

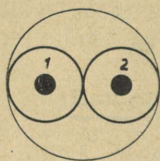
2. Õõnes isolatsioon paberlindiga. Skeem on antud joon. 116. Siin on *a* vasksoon, mille ümber on keeratud paberlint *b* õõnsa toru näol. Seda isolatsiooni liiki kasutatakse välismaal igal pool linna telefonikaablite juures. See isolatsioon ei katke venimise puhul, mis on paratamatu eelmise isolatsiooni liigi juures.

3. Paberimassi isolatsioon. See uus isolatsiooni liik teostatakse selliselt, et vasksoonele kantakse paberimassi (tselluloosi) kiht samal viisil, nagu see toimub paberi enese valmistamisel. See kiht kantakse soonele, kuivatatakse ja silutakse samal masinal, mistõttu juhtmeh saadakse küllalt tugev ja koos sellega ka kore kiht paberit, millel on sama dielektriline konstant nagu teistelgi õhkpaber-isolatsioonidel. Kasutatakse ainult linna telefonikaablite juures.

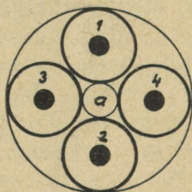


Joon. 117. Kordellpaber-isolatsioon.

4. Kordellpaber-isolatsioon. Selle isolatsiooni skeem on toodud joon. 117. Siin keritakse juhtmele algul paberist nõör (kordell) *b* ja selle peale paberlint *c*. See viis võimaldab saada isoleeritud soont läbimõõdu täpsusega kuni 0,01 mm. Kasutatakse linnade-vahelise telefonikaabli juures soonte läbimõõtudele üle 0,9 mm.



Joon. 118. Paaris-keerutamise skeem.



Joon. 119. Täheha-keerutamise skeem.

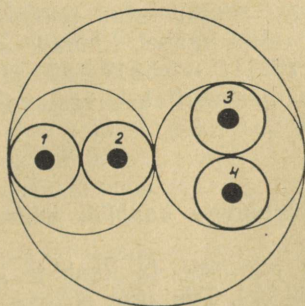
Telefonikaabli tähtsaks konstruktiivseks iseärasuseks on kõnerühmade kokkukeerutamise süsteem. Induktsiooni vältimiseks naaberkõnerühmadega tuleb kaks juhet, mis moodustavad kõnepaari, tingimata omavahel kokku keerutada. Sellise kokkukeerutamise süsteemi on mitu, tähtsamad neist on järgmised:

1. Paariskeerutamine on skemaatiliselt näidatud joon. 118. Siin keerutatakse kaks isoleeritud kiudu (1 ja 2) kõnepaariks, kogu kaabel aga keerutatakse vajalikust kõnepaaride arvust. Sellist kaabli keerutamist kasutatakse nii meie standardkaablite kui ka enamiku välismaiste linnakaablite juures (peale Saksamaa).

2. Neljakaupa täheha keerutamine on näidatud skemaatiliselt joon. 119. Siin keerutatakse kokku neli isoleeritud juhet (1, 2, 3, 4) ja kaabel ise keerutatakse teatud neljakute arvust. Selle keerutusviisi juures moodustub kõnepaar diagonaalselt asuvaist juhtmeist, näiteks 1 ja 2, 3 ja 4. Sageli asetatakse õige distantsioneerimise otstarbel

nende juhtmete keskele paberist kordell *a*. Sellist keerutamiskiivi kasutatakse saksa linnakaablites, sageli aga ka kaugkaablites. Meil kasutatakse sellist keerutamiskiivi telefoni-telegraafisõlmede kableerimiseks kasutatavate kaablite juures ja ka kaugkaablites.

3. Neljakaupa keerutamine DM (Dieselhorst-Martin) on skemaatiliselt näidatud joon. 120. Selle keerutamiskiivi juures keerutatakse algul kokku sooned 1 ja 2, samuti 3 ja 4, mis pärast keerutatakse neljakuks. See keerutamiskiiv on valdav linnade-vaheliste kaablite juures. Selle põhjuseks on asjaolu, et niisuguse keerutamiskiivi juures



Joon. 120. Keerutus neljakuks.

on võimalik saada 50% rohkem kõnepaare kui tavalise paaris keerutamise juures nn. fantoomkettide moodustamise teel. Fantoomketis on üks paar DM neljakust sinna- ja teine paar tagasi-juhtmeks kolmandale (fantoom)ketile. Ka tähtkeerutuse juures on selliste fantoomkettide saamine võimalik, kuid nende kettide elektrilised näitajad ei ole piisavad linnade-vahelise telefoniside otstarbeks.

Peale käsiteldute on veel teisi väiksema tähtsusega keerutamiskiivi.

Keskjaamakaablite sooned on läbimõõduga 0,4 mm. Vastavalt otstarbele toimub soonte rühmadesse keerutamine kas kahekaupa, kolmeakaupa või neljakaupa, kusjuures üksikud sooned on eri värvusega. Seda kaablit on kahte marki: TCC — seatinaga kaetud telefoni-keskjaama kaabel, mida kasutatakse peamiselt niisketes ruumides, ja TCO — tekstiilsukaga ületõmmatud telefonikaabel, mida kasutatakse paljusevälja monteerimisel. Mark TCC on email-isolatsiooniga, mis on kaetud ordinaarse puuvill-isolatsiooniga, TCO — email-isolatsiooniga, mis on kaetud immutatud puuvill-isolatsiooniga.

Telefoni-jaotuskaablid, mis meil on markeeritud TPK, on paariskeerutusega, paaride arv on 1—100, soone läbimõõt 0,5 mm. Neil kaablitel on kaitsekihina ainult seatinakate. Nende kaablite soonte isolatsiooniks on immutatud puuvill, kusjuures immutusmass sarnaneb jõukaablite immutusmassiga. Linna telefonikaablite soonte läbimõõdud

tehakse meil 0,5, 0,6 ja 0,7 mm. Soone läbimõõdust oleneb kõigepealt liini kõnekaugus, mida arvutatakse normeeritud kõnesageduslaine kustumise järgi kaablis. See kõnekaugus on 0,4 mm läbimõõdu juures 9,5 km, 0,5 mm juures — 11,4 km, 0,6 mm juures — 13,5 km ja 0,7 mm läbimõõdu juures 16 km. Välismaal kasutatakse sageli suuremaid soonte läbimõõte, nii on saksa standardkaablite soonte läbimõõt 0,6 ja 0,8 mm.

Telefoni linnakaablid markeeritakse kaitsekihtide järgi: ТГ — palja seatinamantliga kaabel, ТБ — raudlintidega soomustatud kaabel, ТП — lamedate traatidega soomustatud telefonikaabel, ТК — ümmarguste traatidega soomustatud kaabel. Linnade-vahelised telefonikaablid on standarditud OCT/HKTP — 5843/182 järgi, keerutus on neil neljakaupa tähena. Neid markeeritakse vastavalt kattekihi iseloomule: ТЗГ, ТЗБ, ТЗП ja ТЗК.

#### 74. Kummi-isolatsiooniga kaablid, juhtmed ja nõõrid.

Kummi-isolatsiooniga juhtmete ja kaablite kasutamisala on palju laiem kui teistel juhtmeliikidel. Tuntakse järgmisi kummi-isolatsiooniga juhtmete ja kaablite liike:

1. Kohakindla montaaži kaablid ja juhtmed, immutatud puuvilla-punutiskattega, kaitstud metallpunutisega või seatinamantliga.

2. Juhtmed ja kaablid liikuvaile voolutarvitajaile, alates kandelambist ja lõpetades mitmesuguste tööstusmasinatega.

3. Armatuurjuhtmed valgustusarmatuuride jaoks.

4. Laevajuhtmed, laevade elektriseadmete monteerimiseks.

5. Juhtmed autodele ja traktoreile.

6. Juhtmed lennukeile.

7. Erijuhtmed sõjalisteks otstarveteks.

8. Koroonakindlad juhtmed neonvalgustuse ja röntgeniseadmete jaoks.

9. Süütejuhtmed autodele ja lennukeile.

10. Mitmesoonelised kontrollkaablid, mida kasutatakse mitmesuguste aparatuuride sisselülilamiseks elektrijaamades.

11. Raadiojuhtmed.

12. Karrotäzijuhtmed, mida kasutatakse geoloogiliste uurimiste juures elektritakistuse meetodil.

13. Teatrijuhtmed näitelava valgustuse otstarbeks.

14. Soojendusjuhtmed soojendusaparatuuridele, elekterkeevitamiseks, pinnase soojendamiseks jne.

15. Elektrirongide juhtmed, mida kasutatakse vagunite-vahelisteks ühendusteks.

Peale selle jagunevad toodud rühmad omaette paljudeks alarühmadeks.

Kummi-isolatsiooniga juhtmete juures on oluliseks momendiks voolujuhtiva soone ehitus, kuna see määrab teatud ulatuses juhtme painduvuse. Selles osas valitseb suur mitmekesisus. Tabelis 34 on antud meil kasutatavad konstruktsioonid. Kuid ka tabeli 34 andmed ei ole meie vabrikute jaoks muutmatud. Alumiiniumsoontega juhtmed, mida meil mõnikord toodetakse, valmistatakse ainult klass A konstruktsiooniga (tab. 34), kuna alumiiniumi kerge murdumise ja väikese mehaanilise tugevuse tõttu sellised sooned ei kõlba juhtmeile, milledele nõutakse suuremat painduvust kui A-klassilt. Peale selle põlevad alumiiniumsooned jootmisel kergesti ära.

Meil kasutatavad isolatsiooni-paksused on toodud tabelis 35. Vahe isolatsiooni klasside vahel seisneb peamiselt proovimistes, mida teostatakse juhtmeiga. A-klassi isolatsioonid ei kannata proovimist vees, kuna teiste klasside isolatsioonid peavad vastu pidama ka vastava pingega proovimisele vees.

a) **Kohakindla montaaži juhtmed.** Nende juhtmete põhimargid on ПР-220, ПР-500, ПР-3000, kus numbrid tähendavad juhtme tööpinget. Need tinutatud vasest traatidest soonega ja kummi-isolatsiooniga juhtmed on A-klassi painduvusega (tab. 34). Meil tehakse need juhtmed sageli ka alumiiniumist soonega. Sel juhul muutub ka vastavalt mark: АПР-220 ja АПР-500; marki АПР-3000 ei valmistata. Alumiiniumi kasutamist kummi-isolatsiooniga juhtmeiks ei saa soovitada, kuna selliste juhtmete jootmine nõuab erijoodet, vastasel korral jootekohad väga kiiresti hapenduvad ja hapenduskohtades tekivad sädemed. Juhtmed ПР valmistatakse ristlõikega 0,75 kuni 400 mm<sup>2</sup> ja ainult ühesoonelistena.

Soomustatud juhtmed ПРП ja ПРШП on samuti kasutatavad kohakindlaks montaažiks seal, kus on tarvis juhet kaitsta kergete löökide eest. Väline kate on punutud 0,3 mm läbimõõduga tsingitud raudtraadist. Selle juhtme kasutamisel painduva juhtmena murduvad kergesti väliskatte üksikud traadid ja vigastavad isolatsiooni. Need juhtmed valmistatakse ühesoonelistena kui ka mitmesoonelistena, kusjuures sooned koosnevad suuremast arvust traatidest kui mark ПР (klass Б). Konstruktsioonilt erinevad margid ПРП ja ПРШП üksteisest selle poolest, et teisel on metallkoe all kummitoru.

Need juhtmed on kohased metallkonstruktsioonide külge monteerimiseks.

Juhtmed mark ПРТО-1000 ja ПРТО-2000 on määratud installeerimiseks raudtorudes, neid valmistatakse ühe-, kahe- ja kolmesoonelistena. Nende juhtmete soonte keerutus tehakse klass Б järgi, isolatsiooni-paksus tabeli 35 kohaselt ПРТО-1000 — klass Б ja ПРТО-2000

— klass B järgi. Peale kõrgendatud painduvuse erinevad need juhtmed mark ПП kummeeritud lindi kasutamise poolest lihtsa mitkallindi asemel.

Kohakindlaks installatsiooniks kuivades ruumides on määratud ka torujuhtmed ТПФ. Need kujutavad endast ühte või mitut ПП juhet, mis on asetatud metalltorusse (harilikult raud). Neid juhtmeid tuntakse meil sagedamini Kulo-juhtmete nime all.

Kuivade siseruumide valgustusinstallatsiooniks rullidel 220-voldise pinge juures kõlbavad juhtmed ПД — kahekordsed keerutatud soontega juhtmed, painduvusega klass B järgi, isolatsiooni-paksusega klass A järgi, immutamata puuvillase punutisega. Samasugune juhe, kuid immutatud puuvillase punutisega, annab margi ПДА.

Kahekordsed juhtmed mark ШП-220 ja ШП-500 erinevad juhtmetest ПД soone erilise painduvusega (klass C) ja on üleminekuks järgmise tüübi juurde. Neid nimetatakse harilikult nõõrideks. Need nõõrid kõlbavad nii installatsiooniks rullidel kui ka kantavate valgustuspunktide ühendamiseks. Viimaseks otstarbeks kasutamine kavatakse keelu alla panna ja asendada neid kergemate kumminõõridega.

Kohakindlaks installatsiooniks kasutatavate kummi-isolatsiooniga kaablite tähtsaks liigiks tuleb lugeda seatinaga kaetud kaableid, mida on mitu marki, vastavalt seatinapealseile kaitsekestadele. Siia kuuluvad kaablid СРГ, СРА, СРБ, СРП. Neid kaableid kasutatakse juhtudel, kui on tarvis kummi-isolatsiooni kaitsta eriti raskete töötingimuste eest, nagu hapete aurud, suur niiskus jne. Sellised kaablid valmistatakse nii ühe- kui ka mitmesoonelistena, soone painduvusega klass A järgi ja isolatsiooniga klass B järgi. Seatinamantli paksus sellistel kaablitel on aga väiksem kui maa-alustel immutatud paber-isolatsiooniga jõukaablitel.

b) **Juhtmed liikuvaile voolutarvitajaile.** Endisel ajal olid liikuvate voolutarvitajate jaoks määratud painduvate juhtmete peamiseks esindajaiks juhtmed ПРГ. Nüüd kasutatakse seda marki peamiselt elektrimasinate ehitamisel ja sealsete siseühenduste tegemiseks. Juhe ПРГ-500 omab isolatsiooni klass B järgi ja ПРГ-3000 — klass C järgi. Soone painduvus on mõlemal klass B järgi. Juhtmel on väliskate immutatud kõdunemist takistava kompaundiga, valmistatakse neid ainult ühesoonelistena. Peale selle turustatakse mark ДРГ all samasuguseid juhtmeid ristlõikega 0,75 kuni 10 mm<sup>2</sup> kahesoonelistena, kusjuures sel juhul asetatakse kaks ühesoonelist juhet kõrvuti ja nad saavad ühise punutise, mida immutatatakse kõdunemist takistava kompaundiga.

Juhtmed ШПП ja ШПО on painduvate nõõride esindajad, mida kasutatakse lampide ühendamiseks. Juhe ШПП on määratud plokk-

Tabel 34.

Kummi-isolatsiooniga juhtmete vasksoonte konstruktsioon.

Ristlõige mm <sup>2</sup>	Traatide arv ja nende läbimõõt			
	Klass A	Klass B	Klass B	Klass C
	Margid: ПР, ПРТО (kuni 35 mm <sup>2</sup> ), ТПРФ, АР, АРД	Margid: ПРГ, ДПРГ, ПРП, ПРШП, ПРТО (üle 35 mm <sup>2</sup> ), ПРД, ПРДА, ППО	Margid: КРПТ(alates 6 mm <sup>2</sup> ) ГТО ГТШ ГРШС ГРШ	Margid: ШР, ШРА, ШРП, ШРО, ШРПК, ШРПЛ, ШРПС
0,5	—	7 × 0,3	—	16 × 0,2
0,75	1 × 0,97	7 × 0,37	19 × 0,23	24 × 0,2
1,0	1 × 1,12	7 × 0,43	19 × 0,26	32 × 0,2
1,5	1 × 1,37	7 × 0,52	19 × 0,32	21 × 0,3
2,5	1 × 1,76	19 × 0,41	7 × 7 × 0,26	35 × 0,3
4	1 × 2,23	19 × 0,52	7 × 7 × 0,32	56 × 0,3
6	1 × 2,73	19 × 0,64	7 × 7 × 0,39	84 × 0,3
10	7 × 1,33	7 × 7 × 0,52	12 × 7 × 0,39	—
16	7 × 1,68	7 × 7 × 0,64	12 × 7 × 0,49	—
25	7 × 2,11	12 × 7 × 0,62	19 × 7 × 0,49	—
35	7 × 2,49	19 × 7 × 0,58	27 × 7 × 0,49	—
50	19 × 1,81	19 × 7 × 0,68	37 × 7 × 0,49	—
70	19 × 2,14	27 × 7 × 0,68	37 × 7 × 0,58	—
95	19 × 2,49	37 × 7 × 0,68	37 × 7 × 0,68	—
120	37 × 2,01	37 × 7 × 0,76	48 × 7 × 0,67	—
150	37 × 2,24	48 × 7 × 0,74	61 × 7 × 0,67	—
185	37 × 2,49	61 × 7 × 0,74	30 × 19 × 0,64	—
240	61 × 2,21	61 × 7 × 0,85	61 × 12 × 0,64	—
300	61 × 2,47	27 × 19 × 0,85	48 × 19 × 0,64	—
400	61 × 2,85	37 × 19 × 0,85	61 × 19 × 0,66	—

Tabel 35.

Kummi-isolatsiooni minimaalsed paksused mm

Ristlõige mm <sup>2</sup>	Klass A	Klass B	Klass B	Klass C	Ristlõige mm <sup>2</sup>	Klass A	Klass B	Klass B	Klass C
	Nimipinge voltides					Nimipinge voltides			
	220	500	2000	3000		220	500	2000	3000
0,75	0,6	0,8	—	—	50	0,8	1,6	2,3	2,4
1,00	0,6	0,8	—	—	70	0,8	1,6	2,3	2,4
1,5	0,6	0,8	1,5	1,7	95	1,0	1,8	2,6	2,6
2,5	0,6	1,0	1,5	1,8	120	1,0	1,8	2,6	2,6
4	0,6	1,0	1,5	1,8	150	1,2	2,0	2,8	2,8
6	0,6	1,0	1,5	1,8	185	—	2,2	3,0	3,0
10	0,8	1,2	1,7	2,0	240	—	2,4	3,2	3,2
16	0,8	1,2	1,7	2,0	300	—	2,6	3,4	3,4
25	0,8	1,4	2,0	2,2	400	—	2,8	—	—
35	0,8	1,4	2,0	2,2					

nööriks, ta on kahesoonealine, mille painduvus kuulub C klassi ja isolatsioon A klassi, sooned on kokku keerutatud, tühemike täiteks kasutatakse puuvillast lõnga, väliskate on immutamata. Juhe ШПО erineb eelmisest ainult sellega, et tal puudub puuvillast piki-isolatsioon.

Liikuvate voolutarvitajate juhtmete põhitüüpideks tuleb lugeda mitut liiki voolikjuhtmeid. Selle nimetuse all tuntakse harilikult mitmesoonelisi juhtmeid, mille isoleeritud ja kokkukeerutatud soonte ümber asetseb ühine kummitoru (voolik), mis täidab nii tühemikud soonte vahel kui loob ka teatava paksusega kaitsekihi juhtme ümber. Sellised juhtmed on mehaaniliselt väga tugevad ja vastupidavad, mistõttu nad on praegu laialdaselt levinud eriti seal, kus töötamistingimused on rasked. Kerged voolikjuhtmed, õigemini vooliknöörid, on meil esindatud kahe margiga — ШПТК ja ШПТЛ, mõlemad nöörid valmistatakse kahesoonealistena. Vahe nende vahel seisneb selles, et margil ШПТК (tubane nöör) on kummivooliku peal veel immutamata punutis. Nende juhtmete soonte painduvus on A-klassist. Juhe ШПТК on määratud eeskätt mitmesuguste koduste soojendusaparatuuride ühendamiseks, juhe ШПТЛ — liikuvate tööstuslike seadmete jaoks. Mõlemad nöörid on pingetele mitte üle 220 voldi. Nende juhtmete soonte ristlõiked on ШПТК — 0,75—1,0 mm<sup>2</sup> ja ШПТЛ — 0,75—1,5 mm<sup>2</sup>.

Keskmiised voolikjuhtmed ШПТС valmistatakse kahe-, kolme- ja neljasoonelistena, iga soon ristlõikega 1,0—4,0 mm<sup>2</sup>, soone painduvus C-klassist ja isolatsioon Б-klassist. Vooliku peal pole mingisuguseid kattekihte. Neid juhtmeid kasutatakse niiskeis ruumides tagasihoidlike mehaaniliste mõjutuste juures pingetel mitte üle 500 V.

Raskeil voolikjuhtmeil on rida esindajaid, mida kasutatakse mitmesugustel juhtudel. Üldise tüübina esineb raske voolikjuhe КРПТ, mis on pingetele kuni 500 V ja sobiv töötamiseks raskeis tingimustes (põllutöömehhanid, montaažtöökojad jne.). Need juhtmed valmistatakse ühe-, kahe-, kolme- ja neljasoonelistena, ristlõikega 2,5 kuni 70 mm<sup>2</sup>, isolatsiooniga Б-klassist. Soonte painduvus ristlõikele kuni 4 mm — klass C, üle 4 mm — klass B. Selle margi iseärasuseks on veel see, et välja arvatud ühesoonelised juhtmed, juhtmele on veel peale tõmmatud teine voolik paksusega 1,6 kuni 2,6 mm, neljasooneliste juhtmete juures alates ristlõikest 16 mm<sup>2</sup>, kahe- ja kolmesooneliste juures alates 25 mm<sup>2</sup>.

Nn. turbakaablid, mida kasutatakse turbatööstuste liikuvate seadmete juures, on teine raske voolikjuhtme liik. Need on kahesuguse konstruktsiooniga: margid ГТО-500, ГТО-2000 ja ГТО-3000 ja margid ГТШ-500, ГТШ-2000 ja ГТШ-3000, kusjuures numbrid näitavad kaabli tööpinget. Neid kaableid valmistatakse kahe-, kolme- ja neljasoonelistena, ristlõigetega 1,5 kuni 70 mm<sup>2</sup>. Turbakaablite iseärasuseks on maandatud vasktraatidest punutis esimese vooliku

peal. See põimik, mis on arvestatud täielikule maandamisvoolule, on ohutustehnika seisukohast väga tähtis; tema puudumisel eksploatatsioonis juhtuvate läbilöökide juures oleks töölise elu hädahoos. Kaabli mark ГТО on kummivooliku ja vasktraadist punutise peal puuvillasest koest sukk ja selle peal veel kõdunemiskindla kompaundiga immutatud nõörpunutis. Kaabel mark ГТШ on tekstiil- ja nõörpunutise asemel üle tõmmatud teise kummivoolikuga, ta on odavam ja ka tugevam eelmisest margist.

Voolikjuhtmete esindajateks on ka nn. kaevanduskaablid ГШС ja ГПШ, mis on määratud tööks eriti raskeis tingimustes. Nad on määratud pingetele kuni 500 V kaevanduste jõu- ja valgustusseadmetes. Nende kaablite konstruktsioon on oma soonte arvu ja ristlõike osas valitud kaevandusseadmete eritingimustele vastavalt. Kaabli ГПШ peamine erinevus eespoolvaadeldud turbakaablist ГТШ seisneb peale soonte arvu ja ristlõike tema väliskihi suuremas paksuses. Kaabli ГПШС on peale selle soonte vahel eriline kummisüdamik (sadul), mis väldib kaabli vigastamist eriti raskete mõjutuste tõttu. Kaevanduskaablid on tõepoolest mehaaniliselt nii tugevad, et neist võib nende pinge all olles täislaetud vagonetiga üle sõita.

c) **Laevaseadmete juhtmed.** Laevaseadmete põhi-instalatsiooniks kasutatakse kummi-isolatsiooniga ja seatinamantliga juhtmeid. Välismaal kasutatakse magistraalliinide instalatsiooniks sageli ka soomustatud kui ka soomustamata immutatud paber-isolatsiooniga kaableid. Laevajuhtmed on põhiliselt kuivamaa juhtmetega mark СРГ analoogilised, neid markeeritakse СРМ, СРБМ ja СРПМ. Laevakaablite erinevus kaablitest СРГ seisneb peamiselt kummi-isolatsiooni paksuses ja kvaliteedis, kusjuures see paksus juhtmeil, mis on määratud pingetele kuni 220 V, asub umbes klasside Б ja В vahepeal. Samuti on nende juhtmete soonte painduvus klasside А ja В vahepeal. Ristlõigete skaala on laevajuhtmete juures laiendatud ja intervallis 6—1000 mm<sup>2</sup> on peale standarditud ristlõigete veel vahepealseid ristlõikeid.

d) **Autode ja traktorite juhtmed.** Autode ja traktorite juhtmed töötavad eriti raskeis tingimustes, kusjuures neile ohtralt sattuv õli, bensiin ja vesi hävitavad lühikese aja jooksul kummi-isolatsiooni ja juhtme kattekihid. Sellepärast on tarvilik kaitsta juhtmeid õli, bensiini ja vee mõju eest. Selline kaitse teostatakse juhtme kattekihi lakikorruga katmise teel. Traktorite ja autode montaaž konveieril nõuab juhtmete koondamist nn. kimpudesse, mis asetsevad ühises väliskattes ja on varustatud kõigi vajalike klemmidega. Väga luksuslike autode juures asetatakse juhtmed torudesse.

Lennuki juhtmed kaitstakse samuti lakikihiga, muus osas ei erine nad ПРГ juhtmeist, välja arvatud suurem soonte painduvus.

Õli- ja bensiinikindlad lakikihid juhtmeil võivad samaaegselt olla ka koroonakindlad. Ilma lakikihita hävineb kummi-isolatsioon koroona tõttu võrdlemisi ruttu. Sellepärast on kaasaegsed süütejuhtmed (teisiti — magneetojuhtmed) kaetud koroonakindla lakikihiga, mis ühtlasi kaitseb teda ka õli, bensiini ja vee mõjude eest. Meil valmistatakse auto- ja lennukitööstuse tarveteks kaks marki selliseid juhtmeid: ПБЛ — lakitud kõrgepinge-juhe, ПБЛЭ — sama, kuid ekraneeritud tinutatud vasktraadist punutisega.

e) **Kummi-isolatsiooniga juhtmete tootmine.** Kummijuhtmete voolukandvad sooned erinevad jõukaablitest sellepoolest, et nad valmistatakse tinutatud vasest ja on tavaliselt kokku keerutatud, mis tagab suurema painduvuse. Vase tinutamine on vajalik esiteks sellepärast, et kummis leiduv vaba väävel korrodeerib vaske sügavalt, mis võib põhjustada peenikeste traatide juures katkemisi, ja teiseks vask depolümeeriseerib otsese kontakti puhul kummit, tekitades kontakti kohal sültjat vedelikku. Alumiinium on selles suhtes parem, ta ei vaja tinutamist.

Kaablite isoleerimiseks kasutatakse meil tavaliselt kautšukit, mis sisaldab 50% naturaalkautšukit ja 50% sünteetilist kautšukit. Naturaalkautšuki (NK) sünteetilise kautšukiga (SK) täiel määral mitteasendamise põhjusteks on esiteks see asjaolu, et viimasega koostatud segud ei oma küllaldast kleepuvust, mis takistab mõnel juhul nende töötlemist kummiga katmise pingil, teiseks on tal madalamad elektrilised ja mehaanilised omadused ja kolmandaks sisaldab ta sageli nn. krõmpsluid, s. o. tugevamalt polümeeriseerunud osi. Läbipesemata sünteetiline kautšuk sisaldab 0,9—1,8% leelisi, pestud — 0,1—0,4% (Bulgakovi järgi). 0,4% leelisesisaldusega sünteetilise kautšuki läbilöögitugevus on umbes 24 kV/mm, leelisesisalduse suurenemisega ta langeb kiiresti, olles 1,2% leelisesisalduse juures umbes 5 kV/mm.

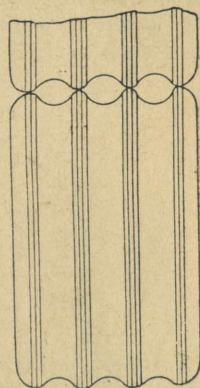
Kaablitoodete kummi-isolatsiooni valmistamine algab segusse minevate pulbrite ettevalmistamisega (kuivatamine, sõelumine, kaalumine).

Järgmine operatsioon — segamine — teostatakse erilistel valtsidel. Neid valtse on võimalik auruga soojendada või veega jahutada, neid võib üksteisele lähendada ja üksteisest eemaldada. Valtsid pöörlevad eri suunas erinevate kiirustega, pöörete arvu vahekord kõigub 1 : 10 kuni 1 : 25.

Segamisoperatsioon algab kautšuki plastifitseerimisega, milleks valtsid eemaldatakse üksteisest maksimaalsele kaugusele ja nende vahele juhatakse kautšuk; valtsid haaravad kautšuki kinni ja see läbib aeglaselt valtside-vahelise pilu, keerdudes ümber ühe valtsi. Suure hõõrdumise tõttu kautšuk soojeneb ja muutub plastiliseks.

Pärast plastifitseerimist kaotab kautšuk oma „närvi”, s. o. omaduse venida ja kokku tõmbuda. „Närv” tuleb tagasi pärast mõnepäevast seismist, kiirel jahutamisel aga isegi mitte pikema aja jooksul.

Järgmine segu töötlemise operatsioon seisneb tema viimises sellisesse seisukorda, milles teda on otstarbekohane asetada juhtmele. Selleks segu soojendatakse valtsidel, mis oma konstruktsioonilt ei erine kirjeldatust; seejärel juhitakse ta kalandrisse — suurde masinasse, millel on kolm või neli tugevat üksteise peal asuvat valtsi. Kalandrist saadakse õhuke kummikangas, laiusega 1—1,5 m, mida keritakse puust rullile, asetades kihtide vahele kokkukleepumise vältimiseks talgiga üleriputatud mitkalriie. Selliselt valmistatud kummi läheb juhtmete isoleerimiseks külmalt pressimise teel. Enne pressimist lastakse ta mõni päev seista „närvi” tagasisaamiseks. Pritspressiga isoleerimiseks määratud kummi kalandreeritakse 2 mm paksuseni või kalandrit läbimata töödeldakse nn. vorstimasinas (mis on pritspressi teisendiks) vorstitaolisteks pulkadeks, millistena ta soojendatuna juhitakse pritspressi.



Juhtmesoone kummiga isoleerimist võib teostada kolmel viisil: 1) mähkimisviisil, 2) külmalt pressimisega, 3) pritsimisviisil.

Joon. 121. Kummi-isolatsiooni juhtmeile asetamise valtside skeem.

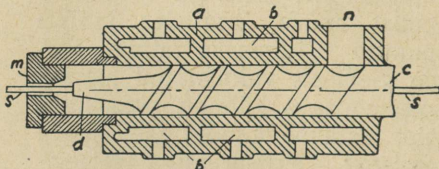
Esimene viis seisneb selles, et kalandreeritud kummikangas lõigatakse kitsasteks lintideks, mis mähitakse vastaval masinal juhtmele. Seda viisi kasutatakse ainult suure läbimõõduga ja madalatele pingetele määratud kaablite juures, tal on rida puudusi, mistõttu esineb harva.

Külmalt pressimine seisab selles, et kalandreerimisel saadud kummikangas lõigatakse vajaliku laiusega ribadeks, ribad lastakse ülevalt ja alt paarikaupa valtside alla, millel on juhtme läbimõõdule vastavad sooned sees. Kummiribad haaratakse valtside poolt kinni ja pressitakse tema soontest läbiminevale juhtmele. Selliste valtside põhimõte on toodud joon. 121. Harilikult on ühel pressil kaks kuni kolm paari valtse, et saada kahe- või kolmekordset isolatsiooni. Külmal pressil kaetakse korraga kuni 24 väikese läbimõõduga juhet. Jämedamad juhtmed kaetakse pressidel, mis töötlevad korraga ainult ühte juhet. Selle viisi vooruseks on juhtme hea tsentreerimine, mis pritsimismeetodil on raskesti teostatav.

Pritspressi idee on kujutatud joon. 122. Kambris *a* asetseb tigu *c*, mille õõnsat telge läbib juhe *s*. Kambril *a* saab vastava soojendussärgi

*b* kaudu auru abil soojendada või veega jahutada. Kummi juhitakse ava *n* kaudu tigule ja viiakse selle poolt vahetatava torni ja matritsi *m* juurde, millevahelisest rõngakujulisest avast ta surutakse juhtmele.

Peale isoleerimist läheb juhe, vastavalt konstruktsioonile, kas otse vulkaniseerimisele või talle keritakse lint ümber ja siis vulkaniseeritakse. Selle lindi ülesanne seisab selles, et ta kaitseb isolatsiooni mehaaniliste vigastuste eest, peamiselt aga selles, et luua survet vulkaniseerimisel. Kallimaid juhtmeid, muuhulgas ka häid voolikjuhtmeid



Joon. 122. Pritspressi skeem.

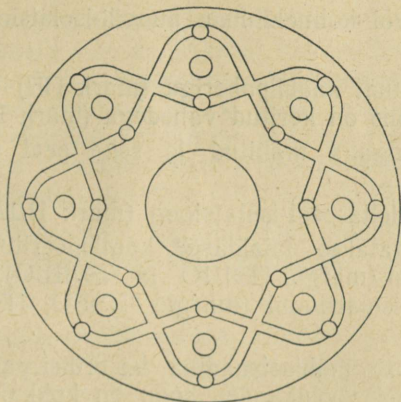
vulkaniseeritakse seatinamantlis, mis pärast kõrvaldatakse. Vulkaniseerimiseks asetatakse juhe erilisse katlasse, millel on soojendussärk. Läbi katla lastakse auru, mille temperatuur on umbes 120°. Auru kasutamine õhu asemel on tingitud sellest, et vulkaniseerimine on seotud suure soojusekuluga ja temperatuuri alalhoidmiseks on vajalik hästi soojust äraandev keskkond. Vulkaniseerimise aeg oleneb kummisegust, isolatsiooni-paksusest jne. Harilikult kõigub ta 10 minuti ja 2 tunni piirides.

Peale vulkaniseerimist toimub juhtme elektriline proovimine, mida teostatakse kas vees või nn. kuivalt proovimise aparaatides. Tekstiilkaitsekihi juhtmele asetamine teostatakse erimasinal. Kaablitehnikas esineb kahte liiki tekstiilkatteid — keritud ja punutud. Keritud kate saadakse lindi või lõngakimbu ühesuunalise juhtmele kerimisega, punumine teostatakse mitme lõngakimbu poolt selliselt, et üks osa kimpe on suunatud ühele ja teine osa teisele poole, kusjuures nad üksteisest läbi põimuvad. Punumisoperatsioon on kerimisest palju kallim.

Kasutatakse mitut tüüpi punumismasinaid, kõiki neid võib jagada kahte põhiklassi: aeglase- ja kiirekäigulised. Aeglasekäigulise masina töötamise skeem on toodud joon. 123. Lõngapoolid liiguvad masina töölaual olevaid sooni mööda ümber laua keskpunkti. Pool neist poolidest liigub ühele poole ja teine pool teisele poole. Laua telge läbib juhe, millele koonduvad poolidelt mahajooksvad lõngakimbud, mis poolide mainitud liikumise tõttu üksteisest läbi põimuvad. Sellised

põimuvad. Sellised masinad on väikese produktiivsusega; olenevalt juhtme läbimõõdust annavad nad 80—250 m punutist vahetuses. Kiirekäigulised masinad on produktiivsemad, andes 600—1000 m punutist vahetuses, kuid nad on palju kallimad ja nõuavad palju hoolt käsitamisel.

Kiirekäiguliste masinate töötamise põhimõte seisneb selles, et lõngapoolid tiirlevad eri suunas, kusjuures ühe poole poolide lõngad läbivad



Joon. 123. Punumismasina skeem.

samuti tiirlevate kangikeste silmi, mis samaaegselt teostavad võnkeliigutusi liikumatuil juhtpindadel. Selle võnkeliigutuse tulemusena toimubki põimumine.

Juhul, kui punutist ei immutata, tehakse ta sageli läiklõngast, s. o. lõngast, millele on peale apreteerimist antud läige. Apreteerimiseks kasutatakse sageli tärklis.

Viimasel ajal on arenenud juhtme punutise katmine lakiga, mis on tingitud nõudmisest õli-, bensiini- ja veekindla isolatsiooniga juhtmete järgi. Lakkimise tehnika tekkimise alguses võistlesid kaks laki sorti: õlilakid ja tselluloidlakid. Õlilakid osutusid kõlbmatuks mitte ainult sellepärast, et nad olid kallimad ja lakkimine oli raskem, vaid ka sellepärast, et nad osutusid alaväärtuslikeks madalate temperatuuride juures, mis on eriti oluline auto- ja aviotööstuses. Viimasel ajal võistlevad sel alal nitrolakid ja atsetüülsellulooslakid. Viimastel on see paremus, et nad peaaegu ei põle, on aga esimestest kallimad ja vana- nevad kiiremini. Kaasaegne nitrolakkide tehnika annab samuti võimaluse saada süttimatut lakikihti vastavate lisandite kasutamisel.

## 75. Mähisetraadid.

Mähisetraadiks (samuti mähisevaseks või dünamotraadiks) nimetatakse isoleeritud juhet, mida kasutatakse elektrimasinate ja -aparatuuride mähiste valmistamiseks.

Selle traadi isolatsiooni põhiliikideks on:

- 1) email-isolatsioon (margid ПЭ ja ПЭЛ);
- 2) ühe- või kahekordne siid-isolatsioon (margid ПШО ja ПШД);
- 3) ühe-, kahe- või kolmekihiline puuvill-isolatsioon (margid ПБО, ПБД, ПБТ);
- 4) isolatsioon ainult kaablipaberiga (mark ПБ) või täiendava puuvill-isolatsiooniga, mis on keritud vahedega (mark ПББО);
- 5) puuvillase lõngaga mähitud ja selle peal puuvillane punutis (mark ПБОО);
- 6) soojuskindel deltasbest-isolatsioon (mark ПДА).

Peale selle kasutatakse laialdaselt kombineeritud email- ja naturaalsiidist isolatsiooni (margid ПЭШО ja ПЭЛШО), samuti email- ja kahekordset puuvill-isolatsiooni (margid ПЭБО, ПЭБД, ПЭЛБО ja ПЭЛБД).

Sageli kasutatakse mähisetraadina ka erilisi painduvaid juhtmeid (valtsitud litse), millel volukandev soon on kokkukeerutatud suurest arvust peenikestest traatidest ja on pärast läbi valtsitud. Seda juhet on kaks marki: ЛВОО — kahekordse puuvill-isolatsiooniga, alumine keritud, pealmine punutud, ЛВДО — kolmekordne puuvill-isolatsioon, kaks alumist kihti keritud ja pealmine punutud.

a) **Emailtraat.** Email-isolatsioon omab tähtsat kohta elektrimasinaehituses. Emailkihi paksus oleneb traadi läbimõõdust ja kõigub 0,005—0,03 mm, s. t. ta on siid-isolatsioonist õhem. Email on küllalt vastupidav õli ja bensiini mõjudele, kannatades ilma eriliste vigastusteta välja 24-tunnise leotamise 15—20<sup>0</sup>-lises transformaatorõlis.

Kahe kokkukeerutatud emailtraadi vaheline läbilöögitugevus kõigub olenevalt traadi läbimõõdust 300—3500 V. Ka kõige ettevaatlikumal emailimise protsessi teostamisel võivad emailisse jääda punktitaolised vigastused, mida on aga kerge avastada erilises aparatis.

Maksvate tehniliste tingimuste kohaselt ei tohi selliste vigastuste arv olla 0,1 mm jämedusega traadi juures mitte üle 20-ne traadi pikkusel 30 m ja mitte üle 15-ne sama pikkusega ja 0,11—0,35 mm läbimõõduga traadil.

Meie kaablitehaste poolt toodetavad emailtraadid on kahte marki: ПЭН — normaalne emailitud traat, mida kasutatakse elektrimasinasis ja nii tugevvoolu- kui ka nõrkvoolu-aparaatides, ja ПЭЛ — mis erineb

eelmisest suurema õli- ja bensiinikindlusega. Peale selle peab tal olema väiksem emaili vigastuste arv kui eelmisel.

Mõlemad traadid tavaliselt valmistatakse samade seadmetega ja jaotatakse markideks järgneva kontrollimise ajal.

Peale selle valmistatakse väikesel määral eri-emailtraati ПЭС, mis on määratud süüteseadmete jaoks. Teda valmistatakse väga peenikesena (läbimõõduga 0,05—0,08 mm).

Kahekihiline email saadakse kahekordse eri lakkidega emailimise teel. Kahekihilise emaili kiht on paksem kui harilikul ühekordsel emailil. Loomulikult tõuseb ka läbilöögitugevus suuresti ja on kahe 0,6 mm läbimõõduga kokkukeerutatud traadi vahel umbes 3—4 kV. Peale selle kõrvaldab kahekordne emailimine peaaegu täiesti paiklikud isolatsioonivigastused, mis võimaldab seda traati kasutada siid-isolatsiooniga ja emailsiid-isolatsiooniga traatide (ПШД, ПЭШО) asemel.

Lõpuks võib teiskordseks emailimiseks kasutatavale lakile värvainet juurde lisades saada värvilist emaili, mis on real juhtudel esmajärgulise tähtsusega.

b) **Kiudisolatsiooniga mähisetraat.** Kiudisolatsiooniga isoleerimine toimub selliselt, et juhe liigub kogu aja edasi ja tema ümber tiirlevad lõngapoolid või paberipoolid mähivad ühtlase kihina talle paber-, puuvill- või siid-isolatsiooni.

Tabelites 36 ja 37 on toodud andmed ümmarguste ja lapikute kiudisolatsiooniga juhtmete kohta.

Tabel 36.

Ümmarguse mähisetraadi sortiment.

Juhtme mark	Paljastraadi läbimõõt mm	Isolatsiooni-paksus mm	Isolatsiooni-paksuse tolerants mm
ПШО	0,05—0,69	0,05 —0,06	± 0,005
ПШД	0,05—0,69	0,10 —0,12	± 0,01
ПЭШО	0,05—1,49	0,06 —0,12	±0,01— ±0,015
ПЭЛШО	0,05—1,49	0,06 —0,12	±0,01— ±0,015
ПВО	0,1 —5,2	0,09 —0,16	±0,01— ±0,02
ПВД	0,2 —5,2	0,17 —0,30	±0,02— ±0,03
ПЕТ	1,0 —5,2	0,35 —0,45	±0,03
ПЭВО	0,1 —2,1	0,105—0,18	±0,015— ±0,02
ПЭЛВО	0,1 —2,1	0,105—0,18	±0,015— ±0,02
ПЭВД	0,1 —2,1	0,185—0,30	±0,02 — ±0,03
ПЭЛВД	0,1 —2,1	0,185—0,30	±0,04 — ±0,03
ПВОО	1,0 —5,2	0,5	±0,05
ПВВО	1,0 —5,2	0,45 —5,80	±0,05 — ±0,40
ПВ	1,0 —5,2	0,30 —5,80	±0,05 — ±0,40

Lapiku mähisevase sortiment.

Juhtme mark	Ristlõike väiksema külje mõõde mm	Isolatsiooni-paksus mm	Isolatsiooni-paksuse tolerants mm
ЛВО	0,9—5,5	0,125—0,210	$\pm 0,15$ — $\pm 0,02$
ЛВД	0,9—5,5	0,25 — 0,40	$\pm 0,02$ — $\pm 0,04$
ЛВТ	0,9—5,5	0,37 — 0,60	$\pm 0,04$ — $\pm 0,06$
ЛВОО	0,9—5,5	0,5	$\pm 0,05$
ЛВБО	0,9—5,5	0,45 — 5,80	$\pm 0,05$ — $\pm 0,40$

Painduvad mähisetraadid (mark ЛВОО ja ЛВДО) turustatakse ristlõigetega 3,6—80 mm<sup>2</sup> ja isolatsiooni-paksus on ЛВОО juures 0,65 mm ning ЛВДО juures 0,85 mm. Isolatsiooni-paksuse tolerants on mõlematele markidele  $\pm 0,05$  mm.

Siid-isolatsiooni peamiseks paremuseks on tema väiksem paksus, võrreldes puuvill- ja paber-isolatsiooniga. Siid-isolatsiooni normaalpaksus on 0,03 mm, kui aga kasutada eriti peeni naturaalsiidi sorte (nr. 9/11 või 11/13), siis saab isolatsiooni-paksust vähendada kuni 0,02 — 0,025 mm.

Teatud paremusena võib märkida ka siidi suuremat elektrilist takistust võrreldes puuvilla ja paberiga.

Puuvill-isolatsioon on siid-isolatsioonist odavam ja on üheks mähisetraadi põhi-isolatsiooniks. Puuvill-isolatsiooni paksus on ühekordse mähkimise juures 0,045—0,08 mm ja kahekordse isolatsiooni juures 0,085—0,15 mm.

Pesemisega ja erilise keemilise töötlemisega võib puuvill-isolatsiooni takistust tugevasti suurendada.

Paber-isolatsiooni kasutatakse peamiselt kõrgepinge-transformaatorite mähkimiseks mineval traadil. See on seletatav sellega, et immutatud paberil on väga kõrged elektrilised omadused.

Kuna kaablipaber on puuvillasest lõngast palju odavam, paber-isolatsiooni traadile kerivad masinad puuvill-isolatsiooni kerivaist masinaist palju produktiivsemad, siis pakub suurt huvi puuvill-isolatsiooni asendamise küsimus paberiga.

On käimas tööd naturaalsiidi asendamiseks kunstsiidiga. Atsetaatsiidil on väga head elektrilised omadused ja ta annab sama paksusega isolatsioonikihi nagu naturaalsiid, kuid on sellest odavam. Viskoosiidi kasutamine on äärmiselt piiratud, kuna ta annab ebapüsiva, mahakooruva isolatsiooni ja on suure hügroskoopsusega.

Isolatsioonikihi paksuse vähendamiseks dünamoetraadil, samuti tema hinna alandamiseks võib kasutada tsellofaanist isolatsiooniga mähisetraati.

# Sisukord.

Lk.  
3

Sissejuhatus . . . . .

## I peatükk. Magnetilised materjalid.

1. Üldmõisted . . . . .	5
2. Magnetiliselt pehmed materjalid . . . . .	9
a) Raud . . . . .	9
b) Elektrotehniline lehtteras . . . . .	10
c) Valatud teras . . . . .	14
d) Malm . . . . .	14
3. Magnetiliselt kõvad materjalid . . . . .	15
a) Süsinikteras . . . . .	16
b) Volframteras . . . . .	16
c) Kroomteras . . . . .	17
d) Koobalteras . . . . .	18
e) Nikkel-alumiiniumteras . . . . .	19
f) Mitmesugused sulamid . . . . .	20
4. Eriliste magnetiliste omadustega materjalid . . . . .	21
a) Permalloy . . . . .	21
b) Gaipernik . . . . .	21
c) Perminvar . . . . .	22
d) Ferrocarr . . . . .	22
e) Kalmalloy . . . . .	23
5. Mittemagnetilised sulamid . . . . .	23
a) Mittemagnetiline malm . . . . .	24
b) Mittemagnetiline teras . . . . .	24

## II peatükk. Juhtmaterjalid.

6. Vask . . . . .	25
a) Ümmargune vasktraat . . . . .	28
b) Profiiltraat . . . . .	28
c) Vasklint, vasklatt ja kollektorvask . . . . .	28
7. Alumiinium . . . . .	29
a) Alumiiniumtraat . . . . .	30
b) Alumiiniumlatid . . . . .	30
8. Pronks . . . . .	30
9. Aldrey . . . . .	31
10. Raud . . . . .	31
11. Bimetall . . . . .	32
12. Juhtmaterjalide korrosioon . . . . .	34

## III peatükk. Takistussulamid ja mitmesugused metallid.

13. Takistussulamite omadusi . . . . .	35
a) Nõuded soojenduselementide materjalidele . . . . .	35
b) Nõuded reostaatide materjalidele . . . . .	36
c) Nõuded takistus-etaloonide materjalidele . . . . .	36
d) Takistussulamite põhiomadusi . . . . .	37
14. Takistussulamite liigid . . . . .	37
a) Kroomnikkel . . . . .	37
b) Fekraal . . . . .	39
c) Kromaal . . . . .	40
d) Konstantaan . . . . .	40
e) Manganiin . . . . .	40

	Lk.
15. Mitmesugused metallid . . . . .	41
a) Volfram . . . . .	41
b) Molübdeen . . . . .	41
c) Plaatina . . . . .	41
d) Seatina . . . . .	42
e) Elavhõbe . . . . .	43
f) Vismut . . . . .	43

#### IV peatükk. Elektrotehniline süsi.

16. Elektrotehnilise söe toorained . . . . .	44
17. Elektrotehnilise söe valmistamise põhioperatsioonid . . . . .	45
18. Elektrimasinate harjad . . . . .	46
19. Söest elektroodid termiliseks otstarbeks . . . . .	50
20. Valgustussöed . . . . .	51
21. Galvaani elementide söed . . . . .	51
22. Mitmesugused tooted söest . . . . .	52
a) Elavhõbealaldajate anoodid . . . . .	52
b) Söest reguleeritavad takistused . . . . .	52
c) Mikrofonid pulber . . . . .	52
d) Mikrofonid membraanid . . . . .	53
e) Söest kontaktid . . . . .	53
f) Söeniitlampide niidid . . . . .	53
g) Söepuru . . . . .	53

#### V peatükk. Elektri-isolatsiooni materjalide üldisi omadusi.

23. Mahu-eritakistus . . . . .	54
24. Pinna-eritakistus . . . . .	57
25. Dielektriline läbitavus . . . . .	60
26. Dielektrilised kaod . . . . .	62
27. Läbilöögitugevus . . . . .	67
28. Elektri-isolatsiooni materjalide mitmesugused füüsikalised-keemilised omadused . . . . .	71
a) Mehaaniline tugevus . . . . .	71
b) Termiline püsivus . . . . .	71
c) Soojusjuhtivus . . . . .	73
d) Hügroskoopsus . . . . .	74

#### VI peatükk. Elektri-isolatsiooni materjalide proovimine.

29. Eritakistuste mõõtmine . . . . .	76
30. Dielektriliste kadude ja dielektrilise läbitavuse mõõtmine . . . . .	81
31. Läbilöögitugevuse proovimine . . . . .	84
32. Mitmesugused proovimised . . . . .	86
a) Mehaanilise tugevuse määramine . . . . .	86
b) Hügroskoopsuse määramine . . . . .	87
c) Soojuskindluse määramine . . . . .	88
d) Viskoossuse määramine . . . . .	92
e) Vananemise katse . . . . .	93

#### VII peatükk. Gaasilised elektri-isolatsiooni materjalid.

33. Õhk . . . . .	96
34. Mitmesugused gaasid . . . . .	98

## VIII peatükk. Vedelad elektri-isolatsiooni materjalid.

35. Transformaatorõli . . . . .	100
36. Oli hooldamine eksploatatsioonis . . . . .	104
a) Puhastamine . . . . .	104
b) Kuivatamine . . . . .	107
c) Regeneereimine . . . . .	108
37. Sovool . . . . .	109

## IX peatükk. Lakid ja kompaunid.

38. Kuivavad õlid . . . . .	110
39. Lahustid . . . . .	112
40. Vaigud . . . . .	113
a) Looduslikud vaigud . . . . .	113
b) Sünteetilised vaigud . . . . .	115
41. Bituumenid . . . . .	117
42. Immutuskompaunid ja valamismassid . . . . .	119
43. Plastifikaatorid . . . . .	120
44. Lakid . . . . .	120
45. Immutamine . . . . .	129

## X peatükk. Kiulised elektri-isolatsiooni materjalid.

46. Tekstiilmaterjalid . . . . .	131
a) Riie . . . . .	132
b) Lakkriie . . . . .	133
c) Lindid ja muud materjalid . . . . .	135
47. Paber . . . . .	136
48. Papp . . . . .	141
49. Fiiber . . . . .	143
50. Puit . . . . .	144

## XI peatükk. Mineraalsed elektri-isolatsiooni materjalid.

51. Asbest . . . . .	151
52. Vilgukivi . . . . .	157
53. Mikaniit . . . . .	161
54. Kvarts . . . . .	164
55. Marmor . . . . .	166
56. Mitmesugused kivimid . . . . .	170
a) Kildkivi . . . . .	170
b) Talk ja talgikivi . . . . .	170

## XII peatükk. Klaas ja sulatatud kivimid.

57. Klaas . . . . .	172
58. Sulatatud kvarts . . . . .	175
59. Sulatatud basalt . . . . .	176
60. Mikaleks . . . . .	177

## XIII peatükk. Keraamilised materjalid.

61. Portselani valmistamine ja omadused . . . . .	178
62. Portselan-isolaatorid . . . . .	186
63. Uued keraamilised materjalid . . . . .	189

## XIV peatükk. Plastmassid.

64. Plastmasside koosteosad	194
65. Pressitud esemete tootmise protsess	196
66. Pressvormid ja nende konstruktsioon	198
67. Pressitud isolatsioonidetailide konstrueerimine	201
a) Tolerantsid	201
b) Augud	202
c) Kiilu kuju	203
d) Servad ja nurgad	204
e) Karestamine	205
f) Metallesemete sissepressimine	205
68. Plastmasside omadused	206
69. Kautšuk ja kautšuki derivaadid	210
70. Kihilised plastmassid	213
a) Getinaks	213
b) Tekstoliit	216
c) Faneriit	216
d) Lehtplastmassid	217

## XV peatükk. Kaablid ja juhtmed.

71. Ohuliinide paljasjuhtmed	218
72. Immutatud paber-isolatsiooniga jõukaablid	221
a) Kaasaegsed kaablite konstruktsioonid	222
b) Kaabli konstrueerimise alused	225
c) Kaablite tootmine	226
73. Sidekaablid	228
74. Kummi-isolatsiooniga kaablid, juhtmed ja nõõrid	232
a) Kohakindla montaaži juhtmed	233
b) Juhtmed liikuvaile voolutarvitajale	234
c) Laevaseadmete juhtmed	237
d) Autode ja traktorite juhtmed	237
e) Kummi-isolatsiooniga juhtmete tootmine	238
75. Mähisetraadid	242
a) Emailtraat	242
b) Kiudisolatsiooniga mähisetraat	243

Vastutav toimetaja H. Norman.

Ladumisele antud 28. V 1947. Trükkimisele antud 23. VIII 1947. Trükiarv 3200.  
Paber 61 : 86,  $\frac{1}{16}$ . Trükipoognaid 15,5. Arvutuspoognaid 18,9. Trükitähti trüki-  
poognas 46 080. MB-05522

Trükikoda „Hans Heidemann“, Tartu, Vallikraavi 4. Tellimise nr. 970.

На эстонском языке.

Б. М. Тареев. Электрические материалы.

### Tähelepanud trükivigu.

	On trükitud:	Peab olema:
Lk. 35, 12. rida ülalt	$Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t$	$Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t$
" 42, 22. " "	asetamisel	asetsemisel
" 43, 3. " "	CI	CI
" 43, 6. " alt	vask — konstantaan.	vask-konstantaan.
" 69, joon. 38	15 mn	15 mm
" 73, 18. rida ülalt	rites/sekundites,	rites/sekundis,
" 99, 5. " alt	dikloorfluormetaan.	dikloorfluormetaan
" 154, 3. " ülalt	mehhaanilise	mehaanilise
" 178, 5. " "	mäjars	märjas
" 241, 1. rida ülalt	kustutada sõnad: põimuvad. Sellised	

Rbl. 20.—

599