

A-18534

# MASINA-ELEMENDID

E. SOONVALDI  
TOIMETUSEL



VI

H. KULDMA

MÄÄRIMINE \* LIUGELAAGRID

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS

V

2

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu  
19191

## SISUKORD.

### A. Määrimine.

	Lk.
1. Määrimise otstarve ja määrdeainete jaotus . . . . .	5
2. Määrdeõlid . . . . .	6
a. Määrdeõlide saamine ja omadused . . . . .	6
b. Töötanud õlide regenereerimine . . . . .	18
3. Konsistentsed määrdeained . . . . .	19
4. Määrimise moodused ja määrdeeadmed . . . . .	25
a. Määrimine õlidega . . . . .	25
b. Määrimine konsistentsete määrdeainetega . . . . .	33
5. Määrimissüsteemide kontrollseadistest . . . . .	35

### B. Liugelaagrid.

I. Hõõrdumine määritavas paaris tapp — laager . . . . .	38
1. Hõõrdumise olekud . . . . .	38
2. Vedelikuline hõõrdumine paaris tapp — laager. Määrimise hüdrodünaamiline teooria . . . . .	39
II. Liugelaagrid . . . . .	48
1. Liugelaagrite klassifikatsioon . . . . .	48
2. Liugelaagrites kasutatavad materjalid . . . . .	52
a. Metallisulamid . . . . .	53
b. Metallkeraamilised materjalid . . . . .	58
c. Plastmassid . . . . .	60
d. Kummi . . . . .	63
3. Liugelaagri detailide kujundamine . . . . .	64
a. Laagrikauss . . . . .	64
b. Laagri kere . . . . .	75
4. Liugelaagrite määrimine . . . . .	77
5. Laagri temperatuur . . . . .	83
6. Liugelaagrite konstruktsioone . . . . .	84
a. Radiaal-liugelaagrid . . . . .	84
b. Aksiaal-liugelaagrid . . . . .	94
Kirjandus . . . . .	99



## A. MÄÄRIMINE.

### 1. Määrimise otstarve ja määrdeainete jaotus.

Nagu teada, tekib kahe keha suhtelisel liikumisel (näit. tapi pöörlemisel laagris, hammasrataste hambumisel, kruvipaaris jne.) alati liikumistakistus, mida nimetatakse hõõrdejõuks ja mis on suunatud liikumisele vastupidiselt. Hõõrdejõudude ületamiseks kulutatakse seadmetes suhteliselt väga suurel hulgal energiat. Nende energiakadude vähendamiseks tuleb luua tingimused, kus hõõrdumine suhteliselt liikuvate detailide vahel oleks viidud miinimumini. Üks, ja seejuures väga efektiivne tee on määrdeainete kasutamine, nende juhtimine suhteliselt liikuvate detailide kokkupuutepindade vahele, millega saavutatakse suhteliselt liikuvate detailide määrimine. Hõõrdumisega on tihedalt seotud ka detailide kuluvuse küsimus. Hõõrdumise vähendamine toob endaga kaasa energiakadude vähenemise kõrval ka detailide kulumise vähenemise. Järelikult võimaldab määrimise kasutamine vähendada energiakulu ja suurendada detailide iga.

Määrdeaineid kasutatakse ka veel muudeks otstarveteks. Nii võib määrdeainetega eemaldada töötavatel detailidelt liigset soojust, määrdeained võivad täita mitmesuguste tihendavate elementide ülesannet, määrdeained on heaks korrosioonikaitse vahendiks jne.

Alljärgnevas on määrdeaineid vaadeldud peamiselt hõõrdumise ja kulumise vähendamise seisukohast, kuna määrdeainete ülejäänud kasutamisalad suures osas ei kuulu masina-elementide üldküsimumste kompleksis.

Oma päritolu järgi võib põhilisi määrdeaineid jaotada järgmiselt:

- 1) mineraalse päritoluga määrdeained,
- 2) loomse päritoluga määrdeained,
- 3) taimse päritoluga määrdeained.

Kõige enam kasutatakse mineraalseid määrdeaineid. Loomse ja taimse päritoluga määrdeaineid kasutatakse iseseisvate määrdeainetena harva, sagedamini kasutatakse neid just lisanditena mineraalsetele määrdeainetele.

Mineraalsetel määrdeainetel on head määrimisomadused ja nad on loomsete ja taimsete määrdeainetega võrreldes odavad. Viimased omavad rasketes tingimustes töötavate sõlmede määrimisel küll sageli mitmeid eelseid, eriti detailide märgamise ja oma koostise puhtuse suhtes, kuid nende kasutamist piirab siiski nende defitsiitsus ja kallidus. Mineraalsete määrdeainete omaduste parendamiseks leiavad aga loomsed ja taimsed määrdeained küllaltki laialdast kasutamist. Loomsete või taimsete määrdeainete

segusid mineraalsete määrdeainetega nimetatakse k o m p a u n d - m ä ä r - d e a i n e t e k s.

Oma välise iseloomu järgi võib jaotada määrdeained kahte suurde rühma: vedelad määrdeained ehk määrdeõlid ja konsistent-  
sed määrdeained.

## 2. Määrdeõlid.

### a. Määrdeõlide saamine ja omadused.

Tööstuses kasutatavad mineraalsed määrdeõlid saadakse peamiselt nafta destillatsioonil. Teatud hulgal valmistatakse määrdeõlilisid ka tahkekütuste — põlevkivi, kivisöe ja pruunsöe baasil, kasutades utmist.

Naftast saadav määrdeainete hulk ja nende omadused olenevad suurel määral nafta leiukohtadest. Meie masinaehituses kasutatavad mineraalsed määrdeõlid saadakse peamiselt Bakuu, Emba ja Lääne-Ukraina leiukoh-  
tadest, kuna aga näit. Groznõi nafta võimaldab toota suuremal hulgal bensini ja petrooleumi.

Nafta destillatsioonil eemaldatakse esmalt kergemad fraktsioonid — bensiin, ligroin, petrool, gaasõli, solaarõli, kuna saadav jääk — masuut — on määrdeainete algproduktiks. Masuudi järgneval vaakumdestillatsioonil (atmosfääri-rõhul toimuks keemistemperatuuril, s. o. 380° ja kõrgemal, süsivesinikkude krakkimine) eralduvad õli-fraktsioonid, mis edasise puhastamise käigus annavadki mineraalõlid. Destillatsiooni jääk on nn. gudroon, mida kasutatakse ebatäpsete ja aeglaste mehhanismide määrimiseks, lähteainena teedeehituse asfaldile jne.

Mida raskemad on õlide töötamistingimused, s. t. mida suurem on koormus hõrduvatel pindadel, mida kõrgem on temperatuur ja mida keerukam on õlitusmehhanism, seda kõrgemad on ka õlide omaduste suhtes esitata-  
vad nõuded. Seetõttu on tarvilik masuudist saadud fraktsioonide edasine töötlemine ja puhastamine — rafineerimine. Nimetatud fraktsioonid peavad olema puhtad küllastamata süsivesinikkudest, asfalteenidest ja vaiku-  
dest, kuna nende sisaldus kutsüb esile määrdeainete hapendumist ja vaigustumist.

Õlide puhastamise üheks peamiseks meetodiks on nende töötlemine kõrge kontsentratsiooniga väävelhappega, mida esmakordselt rakendas V. V. M a r k o v n i k o v. Väävelhape, mõjudes küllastamata süsivesinikkudele, vaikudele, osaliselt ka aromaatsetele süsivesinikkudele, moodustab nn. happegudrooni, mis on õlist eemaldatav. Happegudroonist vabastatud õli, milles leidub teatud hulgal vaba väävelhapet, rafineeritakse leelise-  
ga. Kirjeldatud menetlusel saadud õlised nimetatakse h a p p e - l e e l i s - r a f i n a t s i o o n i g a õ l i d e k s.

Happerafinatsioonil õlisse jäänud väävelhapet ja teisi ebasoovitavaid ühendeid võib õlist eraldada nn. aktiivmuldadega, milleks on kas looduslikud või sünteetilised mineraalained, suures enamikus alumiinium- ja magneesiumsilikaadid. Aktiivmullad, olles kontaktis naftaga, adsorbeerivad õlis leiduvad ebasoovitavad ühendid. Aktiivmuld eemaldatakse

seejärel õlist filterpressides. Saadud õlisid nimetatakse happe-kon-  
taktrafinatsiooniga õlideks.

Õlide rafineerimine leeliseiga on lihtne, kuid vähe-efektiivne. Selliste  
leelisrafinatsiooniga õlide kasutamine piirdub peamiselt väi-  
kese vastutusrikkusega mehhanismide määrimisega.

Õlidele tagatakse eriti hea kvaliteet nn. selektiivse ekstraktsiooni teel,  
kus puhastamine toimub selekteerivate lahustite (furfurool, nitrobensool,  
fenool, kloreks jt.) abil. Sel menetlusel saadud õlisid nimetatakse selek-  
tiivse rafinatsiooniga õlideks. Selektiivse ekstraktsiooni  
meetodi võttis esimesena kasutusele kuulus vene keemik Butlerov.

Paljude õlide omaduste parendamiseks segatakse neile mitmesuguseid  
lisandeid.

Orienteerumiseks õlide küllaltki suures sortimendis on vajalik tunda  
nende füüsikalise-keemilisi omadusi. Õlide peamised füüsikalise-keemilised  
näitajad on: erikaal, viskoossus, leektäpp, hangumistäpp, happearv, sta-  
biilsus, koksiarv, värvus, mehaaniliste lisandite ja vee sisaldus jms.

Õlide erikaal määratakse nende mahuühiku kaalu ja vee mahu-  
ühiku kaalu suhtega, kusjuures õli mahuühiku kaal on tavaliselt määratud  
temperatuuril 20° C (harvemini 15° C), vee mahuühiku kaal aga tempera-  
tuuril 4° C. Erikaalu tähistatakse tähisega  $d_4^{20}$  (või vst.  $d_4^{15}$ ). Erikaal  
ei määra otseselt määrdeaine määrimisomadusi ja seepärast ei ole üldi-  
selt riiklikkudes normides ette nähtud tingimusi õlide erikaalu kohta.  
Naftaproduktide puhul iseloomustab ta teatud määral määrdeaine saami-  
seks kasutatud naftat. Mineraalõlide erikaal asub üldiselt vahemikus  
0,85—0,95, taimsetel määrdeõlidel 0,86—0,97.

Nafta ja naftasaaduste erikaalu temperatuuril  $t^\circ$  C võib arvutada tema  
erikaalu kaudu 15° C juures Mendelejevi valemiga:

$$d_4^t = \frac{d_4^{15}}{1 + \beta(t - 15)}, \quad (1)$$

kus  $\beta$  on ruumpaisumise tegur, mis oleneb erikaalust 15° C juures.  $\beta$  vää-  
rused, olenevalt erikaalust  $d_4^{15}$ , on toodud tabelis 1.

Tabel 1.

Ruumpaisumise teguri väärtused, olenevalt erikaalust  $d_4^{15}$ .

$d_4^{15}$ kg/m <sup>3</sup>	$\beta \cdot 10^4$	$d_4^{15}$ kg/m <sup>3</sup>	$\beta \cdot 10^4$	$d_4^{15}$ kg/m <sup>3</sup>	$\beta \cdot 10^4$
710	8,97	800	7,59	860	6,94
720	8,83	820	7,39	870	6,78
740	8,51	830	7,27	880	6,62
760	8,20	840	7,12	890	6,51
780	7,90	850	7,05	900	6,32

Viskoossus ehk sitkus on õlide omaduste üks tähtsamaid näitajaid ja on üheks peamiseks suuruseks õlide valikul. Ta iseloomustab õlide omadust eraldada hõõrduva paari (näiteks tapp—laagrikauss) hõõrdepindu ja määrab õlide vastupanu välisjõududele. Viskoossuseks nimetatakse vedeliku molekulide vahelist hõõrdumistakistust (sisehõõrdumise takistust), mis avaldub vastupanu välisjõududele. Mida väiksem on õli sisehõõrdumise takistus (ehk lühidalt — sisehõõrdumine), seda kergemini on ta hõõrduvate pindade vahelt välja surutav.

Vedeliku dünaamiliseks viskoossuseks  $\mu$  nimetatakse jõudu, mis on vajalik kahe ühikusuuruse pindalaga, teineteisest ühiku kaugusel asetseva vedelikukihi nihutamiseks teineteise suhtes kiirusega üks ühik.

CGS-süsteemis, kus pindala on 1 cm<sup>2</sup>, kaugus 1 cm, kiirus 1 cm/sek, on dünaamilise viskoossuse ühikuks pu a a s [g/cm sek] (*poise*). Tehniliste ühikute süsteemis on dünaamilise viskoossuse dimensiooniks [kg sek/m<sup>2</sup>].

Absoluutsete ja tehniliste ühikute vahel saame seose:

$$1 \text{ pu a a s} = 0,010 197 \text{ kg sek/m}^2.$$

Vedeliku kinemaatiliseks viskoossuseks  $\nu$  nimetatakse dünaamilise viskoossuse jagatist vedeliku tihedusega. Kinemaatilise viskoossuse dimensiooniks on seega [cm<sup>2</sup>/sek] ja tema ühikut nimetatakse stoksiks. Sajandik stoksi kannab sentistoksi nime. Tehniliste ühikute süsteemis on kinemaatilise viskoossuse dimensiooniks [m<sup>2</sup>/sek].

Kuna viskoossus on võrdeline vedelikkude läbivooluaegadega düüsidest, siis võib viskoossuse iseloomustamiseks kasutada just aega, mis kulub vedeliku teatud hulga düüsisist läbivoolamiseks.

Viskoossuse määramiseks nimetatud põhimõttel kasutatakse viskosimeetreid. Meil kasutatav ja tuntuim on Engleri viskosimeeter, millega viskoossuse määramise tulemusena saadakse viskoossus Engleri kraadides (° E). Vedeliku viskoossuseks Engleri kraadides nimetatakse suhet väljavooluaegadest, mis on vajalikud 200 cm<sup>3</sup> uuritava vedeliku ja sama hulga destilleeritud vee väljavoolamiseks läbi viskosimeetri kindla läbimõõduga ( $d = 2,8$  mm) düüsi.

Õlide viskoossus määratakse temperatuuril 50° C või paksemate õlide puhul ka 100° C juures, kusjuures vee väljavooluaeg on määratud temperatuuril 20° C. Vastavalt sellele tähistatakse viskoossust kas ° E<sub>50</sub> või vastavalt ° E<sub>100</sub>. (Destilleeritud vee väljavoolamiseks kulub aega Engleri viskosimeetris 50—52 sekundit.)

Kuna viskoossus on siin väljendatud tingühikutes, siis nimetatakse teda sageli ka tingviskoossuseks.

Kinemaatilise viskoossuse ja Engleri kraadide vahelise seose saame valemist

$$10^6 \nu = E \cdot 7,60^{1 - \frac{1}{E^9}} \text{ m}^2/\text{sek}. \quad (2)$$

Valemi (2) põhjal teostatud ümberarvutuste alusel on koostatud tabel 2.

Tabel 2.

Engleri kraadid ja kinemaatiline viskoossus m<sup>2</sup>/sek.

°E	10 <sup>6</sup> ν m <sup>2</sup> /sek	°E	10 <sup>6</sup> ν m <sup>2</sup> /sek	°E	10 <sup>6</sup> ν m <sup>2</sup> /sek	°E	10 <sup>6</sup> ν m <sup>2</sup> /sek
1,0	1,00	2,0	11,80	3,0	21,10	5,0	37,30
1,1	1,80	2,1	12,80	3,2	22,80	5,5	41,20
1,2	2,80	2,2	13,80	3,4	24,50	6,0	45,10
1,3	3,90	2,3	14,80	3,6	26,10	6,5	49,00
1,4	5,0	2,4	15,70	3,8	27,70	7,0	52,90
1,5	6,25	2,5	16,50	4,0	29,30	7,5	56,80
1,6	7,45	2,6	17,50	4,2	30,90	8,0	60,60
1,7	8,50	2,7	18,40	4,4	32,50	8,5	64,50
1,8	9,60	2,8	19,30	4,6	34,10	9,0	68,40
1,9	10,70	2,9	20,20	4,8	35,70	10,0	76,00

Hõõrduva paari pideva määrimise kindlustamise seisukohalt on oluline teada, kuidas muutub määrideõli viskoossus temperatuuri muutumisel. Üldiselt viskoossus temperatuuri tõusul väheneb. Paremaks tuleb kasutamiskindluse seisukohalt lugeda muidugi seda õli, mille viskoossus temperatuuri muutumisel vähem muutub. NSV Liidu normides iseloomustatakse viskoossuse muutumist sõltuvalt temperatuurist suhtega viskoossusest 50° C juures viskoossusesse 100° C juures (sentistoksidid).

Õlide viskoossus muutub ka sõltuvalt rõhust. Eriti on muutumine tuntav kõrgetel rõhkudel (üle 100 at). Mineraalõlidel on viskoossuse muutumine rõhu muutumisel palju suurem kui taimsetel ja loomsetel õlidel. Nii näiteks suureneb mineraalõlide viskoossus rõhu suurenedes 1 kuni 1000 at ligikaudu 10 kuni 20 korda, samadel tingimustel suureneb aga taimsete ja loomsete õlide viskoossus vaid umbes 4 korda.

Leektäpiks nimetatakse seda temperatuuri, mille juures kindlaks määratud tingimustes kuumutatud õli aurud moodustavad ümbritseva õhuga segu, mis on lahtise leegiga põlema süüdatav. Toodud definitsioonist järeldub, et leektäpp iseloomustab õlide auravust ja ka tuleohtlikkust, kuid ei saa iseloomustada õlide määrimisomadusi.

Hangumistäpiks nimetatakse temperatuuri, mille juures õli kaotab oma vedeluse („liikuvuse”). Õli hangumistäpi teadmine võimaldab ligikaudselt määrata temperatuuri, mille juures õli kasutamine määrimiseks ei ole enam võimalik. Suurema osa masinaehituses kasutatavate määrideõlide hangumistäpp asub vahemikus +5 kuni -25° C.

Happearv iseloomustab orgaaniliste hapete olemasolu õlis. Happed määrideõlis soodustavad korrosiooni ja tekitavad metalli ning veega kokkupuutumisel nn. metallilisi seepe, mis omakorda põhjustavad õli hapendumise protsessi kiirenemist. Õli jahtumisel oksüüdid sadestuvad ja võivad põhjustada õlijuhtmete ummistumist ja seadmete mustumist. Happearvuks nimetatakse 1 grammi õli neutraliseerimiseks kulutatava kaaliumhüdrosüüdi (KOH) hulka milligrammides. Happearvu kaudu on võimalik hinnata õli kasutatavuse aega ja selgitada õli vahetamise vajadust.

Stabiilsus iseloomustab õli võimet vastu panna hapendumisele kõrgetel temperatuuridel (töötemperatuuridel) õhu hapniku toimel. Hapnelised ühendid põhjustavad masinaosade korrosiooni, tekkinud vaigused produktid võivad aga tekitada ummistumisi ja seadmete mustumist, samuti muutub ka õli viskoossus. Stabiilsust määratakse tekkivate sademete hulga kunstlikul kiirendatud hapendamisel.

Värvus võimaldab hinnata õlide puhastamise astet, järelikult ka nende kvaliteeti. Heledama värvusega õlid on tavaliselt enam puhastatud. Õlide värvus määratakse selle võrdlemise teel värvuste etalonskaalaga.

Koksiarv iseloomustab koksi tekkimise võimalust õli lagunemisel kõrgel temperatuuril ja on seetõttu eriti oluline näiteks sise põlemismootorite määrdeõlide puhul. Koksiarvuks nimetatakse seda koksihulka protsentides, mis tekib õli kuumutamisel kindlates tingimustes (nn. Konradsoni aparaadis). Paremini puhastatud õlidel on koksiarv väiksem.

Mehaanilisteks lisanditeks loetakse määrdeõlides kõiki neid tahkeid aineid, mis leiduvad õlis kas sademena või ka tasakaaluolukorras ja mis on eraldatavad filtritega. Mehaanilised lisandid määrdeõlides ei ole lubatavad, kuna nad, sattudes määritavaate hõõrduvate pindade vahele, põhjustavad seal kiiret kulumist. Mehaaniliste lisandite sisaldus õlis määratakse protsentides, lähtudes sademega täidetud ja puhta filtri kaaludest. Mehaaniliste lisandite hulk kuni 0,005% ei ole tavaliselt määrdeõli praakimise põhjuseks.

Vee sisaldus määrdeõlides ei ole üldiselt lubatav, kuna ta põhjustab õlide emulgeerumist, metalloosade korrosiooni ja halvendab õlide kapillaaromadusi. Tehased toodavad tavaliselt küll vett mittesisaldavaid õlisid, kuid transpordil ja ka hooletul säilitamisel võib vesi sageli sattuda õlisse. Samuti võib vesi õlile lisanduda ka viimase tööolukorras. Õlide puhastamine veest toimub, lastes neil settida temperatuuril 50—60° C (suurema viskoossusega õlidel temperatuuril 70—80° C).

Õlide kvaliteedi ligikaudset kindlaksmääramist võib mitmete näitajate osas toimetada ka tavalistes tsehhitingimustes. Nii on võimalik saada hõlpsalt andmeid õlide viskoossuse, mehaaniliste lisandite ja veesisalduse kohta.

Viskoossuse määramisel võrreldakse uuritavat õli juba tuntud viskoossusega õlidega. Selleks kummutatakse samaaegselt katseklaasid tuntud ja uuritava viskoossusega õlidega ja jälgitakse õlide liikumise kiirust. Paremini on vahe viskoossuses märgatav õhumullide kiiruse jälgimisel. Õli, milles õhumullid liiguvad kiiremini, on väiksema viskoossusega.

Mehaaniliste lisandite avastamiseks õlis tilgutatakse uuritavat õli puhtale filterpaberile ja kuumutatakse. Vedeldunud õli imbub paberisse. Puhta õli puhul jääb paberile ühtlaselt hele rasvane jälg. Mustusosakesed jätavad paberile aga tumedamad plekid. Ka settimisel on võimalik avastada mehaaniliste lisandite olemasolu.

Kuumutades katseklaasis vett sisaldavat õli, tekib katseklaasis iseloomulik pragin. Õli muutub sogaseks ja katseklaasi seintele sadestub vesi. Ka eraldub vesi õlist pikemaajasel seismisel, mispuhul on võimalik hinnata vee hulka.

Naftast saadavate õlide sortiment on põhiliselt määratud normiga GOCT 2587-47. Vastavalt kasutamisalale on õlid selle normi järgi jaotatud järgmistesse gruppidesse: 1) tööstuslikud õlid, 2) auto-, traktori- ja diisliõlid, 3) lennukiõlid, 4) aurumasinaõlid, 5) teljeõlid, 6) turbiini- ja kompressoriõlid ja 7) eriotstarbelised õlid.

Tabel 3.

Tööstuslikud õlid.

Oli mark	Märkusi saamisviisi kohta	Viskoossus E <sub>50</sub>	Leektäpp <sup>1</sup> °C	Hangumis- täpp °C	Happearv mg KOH	Kasutamine
Velosiit GOCT 1840-42	Väävelhappe- rafinatsioon	1,3 kuni 1,4	120 (M.- -P.)	-25	0,04	Väikese koormuse ja suure kiirusega (15 000—20 000 p/min) töötavates täppismehhanismides (kontroll-mööteaparaadid), värtnatele, lihvipinkide spindlitele jms.
Vaseliinõli GOCT 1665-42	Sama	1,4 kuni 1,7	125 (M.- -P.)	-20	0,04	Väikese koormuse ja suure kiirusega töötavates mehhanismides.
Vaseliinõli МВП GOCT 1805-42	Sama	1,5 kuni 1,7	120 (M.- -P.)	-60	0,014	Madalatel temperatuuridel töötavates kontroll-mööteaparaatides.
Õmblusmasinaõli GOCT 973-50	Sama	1,48 kuni 1,86	135 (M.- -P.)	—	0,1	Õmblus-, kudumis- ja trikotaažimasinates.
Separaatoriõli Л GOCT 176-50	Väävelhappe- rafinatsioon, kompaundeeri- tud rapsi- või sinepiõliga	1,48 kuni 1,86	135 (B.)	+5	0,35	Kergete separaatorite laagrites.
Separaatoriõli Т GOCT 176-50	Sama	2,26 kuni 2,6	165 (B.)	+5	0,35	Rasketes separaatorite laagrites, samuti väikese koormuse ja suure kiirusega töötavates mehhanismides.
Värtnaõli 2 GOCT 1837-42	Väävelhappe- rafinatsioon	2 kuni 2,2	165 (B.)	-30	0,14	Väikese koormuse ja kiirusega kuni 10 000 p/min töötavates mehhanismides, lihvipinkide spindlitele, elektrimootorite rõngasmäärde-laagrites; hea talveõli.

<sup>1</sup> (M.-P.) leektäpi järel tähistab seda, et leektäpp on määratud Martensi-Penski aparaadiga, (B.) — Brenkeni aparaadiga.

Tabel 3 (järg).

Õli mark	Märkusi saamisviisi kohta	Viskoossus $E_{50}$	Leektäpp <sup>1</sup> °C	Hangumis- täpp °C	Happearv mg KOH	Kasutamine
Värtnaõli 3 ГОСТ 1837-42	Sama	2,8 kuni 3,2	170 (B.)	-20	0,14	Tööpinkidele ja elektrimootoritele pöörete arvuga kuni 1500 p/min, sealjuures tapi kiirusega üle 3 m/sek.
Värtnaõli 3B ГОСТ 2855-45	Leelisrafinatsioon	2,8 kuni 3,2	170 (B.)	-15	0,14	Seadmetes, kus on kindlustatud õli pidev läbivoolamine süsteemis ja mis töötavad sealjuures samades tingimustes nagu eelmise rühma seadmed.
Masinaõli Л ГОСТ 1707-42	Väävelhapperafinatsioon	4 kuni 4,5	180 (B.)	-15	0,2	Enamikus metallitöötlemispinkides, suure võimsusega elektrimootorites, reduktorites jms.
Masinaõli C ГОСТ 1707-42	Sama	5,5 kuni 7	190	-10	0,35	Väikese kiirusega ja rasketes pinkides.
Masinaõli CV ГОСТ 1707-42	Sama	6 kuni 7,5	200 (B.)	-20	0,15	Väikese kiiruse ja suure koormusega masinates, kompressoreis rõhuga kuni 8 at.
Masinaõli CB ГОСТ 2854-45	Leelisrafinatsioon	5,5 kuni 7	180 (B.)	-8	0,35	Väikese kiirusega rasketes pinkides, kui on kindlustatud õli pidev läbivoolamine süsteemis.
Silindriõli 2 ГОСТ 1841-42	Väävelhapperafinatsioon	$E_{100} =$ 1,8 kuni 2,2	215 (B.)	+5	0,3	Väikese kiiruse ja suure koormusega töötavates mehhanismides, raskete tsentrifuugide laagrites, raskete metallitöötlemispinkide tiguajamites, küllastatud auruga kuni 5 at rõhul töötavate aurumasina silindritele.
Braitstok ТУ МНП 233- 47	Jääköli, väävelhapperafinatsioon	$E_{100}$ vähe- malt 3,7	275 (B.)	-10	-	Valtsimisseadmetele.

<sup>1</sup> (M.-P.) leektäpi järel tähistab seda, et leektäpp on määratud Martensi-Penski aparaadiga, (B.) — Brenkeni aparaadiga.

Tööstuslikud õlid leiavad laialdast kasutamist väga erinevates mehhanismides. Olulisemaks suuruseks õli valikul on siin õli viskoossus, mis peab tagama määritava sõlme küllaldast määrimist. Tähtsamad näitajad tööstuslike õlide kohta on toodud tabelis 3.

Auto-, traktori- ja diisliõlide kasutamisalad on põhiliselt määratud nende nimetustega. Selle grupi tähtsamate sortide kohta leiduvad andmed tabelis 4.

Tabel 4.

Auto-, traktori- ja diisliõlid.

Õli mark	Märkusi saamisviisi kohta	Viskoossus		Leektäpp °C Brenkeni aparaadiga	Hangumis- täpp °C	Koksiarv %	Happearv mg KOH	Kasutamine
		E <sub>50</sub>	E <sub>100</sub>					
Avtool 4 ГОСТ 1862-42	Väävelhappe- rafinatsioon	3 kuni 4	—	180	—30	0,2	0,15	Automootorites talvel, elektrimootorite ja dünamote laagrites, kui pöörde arv on kuni 1000 p/min.
Talveavtool selektiivse rafinatsiooniga, lisanditega ТҮ HKТII 175-45	Selektiivne rafinatsioon, lisanditega	Kuni 6	Vähemalt 1,6	185	—20	0,15	0,23	Forsseeritud automootorites talvel, sügisel ja kevadel.
Avtool 6 ГОСТ 1862-42	Väävelhappe- rafinatsioon	—	Vähemalt 1,4	185	—30	0,3	0,15	Automootorites talvel, sügisel ja kevadel.
Suveavtool selektiivse rafinatsiooniga, lisanditega ТҮ HKТII 175-45	Selektiivne rafinatsioon, lisanditega	Kuni 9,5	Vähemalt 1,8	210	—5	0,3	0,45	Forsseeritud automootorites suvel.
Avtool 10 CO CT 2-5856-40	Selektiivne rafinatsioon	—	Vähemalt 1,8	210	—5	0,3	0,4	Automootorites suvel, traktorimootorites talvel, sügisel ja kevadel.
Avtool 10 ГОСТ 1862-42	Väävelhappe- rafinatsioon	—	Vähemalt 1,8	200	—25	0,5	0,28	Sama
Avtool 18 ГОСТ 1862-42	Sama	—	Vähemalt 2,3	215	0	0,7	0,42	Traktorimootorites suvel.

Tabel 4 (järg).

Õli mark	Märkusi saamisviisi kohta	Viskoossus		Leektäpp °C Brenkeni aparaadiga	Hangumis- täpp °C	Kokstiarv %	Happearv mg KOH	Kasutamine
		E <sub>50</sub>	E <sub>100</sub>					
Diisliõli ГОСТ 1600-46	Kompaundeeritud õli või nafta destillatsiooni saadus väävelhapperafinatsioonil kõrgekvaliteetsetest naftadest	Kuni 10,4	Vähemalt 1,9	210	-10	0,4	0,15	Kiirkäigu-diiselmootorites.
Mootoriõli M ГОСТ 1519-42	Väävelhapperafinatsioon	6 kuni 6,5	—	195	-8	0,3	—	Väikese võimsusega nafta- ja gaasimootorites.
Mootoriõli T ГОСТ 1519-42	Sama	8,2 kuni 9	—	205	0	0,4	—	Suure võimsusega nafta- ja gaasimootorites.
Talvenigrool ГОСТ 542-50	Nafta destillatsioonil saadud puhastamata saadus	—	2,7 kuni 3,2	170	-20	—	—	Autode ja traktorite käigukastides ja transmissioonides talvel, sügisel ja kevadel.
Suvenigrool ГОСТ 542-50	Sama	—	4 kuni 4,5	180	-5	—	—	Sama, suvel.

Lennukiõlid töötavad eelmistest tuntavalt raskemates tingimustes (suured kiirused, suured koormused, kõrge temperatuurid, suur temperatuuri kõikumise võimalus), seetõttu on lennukiõlile esitatud ka kõrgeandatud nõudmised. Õlimargi lõplik valik toimub pärast põhjalikke katseid. Lennukiõlisid kasutatakse ka tankimootorites. Lennukiõlide sortiment on toodud tabelis 5.

Aurumasinaõlisid ehk silindriõlisid kasutatakse kolbaurumasinate, lokomobiilides, vedurites aurujaotusmehhanismide, silindrite, siibrite jms. määrimiseks. Eriti rasked tingimused esinevad silindrite määrimisel, kuna õli peab töötama seal kõrge temperatuuril (250° kuni 450° C) ja rõhul (5 kuni 15 at). Aurumasinate külmade osade määrimiseks tuleb valida õlid tööstuslikkude õlide hulgast. Aurumasinaõlide markideks on viskosiin, silindriõli 6, vapor, vapor C ja laevaõli. Nende viskoossus E<sub>100</sub> asub vahemikus 3 kuni 7,5.

Teljeõlid on määratud vedurite, vagunite, vagonettide, sildkraanade jms. rattapaaride tappide määrimiseks laagrites. Teljeõlide sortimendi kohta on andmed tabelis 6.

Turbiini- ja kompressoriõlid töötavad jällegi suhteliselt rasketes tingimustes. Turbiiniõlisid kasutatakse väga paljude turbiinisõlmede juures, kuna kompressoriõlid leiavad kasutamist peamiselt kolb-

Tabel 5.

## Lennukiõlid.

Õli mark	Märkusi saamisviisi kohta	Viskoossus $E_{100}$	Leektäpp $0^{\circ}\text{C}$ . Martens-Penski aparadiga	Hangumistäpp $0^{\circ}\text{C}$	Koksiarv %	Happearv mg KOH	Kasutamine
Lennukiõli МЗ ТУ НП 118-47	Jääkõli, happekontaktrafinatsioon	2,25	200	-30	0,7	0,6	Lennuki- ja tankimootorites talvel, sügisel ja kevadel
Lennukiõli MC-14 ГОСТ 1013-49	Jääkõli, selektiivne rafinatsioon	2,2	200	-30	0,45	0,25	Sama
Lennukiõli MC-20 ГОСТ 1013-49	Kõrge kvaliteediliste naftade jääkõli, selektiivne rafinatsioon	2,9	225	-18	0,3	0,05	Lennukimootorites
Lennukiõli MC-24 ГОСТ 1013-49	Sama	3,4	240	-17	0,3	0,05	Sama
Lennukiõli MK-22 ГОСТ 1013-49	Sama, happekontaktrafinatsioon	3,1	200	-30	0,7	0,1	Lennuki- ja tankimootorites, eriti talvel, sügisel ja kevadel.

Tabel 6.

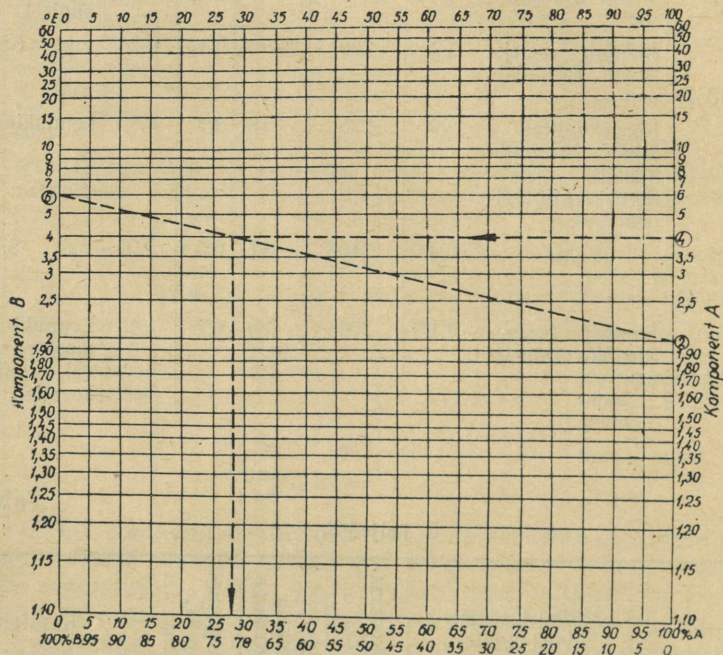
## Teljeõlid.

Oli mark	Märkusi saamisviisi kohta	Viskoossus $E_{50}$	Leektäpp $0^{\circ}\text{C}$ Brenkeni aparadiga	Hangumistäpp $0^{\circ}\text{C}$	Kasutamine
Teljeõli C ГОСТ 610-48	Kompaundeeritud puhastamata õli	2 kuni 2,2	125	-55	Rattapaaride tappide määrimiseks talvel eriti külmades rajoonides
Teljeõli З ГОСТ 610-48	Sama	3 kuni 3,5	130	-40	Sama, talvel
Teljeõli Л ГОСТ 610-48	Sama	5 kuni 7	135	-15	Sama, suvel
Poolgudroon ГОСТ 4105-48	Nafta destillatsiooni puhastamata jääksaadus	18 kuni 25	140	-	Vagonettide teljed lahtistes laagrites, lihtsates mittetäpsetes mehhanismides (kärude teljed jne.)

kompressorite silindrite määrimisel. Ülejäänud osade jaoks õli valikul tuleb lähtuda tööstusliikude õlide sortimendist.

Turbiini- ja kompressoriõlide hulka kuuluvad: turbiiniõlid  $\text{Л}$ ,  $\text{УТ}$ ,  $\text{T}$ , turboreduktoriõli ja kompressoriõlid  $\text{M}$  ja  $\text{T}$ . Turbiiniõlide viskoossus  $E_{50}$  suureneb nimetatud markide järjekorras 2,9-st kuni 8-ni, kompressoriõli-  
del muutub  $E_{100}$  1,7-st kuni 3-ni.

Eriotstarbeliste õlide hulka kuulub viis õli: transformaatoriõli, värtnaõli  $\text{AV}$ , õli leivavormide jaoks, meditsiiniline vaseliinõli ja parfümeerõli. Nimetatud õlid ei ole määrideõlid.



Joon. 1.

Viimasel ajal on õlide sortiment veelgi laienenud. Toodetakse mitmeid õlisid, mille kasutamisaala on määratud võrdlemisi kitsapiirilisena, näit. õli, kasutamiseks autode käigukastides jne.

Määrideõlide kasutamisel võib mõne margi puudumisel tekkida mõnikord vajadus asendada puuduv mark mingi asendava margiga. Üldiselt ei ole muidugi asendajate kasutamine soovitatav — tuleb alati mees pidada, et seadme tootja poolt määratud põhimark täidab oma ülesandeid kindlasti paremini kui asendaja. Kui aga asendaja kasutamine on vältimatu, võib orienteeruda alltoodud juhiste kohaselt.

Värtnaõli 2 on asendatav värtnaõli 3 ja vaseliinõli seguga. Avtool 4 on asendatav ajutiselt kas masinaõliga  $\text{Л}$  või turbiiniõliga  $\text{УТ}$ ; avtool 6 — masinaõlidega  $\text{CV}$  või  $\text{C}$  ja mootoriõliga  $\text{M}$ ; avtool 10 — silindriõliga 2

või kompressoriõliga M; avtool 18 — silindriõliga 2 või avtooliga 10. Nigrooli võib asendada viskosiiniga või ka mõne muu sama viskoossusega õliga.

Vajalikkude omadustega õli saamiseks võib kasutada mitme tuntud omadustega õli segamist. Tavalistel temperatuuridel (s. t. mittekõrgetel temperatuuridel) töötavate õlide sobivuse peamiseks iseloomustajaks on ikkagi viskoossus, järelikult võib asendajaks olla niisugune õli või õlide segu, mille viskoossus on võrdne asendatava õli viskoossusega. Sealjuures peavad muidugi ka teised õli iseloomustavad omadused olema normikohastes piirides. On soovitatav, et asendava õli viskoossus ei oleks asendatava õli viskoossusest mitte üle 2° E kõrgem, kuna muidu takistus hõõrdesõlmes liigselt suureneb. Madalama viskoossusega õli ei ole kasutatav, kuna ta võib põhjustada hõõrduvate detailide kiirendatud kulumist.

Segatavate õlide hulga valikut vajaliku viskoossusega õli saamiseks võib toimetada viskogrammide abil. Joonisel 1 on toodud viskogramm enamkasutatava piirkonna jaoks. Toodud viskogramm võimaldab leida soovitava viskoossusega õli saamiseks kahe õli A ja B protsentuaalse kaalulise vahekorra segus või ka A ja B antud hulgaliste vahekordade kasutamise puhul saadava viskoossuse. Joonisel on näidatud kriipsjoonega õlide segu saamine, mille viskoossuseks on 4° E<sub>50</sub>. Lähteõlidena on kasutatud värtnaõli 2 (E<sub>50</sub> = 2,0) ja masinaõli CV (E<sub>50</sub> = 6,0). Valida tuleb esimest 28%, teist 72%. Sageliesinevate juhtude jaoks on toodud vahekorrad tabelis 7.

Tabel 7.

Õlide valik soovitava viskoossusega segu saamiseks.

Segu soovitav viskoossus	Segatavad õlid ja nende kaalulised hulgad
3° E <sub>50</sub>	35% värtnaõli 2 + 65% masinaõli JI 55% värtnaõli 2 + 45% masinaõli C
4° E <sub>50</sub>	30% värtnaõli 2 + 70% masinaõli C 50% värtnaõli 3 + 50% masinaõli C 65% värtnaõli 3 + 35% avtooli 10
6° E <sub>50</sub>	15% värtnaõli 2 + 85% avtooli 10 40% masinaõli JI + 60% avtooli 10

Asendajate valikul kõrgetel temperatuuridel töötavatele õlidele ei saa lähtuda peamiselt viskoossusest, vaid seal tuleb palju suuremat tähelepanu osutada kogu näitarvude kompleksi antud tingimustesse sobivusele.

Tundmata päritoluga õlide segamisest tuleb alati hoiduda, kuna segamisel võivad tekkida mitmesugused ebasoovitavad ühendid, mis võivad segu töötamistingimusi tuntavalt halvendada ja seega põhjustada sõlme kiiret kulumist või isegi avariid.

\*

Õlisid kasutatakse määrimiseks väga laiaulatuslikult.

Peamised paremused, mis on tinginud õlide niisugust laia kasutamist, on järgmised: 1) õlid sobivad määrimiseks suure pöörete arvuga mehhanismides; 2) õlid on kasutatavad nii madalatel kui ka kõrgetel temperatuuridel; 3) õli on seadmes vahetatav ilma seadet lahti monteerimata; 4) hõordesõlm on hästi jahutatav (määrimine läbivoolava õliga); 5) määrdeseadmete valiku võimalus on suur; 6) õlide filtreerimise võimalus; 7) kontrollseadmete kasutamise võimalus.

Õlide kasutamise peamiseks puuduseks on nende kerge väljavoolamine määrimispaigast ja selle tagajärjel tulenev vajadus õli aegajaliseks juurdelisamiseks. Läbimõeldud tihendite kasutamine hõordesõlmes lubab aga nimetatud puuduse mõju viia miinimumini, mistõttu viimane ei ole suuremal osal juhtudel määrimisliigi valikul määrava tähtsusega.

#### b. Töötanud õlide regenerereerimine.

Kuna õlide kasutamine meie rahvamajanduses on väga laialdane, omab õlimajanduse õige organiseerimine väga suurt tähtsust. Õigesti organiseeritud õlimajandus: 1) võimaldab vähendada õlikulu, 2) tõstab seadmete kasutegurit, vähendades seejuures energiakulu seadmete käitamiseks, 3) vähendab seadmete kuluvust ja pikeridab järelkult remondivahelist aega ja üldist iga, 4) alandab produktsiooni omahinda, 5) suurendab seadmete faktilist võimsust.

Eriti suure majandusliku efekti annab töötanud õlide uuestikasutamine. Töötanud õlid sisaldavad mitmesuguseid füüsikalis-keemiliste muundumiste produkte ja väljastpoolt sissesattunud lisandeid. Töötanud õlisid on aga suhteliselt küllaltki lihtne taastada tarvitamiskõlblikkudeks ja nad on kasutatavad samaväärselt värskete õlidega. Töötanud õlide algomaduste taastamist nimetatakse õlide regenerereerimiseks.

NSV Liidu Rahvakomissaride Nõukogu korraldusega nr. 14842-p 4. augustist 1943. a. on kõik asutised ja ettevõtted kohustatud organiseerima töötanud õlide kogumist ja regenerereerimist järgmistes kogustes värskete õli hulga suhtes:

Tööstuslikud õlid . . . . .	30%
Avtoolid . . . . .	25%
Lennukiõlid . . . . .	25%

NSV Liidu Rahvakomissaride Nõukogu juures asuva Majandusnõukogu otsuse nr. 943 3. septembrist 1939. a. kohaselt tuleb koguda diisli-, turbiini- ja transformatoriõlisid vähemalt 40% ulatuses kulutatud värsketest õlidest.

Nii uurimisasutiste andmed kui ka NSV Liidu eesrindlike ettevõtete kogemused on näidanud, et kõik need normid on tähelepandavalt määral ületatavad, mõnede sortide juures isegi rohkem kui 2 korda.

ГОСТ 1974-43 kohaselt on võimalik töötanud õlide regenereerimisel kasutada järgmisi meetodeid:

meetod nr. 1 — settimine ja filtreerimine;

meetod nr. 2 — kontakteerimine ja filtreerimine;

meetod nr. 3 — töötlemine leelisega, kontakteerimine ja filtreerimine;

meetod nr. 4 — töötlemine happega, kontakteerimine ja filtreerimine;

meetod nr. 5 — töötlemine happega ja leelisega, kontakteerimine ja filtreerimine;

meetod nr. 6 — kütuse väljadestilleerimine, kontakteerimine ja filtreerimine;

meetod nr. 7 — töötlemine happega, leelisega, kütuse väljadestilleerimine, kontakteerimine ja filtreerimine.

Nii näiteks regenereeritakse tööstuslikud õlid järgmiselt: vaseliinõli ja solaarõli (võib koguda ühisesse taarasse) — meetodil nr. 1, värtnaõli — meetodil nr. 1, 2 või 4; samadel meetodeil (1, 2 või 4) regenereeritakse ka masinaõli ja silindriõli 2. Ka teiste õlide kohta on ette nähtud sobivad regenereerimismoodused. Moodusi nr. 6 ja 7 kasutatakse juhul, kui õlidesse on sattunud mootorist kütteinnet.

Enne igasugust töötanud õlide regenereerimist on vajalik lasta õlidel settida, et eraldada vesi ja mehaanilised lisandid. Soovitav on selleks õlisd soojendada (50 kuni 90° C) ja lasta seista 4 kuni 48 tundi. Vee ja mehaaniliste lisandite eraldamine toimub efektiivselt tsentrifuugide abil. Filtreerimine toimub filterpressides.

Kontakteerimist teostatakse aktiivmuldade abil. Õli segamisel aktiivmuldadega adsorbeeritakse aktiivmuldade poolt kõik õlis leiduvad vaigud. Puhas õli saadakse pärast filtreerimist filterpressis.

### 3. Konsistentsed määrdeained.

Konsistentsed määrdeained kujutavad endast ühtlast tihedat segu kergest mineraalõlidest (värtna- ja masinaõlid) ja tahkendavatest ainetest. Tahkendajateks on tavaliselt rasvhapete soolad (sebid), mida valmistatakse loomsetest või taimsetest rasvadest kaltsium- või naatriumhüdrosüüdiga töötlemise teel. Mineraalõli hulk on konsistentsetes määrdeaines tavaliselt 80 kuni 90%. Saadud konsistentsete määrdeainete omadused olenevad kasutatava seebi liigist.

Kaltsiumiseepide alusel valmistatud konsistentsed määrdeained sisaldavad nii vaba kui ka seotud vett ega ole vees lahustuvad, s. t. nad on veekindlad. Kuid nad on väga tundlikud kõrgemate temperatuuride suhtes, vedeldudes temperatuuril 60—80° C, kusjuures toimub ka nende lagunemine. Seetõttu ei ole nad pärast jahtumist enam määrdeainena kasutatavad. Kaltsiumiseepide alusel saadud konsistentseid määrdeaineid nimetatakse solidoolideks. Kui solidoolide valmistamisel lisada segule juurde umbes 10% grafiiti, saadakse nn. grafiitmääre.

Nn. emulsioon-solidool on valmistatud ilma rasvade kasutamiseta. Emulsioon-solidooli koosseisu kuuluvad naftaproduktide kõrval kampsol, lubi ja vesi.

Naatriumiseepide alusel valmistatud määrdeained on vees kergelt lahustuvad ega ole seetõttu niiskes keskkonnas kasutatavad. Nende vedeldumine toimub alles kõrgetel temperatuuridel (üle 100° C) ja pärast nende jahutamist ei ole nende määrimisomadused muutunud. Naatriumiseepide alusel saadud konsistentsete määrdeainetena on tuntud konstaliinid jt.

Mõlema põhiliigi vahepealsete omadustega on kaltsiumi-naatriumi alusel valmistatud määrdeained. Nad vedelduvad kõrgemal temperatuuril kui solidoolid, kuid nad on tundlikud niiskuse vastu.

Konsistentsete määrdeainete omaduste hindamiseks tuleb kasutada teisi näitajaid kui määrdeõlide puhul. Konsistentsete määrdeainete omadusi iseloomustavad tilktäpp, penetratsioon, vabade hapete, leeliste, mehaaniliste lisandite ja vee sisaldus, korrodeeriv mõju jne.

Tilktäpiks nimetatakse temperatuuri, mille juures toimub määrdeaine vedeldumine ja esimese tilga kukkumine eriaparaadis, mida soojendatakse kindlaksmääratud tingimustes. Tilktäpi teadmine võimaldab hinnata antud määrdeaine kasutatavust ühel või teisel temperatuuril.

Penetratsioon iseloomustab määrdeaine konsistentsi ja see määratakse eriseadmes — penetromeetris. Penetratsiooni väljendatakse penetromeetri standardse koonuse 5 sekundi kestel määrdeainesse tungimise sügavusega penetromeetri skaalalt loetavate kraadide arvu kaudu.

Vabade hapete esinemine määrdeaines kutsub esile määrdeainega kokku puutuvate metallide korrodeerumist ja on seetõttu lubamatu. Vabade hapete neutraliseerimiseks tuleb kasutada leeliseid. Vabade hapete täielik neutraliseerimine tagatakse vabade leeliste vähese sisaldusega määrdeaines.

Mehaanilisteks lisanditeks loetakse kõiki lisandeid, mis ei lahustu 10%-ses soolhappes, petrool-eetris ega piirituse ja bensooli segus. Mehaanilised lisandid võivad sattuda määrdeainesse nii tema valmistamisel (lubjaosakesed lubjapiima valmistamisel rasvade seebistamisel) kui ka transpordis. Kui õlides on võimalus mehaaniliste lisandite sadenemiseks, siis konsistentsete määrdeainete puhul liiguvad kõik mehaanilised lisandid paratamatult koos määrdeainega määrimiskohale ja põhjustavad hõõrduvate pindade mehaanilisi vigastusi. Praktiliselt ei ole võimalik saavutada mehaaniliste lisandite täielikku puudumist. Kehtivad GOCT-id lubavad mehaaniliste lisandite esinemist kuni 0,025%.

Vee sisaldus, samuti põletamisel määratud tuha sisaldus võimaldavad hinnata nende määrdeainete valmistamise tehnoloogia kvaliteeti ja võrrelda antud määrdeaine näitajaid GOCT-i vastavate näitajatega.

Korrodeeriv mõju tuleneb konsistentsetes määrdeainetes leiduvatest vabadest hapetest ja leelistest ja nende toimet hinnatakse spetsiaalsetele metallplaatidele tekitatud muudatuste järgi. Nende plaatide nõutav vastupidavus konsistentsete määrdeainete toimele on ette kirjutatud määrdeainete kohta kehtestatud normides.

Tsehitingimustes võib konsistentsete määrdeainete omaduste kohta ligikaudse otsuse anda lihtsate võtete kasutamisega. Nii näiteks viitab terav ja kibekas lõhn rasvade halvale kvaliteedile; solidooli- ja konstaliinitüüpi määrdeained ei tohi olla kihistunud, eraldades mineraal-

õli — viimane olukord näitab, et määrdeaine omab ebapüsiva struktuuri. Hea konsistentne määrdeaine ei tohi jätta katkemisel katkemiskohale „saba-kesi”. Kui määrdeaine hõõrumisel sõrmede vahel on tunda mehaanilisi lisandeid, on määrdeaine kõlbmatu. Määrdeaine kuuluvust saab samuti lihtsa prooviga kindlaks määrata. Kui lisada 30—40°-ni kuumutatud vette mõni gramm naatriumi alusel valmistatud konsistentset määrdeainet, muutub vesi emulsiooni tekkimise tõttu sogaseks. Kui emulsiooni ei teki, on tegemist kaltsiumi alusel saadud määrdeainega.

ГОСТ 3127-46 määrab konsistentsetele määrdeainetele tähistussüsteemi. Sama norm jaotab konsistentseid määrdeained kasutamiseala järgi kahte klassi: I klass — universaalsed konsistentseid määrdeained, mis on ette nähtud kasutamiseks mehhanismide rühmades mitmesugustel aladel; II klass — spetsiaalsed konsistentseid määrdeained, mis on määratud kasutamiseks üksikutes mehhanismides kindlaksmääratud alal.

Universaalseid konsistentseid määrdeaineid tähistatakse tähega V, millele võib lisanduda veel tähti, mis iseloomustavad nende määrdeainete erilisi omadusi. Nii tähistab näiteks H madala sulamistemperatuuriga (tilktäpp kuni 65° C) (низкоплавкие), С — keskmise sulamistemperatuuriga (tilktäpp kuni 100° C) (среднеплавкие) ja Т — kõrge sulamistemperatuuriga (tilktäpp üle 100° C) (тугоплавкие) konsistentseid määrdeaineid, М — külmakindlaid, В — veekindlaid, А — aktiveeritud (eriti kõrgete koormuste jaoks määratud), З — korrosioonivastaseid, Р — kummit mitte lahustavaid ja К — happekindlaid konsistentseid määrdeaineid.

Tabel 8.

Madala sulamistemperatuuriga universaalsed konsistentseid määrdeained (tilktäpp kuni 65° C).

Konsistentse määrdeaine mark	Põhiline kasutamine
Kahurimääre (VH3) ГОСТ 3005-45	Kahurväe relvadele suvel. Metalsete, ilma eri kateta pindade kaitseks korrosiooni vastu.
Tehniline vaseliin (VH-1) ГОСТ 782-47	Väikestel koormustel ja temperatuuril kuni 35° C töötavatele laagritele. Mehhanismide ja nende detailide kaitseks korrosiooni vastu.
Tehniline vaseliin, kõrge sulamistemperatuuriga (VH-2) ГОСТ 782-47	Väikestel koormustel ja temperatuuril kuni 45° C töötavatele laagritele. Mehhanismide ja nende detailide kaitseks korrosiooni vastu.
Konsistentne määrdeaine (VHBM) ГОИ-54 ГОСТ 3276-46	Optilistele aeronavigatsiooni- ja raadioseadmetele, samuti lennuki juhtseadmetele, mis töötavad temperatuuride vahemikus —60 kuni +55° C.
Konsistentne määrdeaine (VHMA) ГОСТ 2967-45	Kahurväe ja teistele seadmetele ja mehhanismidele kõrgendatud nõudega määrdekile tugevuse suhtes.

II klassi konsistentsed määrdeained tähistatakse tähtedega, mis määravad nende kasutamisaala ja määritava mehhanismi või kasutamise tingimused. Nii näiteks ИТ tähistab tööstuslikku konsistentset määrdeainet tekstiilitööstusele (индустриальная текстильная), ЖТ — raudteedele pidurite jaoks määratud konsistentset määrdeainet (железнодорожная тормозная) jne. Kõigi II klassi konsistentsete määrdeainete tähistusi käesoleval kohal nende suure hulga tõttu ei tooda.

Jättes lähemalt puudutamata spetsiaalsed konsistentsed määrdeained, toome ГОСТ 2556-47 järgi andmed universaalsete konsistentsete määrdeainete kohta. Nimetatud määrdeained on jaotatud tilktäpist olenevalt kolme rühma: madala, keskmise ja kõrge sulamistemperatuuriga määrdeained. Nimetused ja normiga ГОСТ 2556-47 määratud põhilised kasutamiskiirkonnad on toodud vastavalt tabelites 8, 9 ja 10.

Tabel 9.

Keskmise sulamistemperatuuriga universaalset konsistentsed määrdeained (tilktäpp 65—100° C).

Konsistentse määrdeaine mark	Põhiline kasutamine
Solidool Л (УС-Л) ГОСТ 1033-41	Väikestel ja keskmistel koormustel ja kiirustel töötavatele laagri- ja teistele hõõrdesõlmedele, temperatuuril kuni 55° C (autode, traktorite šassiid jne.).
Emulsioon-solidool Л (УС <sub>э</sub> -Л) ТУ-105-43	Solidooli Л asendaja.
Solidool М (УС-М) ГОСТ 1033-41	Keskmistel ja suurematel koormustel, väikestel ja keskmistel kiirustel töötavatele hõõrdesõlmedele, temperatuuril kuni 65° C.
Solidool Т (УС-Т) ГОСТ 1033-41	Suurtel koormustel ja mittersuurtel kiirustel töötavatele hõõrdesõlmedele, temperatuuril kuni 75° C.
Emulsioon-solidool Т (УС <sub>э</sub> -Т) ТУ 105-43	Solidoolide М ja Т asendaja.
Konsistentne määrdeaine НК-30 (УСМ) ГОСТ 3275-46	Temperatuuride vahemikus —60 kuni +85° C töötavatele hõõrdesõlmedele (lennuki juhtimisseadiste osadele jne.).
Grafiitmääre (УСА) ГОСТ 3333-46	Valtpinkide lahtistele noolhammasratastele ja teistele suurelkoormatud hõõrdesõlmedele.
Rattamääre (УС) ГОСТ 3146-46	Hobutranspordi raud- ja puittelgedele.
Emulsioon-rattamääre (УС <sub>э</sub> ) ГОСТ 3146-46	Sama.

Pärast GOCT 2556-47 kehtestamist on tulnud siia rühma juurde veel 3 sünteetiliselt saadud marki (GOCT 4366-50): sünteetilised solidoolid YC-c1, YC-c2 ja YC-c3, mis on rasva-solidoolide asendajateks.

Tabel 10.

**Kõrge sulamistemperatuuriga universaalsed konsistentseid määrdeained**  
(tilktäpp üle 100° C).

Konsistentse määrdeaine mark	Põhiline kasutamine
Konstaliin (YT-1) ГОСТ 1957-43	Kuul- ja rull-laagritele ja teistele keskmistel ning suurematel koormustel töötavatele hõordesõlmedele, temperatuuril kuni 115° C.
Kalipsoliin 6 (YT-2) БТУ НКМ и МП 149-43	Sama.
Määre 1—13 (YTB) ГОСТ 1631-42	Sama, kõrgendatud niiskuse tingimustes.
Määre KB (YTM) ГОСТ 2931-45	Sama, temperatuuridel —60 kuni +115° C (len-nuki juhtimisseadistele jms.).

Spetsiaalsed konsistentseid määrdeained on normis GOCT 2556-47 esitatud 35 eri margiga ja nende koguarv koos hiljem väljalastutega moodustab 46. Oma kasutamiskiirkonna järgi on spetsiaalsed konsistentseid määrdeained jaotatud 6 eri rühma. Siia kuuluvad konsistentseid määrdeained autotranspordi, relvastuse ja varustuse, raudtee, tööstuslikkude vajaduste, merelaevade, lennukimootorite jaoks.

Üldmasinaehituses enamkasutatavate universaalsete konsistentsete määrdeainete kohta on toodud tähtsamaid näitajaid tabelis 11.

Konsistentsete määrdeainete peamiseks iseloomustajaks nende valikul on nende koostis (valmistatud kas kaltsium- või naatriumhüdroksüüdi kasutamisega) ja tilktäpp. Seetõttu tuleb nende asendajate valikul lähtuda peamiselt tilktäpist, mis peab asendajal olema vähemalt sama kui asendataval või kõrgem. Asendades solidooli konstaliiniga, lüheneb määrdeaine kasutamise iga. Määret 1—13 võib asendada väikestel kiirustel ja madalatel temperatuuridel (< 65° C) solidoolidega. Suurematel kiirustel võib tema asendamiseks kasutada konstaliini.

\*

Konsistentsete määrdeainete peamised eelised õlide ees on: 1) nende kasutatavus hõordesõlmedes, mis töötavad suurtel koormustel ja kõrgematel temperatuuridel; 2) nende kasutatavus dünaamilisel koormusel; 3) hõordesõlme hea tihendamine, kuna konsistentne määrdeaine täidab kõik lõtkud; 4) puudub vajadus pidevalt hoolitseda määrdekooha korrasoleku

Tabel 11.

## Mõnede universaalsete konsistentsete määrdeainete omadusi.

Konsistentse määrdeaine mark	Märkusi saamisviisi kohta	Tihkapp °C	Penetratsioon 25°C juures	Veesisaldus % mitte üle	Mehaaniliste lisandite sisaldus % mitte üle	Värvus
Tehniline vase-liin (VH-1)	Tseresiini ja parafiiniga ja teiste parafiinsete produktidega tahkendatud mineraalõli	40 kuni 50	—	Puudub	0,020 kuni 0,025	Hele- kuni tumepruun
Solidool JI (YC-JI)	Rasvhapete kaltsiumsooladega tahkendatud mineraalõli	70	230 kuni 290 ja 250 kuni 290	2,0	0,4 kuni 0,8	Helekollasest tumepruunini
Emulsioon-solidooll JI (YC <sub>3</sub> -JI)	Emulsioon tüübist „vesi õlis“, stabiliseeritud kampoli vaikhapete kaltsiumsooladega	90	290 kuni 360	17 kuni 22	—	Piimvalgest pruunini
Solidool M (YC-M)	Rasvhapete kaltsiumsooladega tahkendatud mineraalõli	80	190 kuni 230	2,5	0,4 kuni 0,8	Helekollasest tumepruunini
Solidool T (YC-T)	Sama	90	150 kuni 190	3,0	0,4 kuni 0,8	Sama
Emulsioon-solidooll T (YC <sub>3</sub> -T)	Emulsioon tüübist „vesi õlis“, stabiliseeritud kampoli vaikhapete kaltsiumsooladega	90	250 kuni 290	17 kuni 22	—	Piimvalgest pruunini
Grafiitmääre (YCA)	Rasvhapete kaltsiumsooladega tahkendatud mineraalõli grafiidilisandiga	75	—	2,0	—	Must
Konstaliin (YT-1)	Rasvhapete naatriumsooladega tahkendatud mineraalõli	130	225 kuni 275	0,5	—	Helekollasest tumepruunini
Kalipsoliin 6 (YT-2)	Sama	120	200 kuni 250	0,3	0,05	Must
Määre 1—13 (YTB)	Kastoorõli rasvhapete naatriumsooladega tahkendatud mineraalõli	120	175 kuni 210	0,75	Puudub	Helekollasest tumepruunini
Määre KB (YTM)	Kastoor- ja rasuõli rasvhapete naatriumsooladega tahkendatud mineraalõli	120	275 kuni 325	0,2	Puudub	Valgest helepruunini

eest, kuna õigetes tingimustes töötav konsistentne määrdeaine vajab täiendamist suhteliselt pikkade ajavahemikkude järgi.

Puudused, mis piiravad konsistentsete määrdeainete kasutamist, on: 1) määrivate omaduste kaotamine, töötades pidevalt kõrgel temperatuuril (eriti solidoolidel); 2) suuremad hõõrdekaod hõõrdesõlmedes; 3) väike kasutamiskõlblikkus madalatel temperatuuridel; 4) vajadus määrdeaine vahetamiseks lahti monteerida mõnikord kogu hõõrdesõlm; 5) piiratud võimalused määrdeaine määrimiskohale juhtimiseks.

#### 4. Määrimise moodused ja määrdeseadmed.

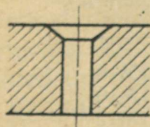
Hõõrdesõlme määrimine võib toimuda kas perioodiliselt või pidevalt. Määrimist kummalgi viisil võib teostada nii individuaalses kui ka tsentraliseeritud korras. Suur osa määrdeseadmetest on normitud, konstruktori ülesandeks jääb määrimissõlme loomisel peamiselt õige määrdeaine valik ja määrimissõlme sobiv konstruktiivne kujundamine. Alljärgnevas vaatleme põhilisi moodusi hõõrdesõlme määrimiseks, eraldi õlide ja konsistentsete määrdeainete jaoks.

##### a. Määrimine õlidega.

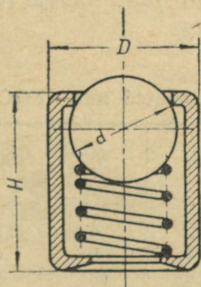
##### 1) Perioodiline määrimine.

Kõige lihtsam moodus õli juhtimiseks määrimiskohale on seadmesse kujundatud õliava kasutamine (joon. 2). Kuna õli valamine toimub käsitsi ja olenevalt töötaja hoolikusest, on selline moodus kasutatav vaid vähese vastutusrikkusega paardes, kus mõjub väike koormus ja mis töötavad vaheaegadega. Kaitseks väljast sissetungivate abrasiivosakeste eest võib õliava katta kaanekesega. Paremaks ava leidmiseks värvitakse ava ümbrus eri värviga.

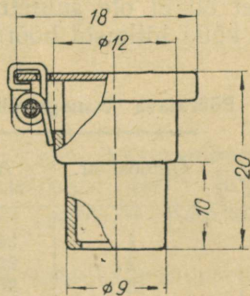
Sammuna edasi lihtsast õlitusavast märgime mitmesuguseid õlitoose (joon. 3–5). Joonisel 3 kujutatud keraklapiga õlitoos pressitakse määri-



Joon. 2.



Joon. 3.



Joon. 4.

tava seadme kere (tavaliselt ist П13). Vedru abil õlitoosi sulgev keraklapp kaitseb õlitusava väljast sisse tungiva tolmu jms. eest. Õli juurdevõlamise ajaks surutakse keraklapp õlikannu toru poolt alla. Mõõted nimetatud õlitoosile on antud tabelis 12.

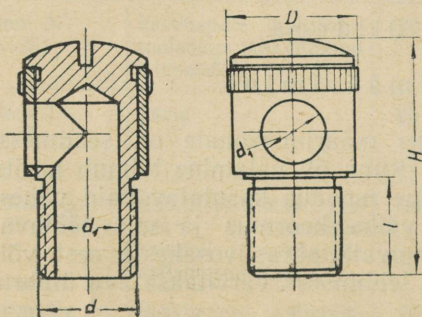
Tabel 12.

Keraklapiga õlitooside mõõted mm (ГОСТ 1303-45) (joon. 3).

Õlitoosi nr.	$D$	$d$	$H$
1	6	3	6
2	10	6	12
3	16	11	20
4	25	18	30

Joonisel 4 on esitatud teine seadme kerele pressitav õlitoos, kus erivõlmusena eelmisest on keraklapi asemel kasutatud vedru abil sulguvat kaant.

Kuna sissepressitavate õlitooside vahetamine ja eriti väljavõtmine on raskendatud, on otstarbekohane kasutada joonisel 5 toodud õlitoosi, mille kere alumine osa on toosi seadmesse kinnitamiseks keermetatud. Õlitoosi kere ülemise osa ümber asub vabalt pööratav silindriline kaas, mis katab õliava. Mõõted nimetatud õlitoosi kohta on toodud tabelis 13.



Joon. 5.

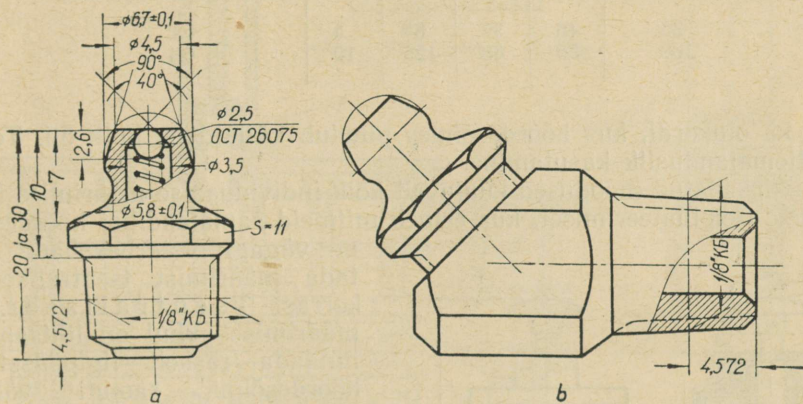
Kuna õli võib hõõrdesõlmeni jõuda vaid vaba voolumise teel, võib juhtuda, et õli ei ole suuteline (eriti just harva ja vähese õlitamise puhul) täitma kõiki lõtkusid hõõrdesõlmes.

Tabel 13.

Pööratava kaanega õlitooside mõõted mm (ГОСТ 1303-45) (joon. 5).

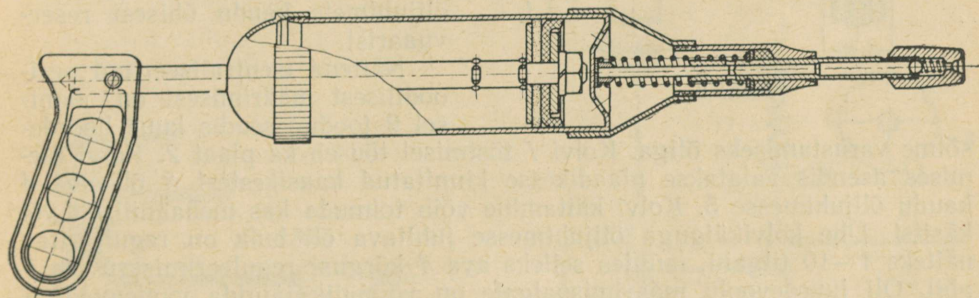
Õlitoosi nr.	$H$	$D$	$l$	$d_1$	Keere $d$
1	20	12	6	5	1M 8
2	25	14	8	6	1M10
3	30	16	10	8	1M12
4	40	20	15	12	1M16

Kõikide lõtkude õliga täitumine on tagatud surve-õlitooside kasutamisel. Surve-õlitoosid (nn. määrdeniplid) on toodud joonisel 6. Surve-õlitoosid kinnitatakse määritava seadise kereesse koonilise keermega abil. Õli surumiseks hõordesõlmeni kasutatakse vastavaid pritse (joon. 7), mille otsad



Joon. 6.

on kujundatud sobivatena surve-õlitooside peadele. Selline moodus, eriti kui kasutada õli juhtimiseks painduvat voolikut, võimaldab hästi teenindada ka raskelt ligipääsetavaid hõordesõlmi.



Joon. 7.

ГОСТ 3562-47 annab mõõdet käsilubrikaatorile (käsipumbale), mis on peamiselt määratud vastutusrikaste hõordesõlmede (eriti liugelaagrite) eelnevaks õlitamiseks enne seadme käivitamist (joon. 8). Käsilubrikaatorite mõõdet on toodud tabelis 14.

Kõikide toodud õlitusmooduste ühiseks ja suureks puuduseks on asjaolu, et õli juurdejuhtimine hõordesõlme ei toimu pidevalt, vaid perioodiliselt. Seetõttu järjesti olukorraga, kus hõordesõlm on rikkalikult määritud,

Käsilubrikaatorite mõõted mm (ГОСТ 3562-47) (joon. 8).

Maht cm <sup>3</sup>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>H</i> ≈	<i>h</i>	Kolvi ühe käiguga antav õli hulk cm <sup>3</sup>
25	46	36	85	5	0,2
100	55	68	125	10	0,4

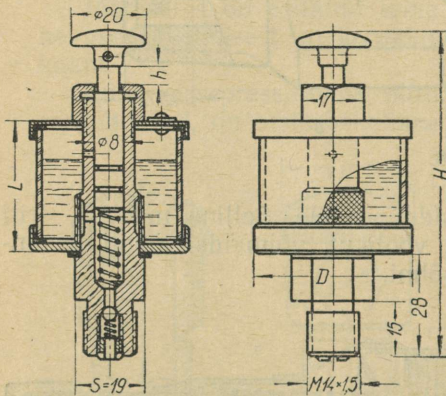
esineb ka olukordi, kus hõõrdesõlmes puudub küllaldane hulk õli. Toimub õli mittemajanduslik kasutamine.

Senikirjeldatud moodused kuuluvad kõik individuaalse määrimise hulka. Seadmete ekspluaterimisel, kus esineb mitmeid samalaadilisi hõõrdesõlmi,

on vägaigi otstarbekohane kasutada määrimist tsentraliseeritud korras. Tsentraliseeritud määrimise puhul on lihtsam teinendada raskelt ligipääsetavaid hõõrdesõlmi, samuti väheneb suure hõõrdesõlmede arvu puhul tuntavalt aeg nende hõõrdesõlmede teenindamiseks.

Tsentraliseeritud perioodiliseks määrimiseks kasutatakse määrdeseadiseid, kus hõõrdesõlmede toitmine toimub tavaliselt õlijuhtmete kaudu ühisest reservuaarist.

Näitena tsentraliseeritud perioodilise määrimisest on joonisel 9 toodud seadis kuue hõõrde-

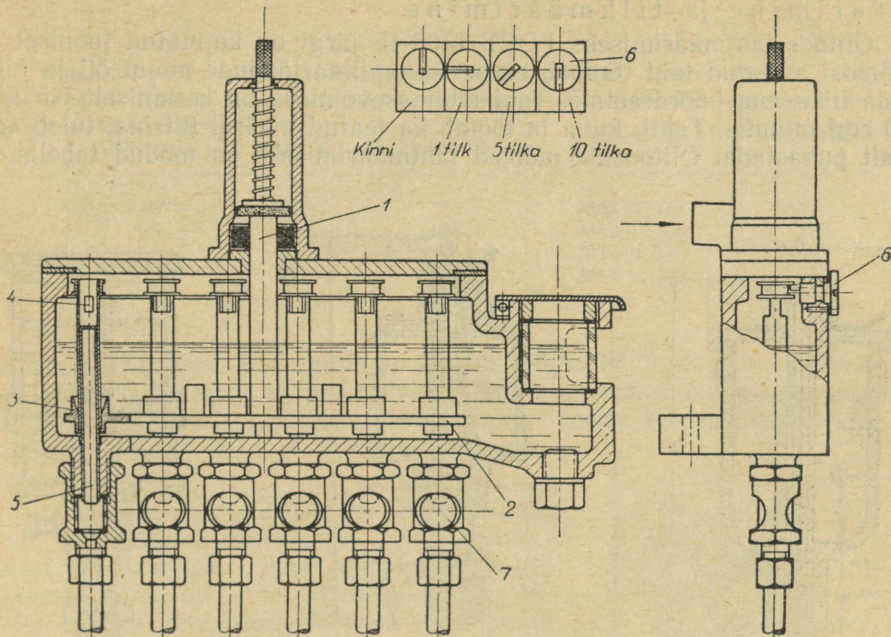


Joon. 8.

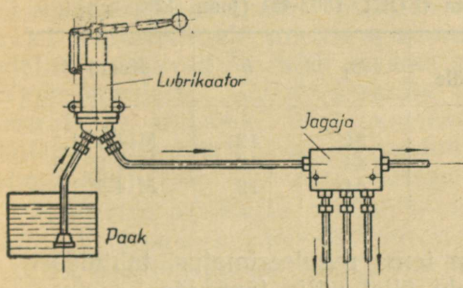
sõlme varustamiseks õliga. Kolvi 1 tõstmisel tõuseb ka plaat 2. Kolvi ülemises asendis valatakse plaadikesse kinnitatud kausikestest 3 õli ava 4 kaudu õlijuhtmesse 5. Kolvi käitamine võib toimuda kas mehaaniliselt või käsitsi. Ühe kolvikäiguga õlijuhtmesse juhitava õli hulk on reguleeritav näiteks 1—10 tilgani, muutes selleks ava 4 kõrgust reguleerimiskruvide 6 abil. Õli juurdevoolu määrimispaigale on võimalik jälgida vaateavade 7 kaudu.

Õli parem juurdevool hõõrdesõlme tagatakse tsentraliseeritud määrimise puhul survemäärimisega. Vajalik surve õli juhtimisel saavutatakse siis kas lubrikaatoriga või pumbaga automaatselt teotseva õli jagajaga. Joonisel 10 on toodud määrdeseadme skeem lubrikaatori ja õli jagajaga. Lubrikaatoreid mitme väljavooluavaga ehitatakse nii ühe kui ka mitme kolviga. Väljavooluavade arv on 3, 4, 6, 12, kusjuures kolvi ühe käiguga antakse õli kuni 0,12 cm<sup>3</sup>. Pumba kasutamisel koos jagajatega asetatakse jagajad, mis juhivad õli perioodiliselt hõõrdesõlme, tavaliselt hõõrdesõlme lähedale. Ühe sellise seadme skeem on toodud joonisel 11. Siin pidevalt

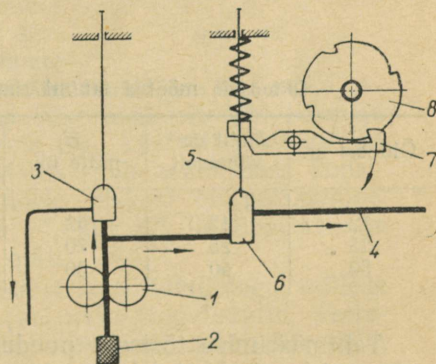
töötav hammasrataspump 1, kuhu õli tuleb läbi filtri 2, surub õli torus-  
tikku, kus asuvad reguleeritav ülevooluklapp 3 ja juhtklapp 6. Varda 5



Joon. 9.



Joon. 10.



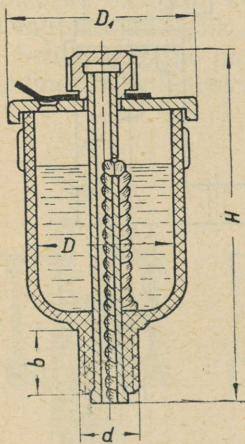
Joon. 11.

liikumisel alla toimub õli edasisaatmine torujuhtmes 4 hõõrdesõlmeni. Varda liigutamine teostatakse kangi 7 ja profileeritud pöörleva ketta 8 kaudu.

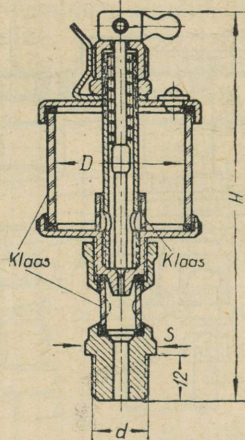
## 2) Pidev määrimine.

Konstruksioonilt lihtsamaid moodusi pidevaks õlitamiseks on tahtmäärimine ja tilkmäärimine.

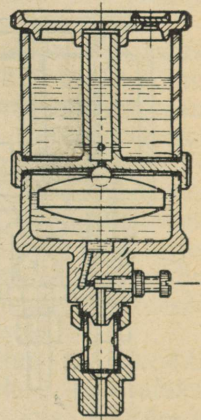
Õlitoos tahtmäärimiseks GOCT 1303-45 järgi on kujutatud joonisel 12. Õlitoosi asetatud taht tõmbab enesesse kapillaarjõudude mõjul õli ja juhivad seda tilkadena hõordesõlme. Taht läbilaskevõimsus on keskmiselt 0,5 kuni 3,0 cm<sup>3</sup> minutis. Tahti, kuna ta töötab ka teatud määral filtrina, tuleb aeg-ajalt puhastada. Õlitooside mõõted tahtmäärimiseks on toodud tabelis 15.



Joon. 12.



Joon. 13.



Joon. 14.

Tabel 15.

Õlitooside mõõted tahtmäärimiseks mm (GOCT 1303-45) (joon. 12).

Õlitoosi nr.	Maht cm <sup>3</sup> vähemalt	H mitte üle	D mitte üle	D <sub>1</sub>	b	Keere d
12	12	62	28	34	12	M14 × 1,5
25	25	70	38	44	12	M14 × 1,5
50	50	80	48	54	12	M14 × 1,5

Tahtmäärimise tõsiseks puuduseks on tema reguleerimatus, tahtmäärimise seiskamiseks tuleb paratamatult taht õlist välja tõmmata.

Õli juurdevoolu reguleerimist on hõlpus teostada aga tilkmäärimise kasutamisel, kus õli toosist väljavoolu ava on varustatud sulgurnõelaga. Joonisel 13 on toodud vastav õlitoos (GOCT 1303-45). Õli läbilaske suurus on õlitoosis reguleeritav nõela nihutamisega alla või üles, mispuhul ava õli väljavooluks väheneb või suureneb. Reguleerimist teostatakse õlitoosi

ülemises osas asetseva mutri keeramisega. Tilkade arv minutis on leib väga suurel määral õli nivoost ja viskoossusest. Mõõted õlitoosidele tilkmäärimiseks on antud tabelis 16.

Tabel 16.

Õlitooside mõõted tilkmäärimiseks mm (ГОСТ 1303-45) (joon. 13).

Õlitoosi nr.	Maht cm <sup>3</sup> vähemalt	H. mitte üle	D mitte üle	Keere d	Võtmesus S
16	16	115	35	M14 × 1,5	17
25	25	115	40	M14 × 1,5	17
50	50	125	45	M14 × 1,5	17
-100	100	145	50	M14 × 1,5	17

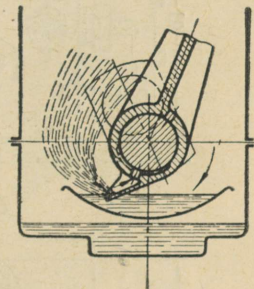
Joonisel 14 on toodud Karetnikovi õlitoos tilkmäärimiseks, kus eelmise õlitoosi peamine puudus, väljavoolava õli hulga olenevus õli nivoost õlitoosis, on kõrvaldatud. Siin kasutatakse kahest osast koosnevat õlitoosi, kus alumises osas on õli tase ujukiga automaatselt reguleeritav.

Õli juurdevoolu reguleerimine hõõrdesõlme, olenevalt töörežiimist (kiirusest), on lahendatav niisugusel tilkmäärimisel, kus sulgurnõel on viidud kinemaatilisse seosesse hõõrdesõlme ühe liikuva elemendiga (sulgurnõel tõuseb oma pesalt näit. võlli iga pöörde puhul).

Lisaks eeltoodud individuaalsetele määrimismoodustele, mis on kasutatavad peaaegu igas seadmes, tuleb nimetada veel tervet rida võimalusi, mille kasutamiseks on piiratud ja mis seetõttu leiavad kasutamist ainult kindlate seadmete või seadmerühmade juures. Mainida tuleks siin kindlasti paismäärimist hermeetiliselt suletud seadmetes, kus õli osaliselt läbi liiguvad detailid paiskavad õli laiali seadme siseseintele jne., kust õli juhitakse ka hõõrdesõlmedesse. Paismäärimise läbiviimiseks võib seadmesse konstrueerida ka eridetaile, mille otseseks ülesandeks olekski õli paiskamine. Näitena paismäärimisest on toodud joonis 15, kus õli laialipaiskamine toimub kopsu otsa kujundatud spetsiaalnoka abil.

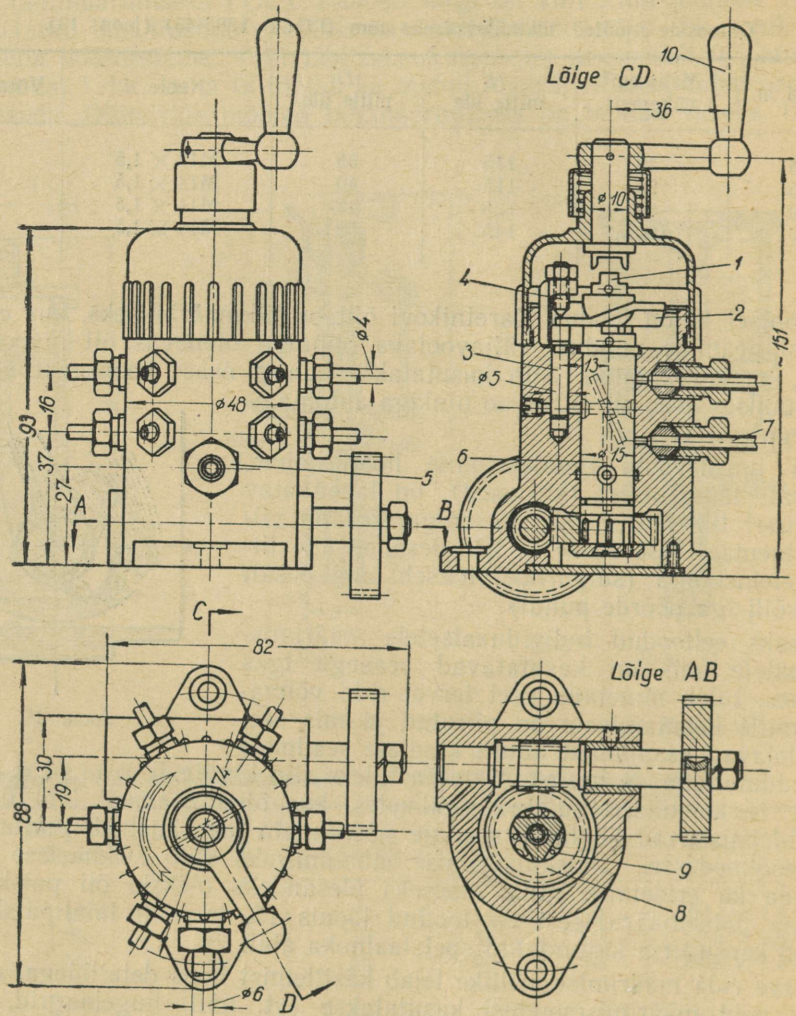
Terve rida määrimise eriliike leiab käsitlemist koos detailidega, millede juures neid määrimismoodusi kasutatakse (vt. näit. liugelaagrid, veerelaagrid, hammasajamid, kettajamid jms.), ja mistõttu siin neid lähemalt ei kirjeldata.

Pidev määrimine survemäärimisena teostatakse mitmesuguste mehaaniliselt käitatavate mitme väljavooluavaga lubrikaatorite abil. Viimaste peamine erinevus eespoolvaadeldud käsilubrikaatoritest seisneb ajamehhanismi ehituses. Mehaaniliselt käitatavad lubrikaatorid võimaldavad seadme käitamise eel pumbata hõõrdesõlme (käsitsi) eelnevalt õli.



Joon. 15.

Joonisel 16 on toodud ЭНИМС'i konstruktsiooni mehaaniliselt käitatav käsitsi eelpumpamisega mitme väljavooluavaga lubrikaator. Esitatud lubrikaatori töötamise põhimõte on järgmine. Jaotusvõlliku 1 pöörlemisel pöör-



Joon. 16.

leb ka temale kinnitatud kujuseib 2 ja annab kolbidele 3 translatoorse liikumise, mille ulatus on reguleeritav kruviga 4. Kolvikäigu ulatusest oleneb muidugi õli juurdevoolu hulk torujuhtmest 5. Oli juhitakse jaotusvõlliku 1 sees oleva ava 6 kaudu edasi väljavoolupunktidesse 7. Õli käsitsi eelpumpa-

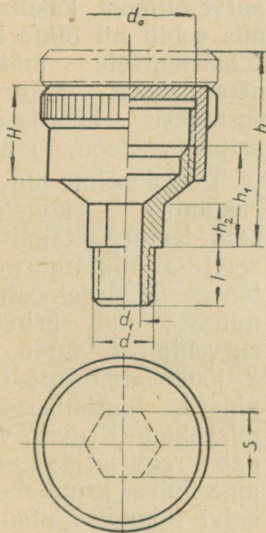
miseks tuleb hammasratas 8 lahti sidurada jaotusvõllikust. See teostatakse vabakäigusiduri 9 kaudu vända 10 pööramisega.

Kirjeldatud lubrikaatori puhul võib saavutada õlisurvet kuni  $10 \text{ kg/cm}^2$ . Üldiselt kasutatakse aga lubrikaatoreid õlisurvega kuni  $1000 \text{ kg/cm}^2$ .

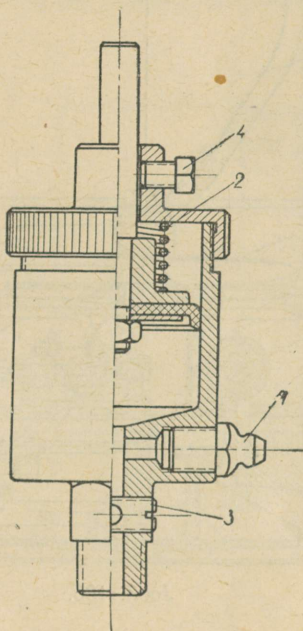
Lubrikaatorite peamiseks puuduseks on nende keerukas konstruktsioon.

### b. Määrimine konsistentsete määrdeainetega.

Konsistentset määrdeained ei ole tavalistel temperatuuridel voolavad ega ole seetõttu võimelised ise hõordesõlmeni liikuma. Konsistentsete määrdeainete juhtimine hõordesõlme tuleb järelikult teostada surve all.



Joon. 17.



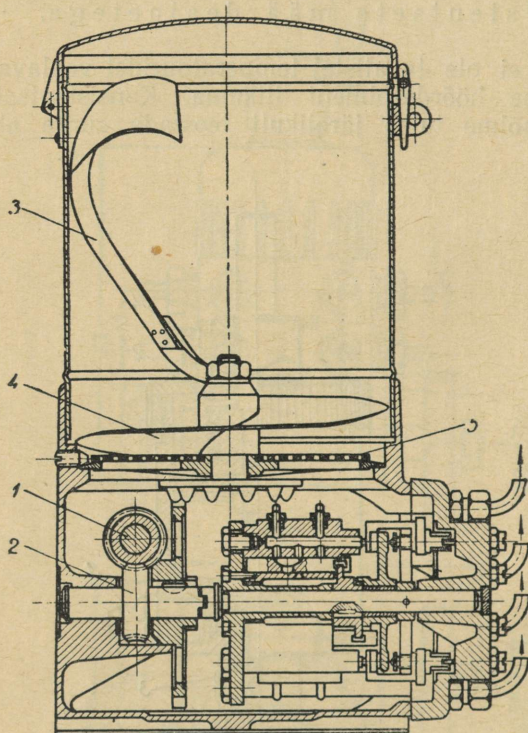
Joon. 18a.

Erandina surve all määrimisest tuleb siiski nimetada primitiivset moodust, kus konsistentne määrdeaine toimetatakse hõorduvate pindade vahele käsitsi (puitlabidakese vms. abil). Sellise mooduse kasutamine on mõeldav ainult vähese vastutusrikkusega sõlmedes.

Kõige enam levinud mooduseks konsistentse määrdeaine hõordesõlme juhtimiseks on määrdetooside kasutamine. Joonisel 17 on toodud määrdetoos GOCT 1303-45 kohaselt. Määrdetooside mõõted leiduvad tabelis 17.

Määrdetoosi kaas täidetakse konsistentse määrdeainega ja keeratakse kerele peale. Seejuures tekib surve, mistõttu määrdeaine surutakse määrdetoosist määrimiskohale. Kuna määrdeaine täiendav juhtimine hõordesõlme

toimub määrdetoosi kaane keeramisel, siis on arusaadav, et kirjeldatud moodusega ei saavutata ühtlast määrdeaine lisamist. Puuduseks on ka määrdeainega varustatuse kontrollimise tülikus. Tavaliste mehhanismide juures loetakse küllaldaseks, kui iga 2 töötunni järel keerata kaant veerandi täispöörde võrra. Kiirustel üle 4,5 m/sek ei ole määrdetooside kasutamine soovitatav. Et oleks võimalik määrdeainet juhtida hõordesõlme ka seadme töötamise ajal, tuleb konstruktoril määrdetoosi asukoha valik teostada teadlikult.



Joon. 18b.

Konsistentse määrdeaine parem juurdejuhtimine hõordesõlme saavutatakse joonisel 6 näidatud surveõlitoosi kasutamisel, mis sobib nii õlide kui ka konsistentsete määrdeainete jaoks. Määrdeaine surutakse hõordesõlmeni pritsi (vt. joon. 7) abil.

Hõordesõlme pideva varustamise konsistentse määrdeainega tagab joonisel 18-a kujutatud määrdetoos. Määrdetoosi täitmine toimub pritsi abil surveni pli 1 kaudu. Vedru 2 jõud tagab määrdeaine pideva juhtimise määrimiskohani. Krugi 3 võimaldab reguleerida määrdeaine hulka, krugi 4 on aga kolvi liikumise pidurdamiseks.

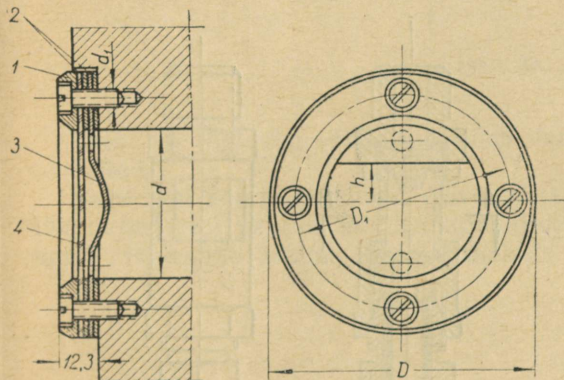
Mitme hõordesõlme samaaegseks varustamiseks võib luua tsentraliseeritud määrimisseadme, kus määrdeaine juhtimine seadmesse toimub ühiselt kõikide määritava punktide tarvis. Ka siin juhitakse määrdeaine seadmesse kas pritsi või käsilubrikaatori abil.

Pidevaks tsentraliseeritud määrimiseks kasutatakse mitmesuguseid mehaaniliselt käitatavaid mitme väljavooluavaga lubrikaatoreid. Joonisel 18-b on toodud näitena lubrikaator, mida käitatakse tiguülekande 1, 2 kaudu. Määrdeaine juhitakse reservuaarist kraaplabida 3 ja juhttigu 4 kaudu läbi söefiltri 5 pumbelementideni. Selliste lubrikaatorite reservuaari maht on 1, 4, 6, 10 või 30 liitrit (valmistab tehas „Manometr”), survega 15 (1-liitriline) ja 100 kg/cm<sup>2</sup> (ülejäanud); väljavooluavade arv võib

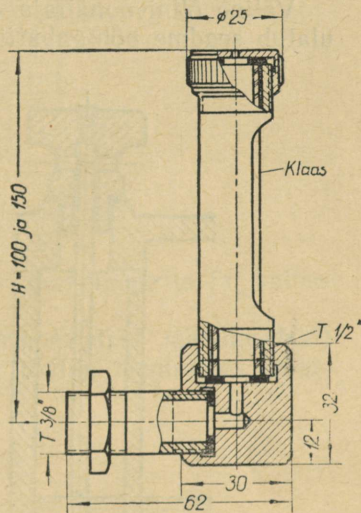
Tabel 17.

Määrdeoside mõõted mm (ГОСТ 1303-45) (joon. 17).

Määrde- toosi nr.	Maht cm <sup>3</sup> vähemalt	<i>l</i>	<i>h</i>	<i>h</i> <sub>1</sub>	<i>h</i> <sub>2</sub>	<i>H</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>S</i>	Keere <i>d</i>	Keere <i>d</i> <sub>0</sub>
1,5	1,5	8	28	14	8	14	3	11	1M10 × 1	1M14 × 1,5
3	3	10	30	15	8	15	4	11	1M10 × 1	1M18 × 1,5
6	6	10	35	18	8	17	4	14	1M10 × 1	2M24 × 1,5
12	12	12	40	20	10	20	5	17	1M14 × 1,5	2M30 × 1,5
25	25	12	50	26	10	24	5	17	1M14 × 1,5	2M35 × 1,5
50	50	12	62	32	10	30	5	17	1M14 × 1,5	3M48 × 1,5
100	100	12	78	40	10	38	5	17	1M14 × 1,5	3M60 × 2
200	200	15	95	47	14	48	6	22	1M20 × 1,5	3M76 × 2
400	400	15	120	60	14	60	6	22	1M20 × 1,5	3M100 × 2



Joon. 19.



Joon. 20.

ulatuda kuni 16-ni, 1 kolvikäiguga antava määrdeaine hulgad on vastavalt reservuaari mahule 0,06, 0,20, 0,23, 0,20 ja 0,23 cm<sup>3</sup>.

Konsistentsete määrdeainete kasutamist piirab nende vedeldumine kõrgematel temperatuuridel, mistõttu režiimi raskenemisel hõõrdesõlmes võib kogu määrdeseadmesse varutud määrdeaine sealt välja voolata, millega järgnevalt kaasub hõõrdesõlme puudulik määrimine.

### 5. Määrimissüsteemide kontrollseadistest.

Määrimissüsteemi töö kontrollimiseks kasutatakse mitmesuguseid kontrollseadiseid, mis võimaldavad jõuda selgusele määrdeaine hulgast seadmes (õlivannide kasutamisel), määrdeaine juurdevoolust hõõrdesõlme, rõhust määrdesüsteemis, temperatuurist jne.

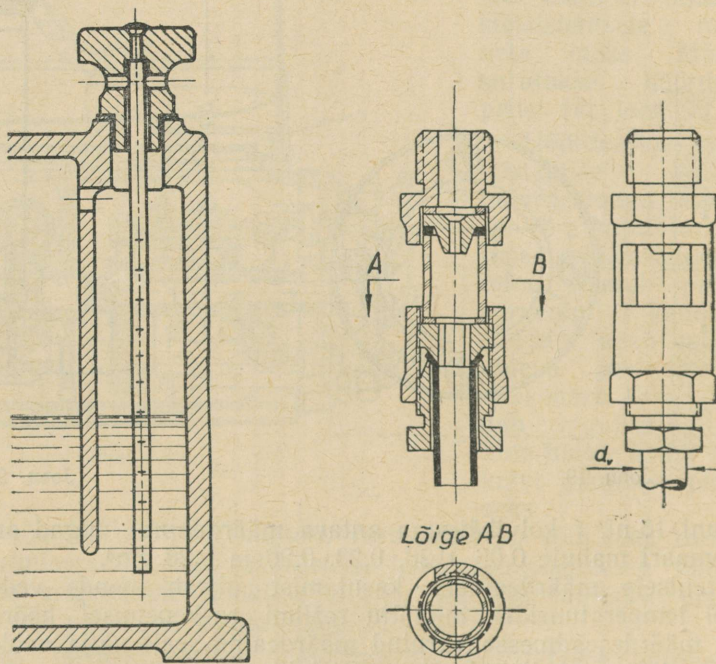
Joonisel 19 on toodud seadmesse sisseehitatud ЭНИМС'i konstruktsiooni õlinivoonäitaja, mis koosneb metallist välisrõngast 1, kartongtihenditest 2, ekraanist 3 ja klaasist 4. Viimane võib olla valmistatud ka läbi paistvast plastmassist või tselluloidist. Valmistatavate õlinivoonäitajate mõõted on toodud tabelis 18.

Tabel 18.

Sisseehitatud õlinivoonäitajate mõõteid mm (joon. 19).

$d$	$D$	$D_1 \pm 0,2$	$h$	Kruvi $d_1$	Kruvide arv
20	55	40	6	M6 $\times$ 1,5	4
32	70	53	8	M6 $\times$ 1,5	4
50	90	72	12	M6 $\times$ 1,5	6

Väline õlinivoonäitaja on esitatud joonisel 20. Väline õlinivoonäitaja ulatub seadme põhigabariidist välja ja võib seetõttu kergesti vigastuda.



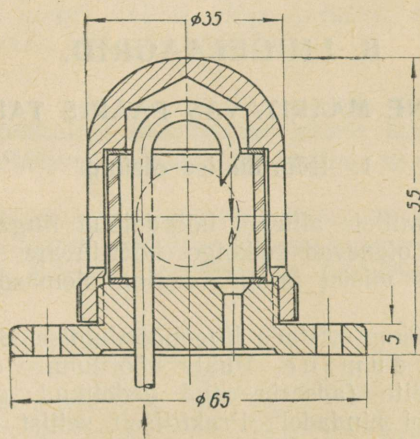
Joon. 21.

Joon. 22.

Õlinivoo kontrollimiseks kasutatakse ka jaotustega varba, kus varva märgamise kõrguse järgi selgub õlinivoo kõrgus (joon. 21). Vanemates seadmetes on kasutamisel ka mitmesugustel kõrgustel asuvad kontrollkraanid.

Hõõrdesõlme voolava õli hulga jälgimiseks kasutatakse mitmesuguseid läbipaistvast ainet (klaas, tselluloid, plastmassid jne.) osaga varustatud konstruktsioone, mille näidetena on toodud joonised 22 ja 23.

Vastutusrikkamad seadmed tuleb varustada ka termomeetriga õli temperatuuri jälgimiseks.



Joon. 23.

Rõhu all töötavad süsteemid tuleb varustada manomeetrite ja kaitseventiilidega.

Sageli on kontrollseadmed (nivoonäitajad, termomeetrid, manomeetrid) ühendatud veel valgus- või helisignaalidega, et juhtida teenindava personali tähelepanu seadme ebanormaalsele tööle.

## B. LIUGELAAGRID.

### I. HÕÖRDUMINE MÄÄRITAVAS PAARIS TAPP—LAAGER.

#### 1. Hõõrdumise olekud.

Seaduspärasused, millele alluvad hõõrdejõud liugehõõrdumisel mingis kinemaatilises paaris, olenevad eelkõige hõõrduvate pindade olukorrast, nende kokkupuutumise viisist ja määrdeaine olemasolust nende pindade vahel.

Vastavalt sellele võime eristada liugehõõrdumisel 6 hõõrdumise olekut.

1) Puhahõõrdumine. Puhahõõrdumise olukorda iseloomustab igasuguste lisandite (adsorbeeritud vedelikud, gaasid jne.) täielik puudumine hõõrduvatel pindadel. Praktiliselt sellist olukorda seadmetes kunagi ei esine. Võimalik on selle saavutamine vaakumis.

2) Kuivhõõrdumine. Kuivhõõrdumine esineb juhul, kui pindade vahel puuduvad määrdeained ja ka igasugused mustusosakesed. Kuivhõõrdumisel toimub hõõrduvate paaride pindade vastastikune vigastumine (kraapimine). Hõõrdejõud oleneb peamiselt hõõrduvate pindade iseloomust, nende füüsikalisest olukorrast (ebatasasused, mustumine), survest nende vahel ja pindade suurusest.

3) Piirhõõrdumine. Piirhõõrdumise olukorras on hõõrduvad pinnad teineteisest eraldatud väga õhukese määrdeaine kilega, mille paksus võib olla 0,1 mikronit ja veelgi vähem. Sel puhul pole määrdeaine kohta enam rakendatavad tavaliselt märgatavad seaduspärasused. Sellise õhukese määrdeaine kile korral on tema molekulid molekulaarjõudude toimel seotud hõõrduvate pindadega ja on kaotanud oma tavalise liikuvuse. Piirhõõrdumise olukord on tegelikkuses sageli esinev olukord, kuna alati on kõva keha pindadel olemas õhukene kile õhust adsorbeeritud ainetest. See moodustunud kile vähendab hõõrdeegurit, kusjuures hõõrdeegur sellise kile paksuse suurenemisel väheneb.

4) Vedelikuline hõõrdumine. Vedelikulist hõõrdumist iseloomustab olukord, kus hõõrduva paari pinnad on teineteisest vedeliku- (määrdeaine-) kihiga täielikult eraldatud. Seetõttu ei ole ka vaadeldava paari kulumine paari poolte otsese kokkupuute teel võimalik. Samuti ei mõjuta järelikult ka vaadeldava paari materjalid hõõrdeeguri suurus. Eelmärgitud põhjustel püütaksegi alati paaris tapp—laager luua vedelikulise hõõrdumise olukorda.

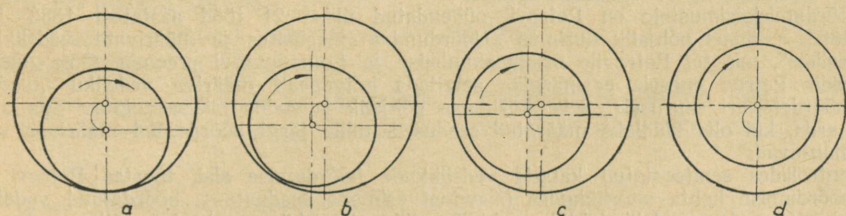
5) Poolkuiv hõõrdumine. Sel juhul esinevad samaaegselt piir- ja kuivhõõrdumine.

6) Poolvedelikuline hõõrdumine. Sellele vastab olukord, mis tekib kas vedelikulise ja kuivhõõrdumise või vedelikulise ja piirhõõrdumise samaaegsel esinemisel.

Viimased kaks olukorda võivad sageli esineda, eriti siis, kui määrdeaine hulk ei ole küllaldane või koormus tapile on liiga suur. Ka tapi pikaajaline seismine, kus tapile mõjuva koormuse tõttu määrdeaine on suures osas tapi ja laagri vahelt välja surutud, võib põhjustada mittevedelikulise hõõrdumise olukorra tekkimist.

## 2. Vedelikuline hõõrdumine paaris tapp—laager. Määrimise hüdrodünaamiline teooria.

Vedelikulise hõõrdumise puhul paaris tapp—laager oleneb hõõrde teguri suurus kasutatava määrdeaine sisehõõrdumise suuruselt, s. o. määrdeaine viskoossusest. Kuna takistus vedelikkude sisehõõrdumisest on tuntavalt



Joon. 24.

väiksem hõõrdejõududest mittemääritud või ka vähemääritud paari puhul, kus esineb kuivhõõrdumine, poolkuiv või poolvedelikuline hõõrdumine, siis on hõõrdekadude ja kulumise vähendamiseks alati vajalik püüda luua paaris tapp—laager (laagrisõlmes) vedelikulise hõõrdumise olukord. Soodsalt valitud režiimi ja õige konstruktsiooni puhul on see olukord ka saavutatav. Peale ülalmainitud eeliste — hõõrdekadude ja kulumise vähenemine laagrisõlmes — võimaldab vedelikulise hõõrdumise olukord lubada ka tapile suuremaid koormusi, vähendada õli kulu ja tõsta sõlme töökindlust.

Et võimaldada tapi pöörlemist laagrikausis ja määrdeaine kasutamist, jäetakse valmistamisel tapi ja laagrikausi vahele selleks küllaldane lõtk. Tapi seismisel ja määrdeaine puudumisel oleks tapi ja laagri vaheliseks ekstsentrilisuseks lõtku suurus (joon. 24, a). Tapi pöörlemisel laagris, kus tapi ja laagri vahele juhitakse küllaldaselt õli, tapi asend laagri tsentri suhtes muutub (joon. 24, b, c ja d). Määrdeaine tungib tapi ja laagrikausi vahele kiilutaoliselt, mistõttu tapile rakendatud välisjõud võetakse kiilu teraviku poole liikuva õli poolt vastu, s. t. paaris tapp—laager tekkinud õlikiil omab tapi töötamisel teatud kandevõime. Tekkiva ekstsentrilisuse suurus oleneb tapi kiirusest, tapile mõjuvast koormusest, määrdeaine viskoossusest, radiaalsest lõtkust ja tapi mõõdetest. Kuna ekstsentrilisuste antud suuruste juures oleneb tapi pöörlemise kiirusest (pöörete

arvust), vähenedes tapi kiiruse suurenemisel, siis järeldub, et sõlme antud konstruktsiooni ja koormuse juures peab tapi pöörete arv olema küllalt suur, et kindlustada tapi küllaldast eemaldumist laagrikausist vedelikulise hõõrdumise olukorra tekkimiseks. Kuna tapp töötab siin kui õlipump, tuues järjest õli juurde, peab antud režiimil vedelikulise hõõrdumise saavutamiseks olema kasutatud ka kindel õli hulk; vähese õli hulga puhul ei suuda tekkiv õlikiil tapi koormust vastu võtta ja tekib poolvedelikuline või poolkuiv hõõrdumine.

Nagu ülaltoodust selgub, on tapi ja laagri koostöötamise probleem hüdrodünaamiline probleem. Geniaalse vene teadlase Nikolai Pavlovitš Petrovi (1836—1920) poolt loodud määrimise hüdrodünaamiline teooria annab võimaluse nimetatud probleemi lähemaks käsitlemiseks.

Nikolai Petrov sündis 13. mail 1836. a. Trubtševski linnas, endises Orlovi kubermangus. Pärast lipniku aukraadi saamist a. 1855 astus Petrov Nikolai Inseneride Akadeemiasse, kus tal avanes võimalus õppida kuulsa vene matemaatiku M. Ostrogradski juures. Pärast Akadeemia lõpetamist võimaldus Petrovil prof. I. Võšnegranski juhtimisel end täiendada ka rakendusmehaanikas.

Hõõrdumisküsimustele on Petrovil pühendatud üldse 21 tööd aastatest 1882—1905. Juba 1883. a. ilmus põhjalik uurimus „Hõõrdumine masinates ja määriivate vedelikude mõju sellele”, mis tõi Petrovile maailmakuulsuse ja Lomonosovi preemia. Oma uurimuses seadis Petrov enesele eesmärgiks selgitada kõigepealt määriiva vedeliku omaduste mõju hõõrdeteguri suurusele. Selle küsimuse põhjalik lahendus oli saavutatav aga ainult pärast seda, kui olid kindlaks määratud seadused, mille järgi hõõrdejõud määrivas vedelikus muutuvad.

Kontrollides seniteostatud katseid vedelikude hõõrdumise alal, tõestas Petrov seaduse hõõrdumise kohta vedelikudes (Newtoni esimene seadus — hõõrdejõud vedelikus on proportsionaalne vedelikukihtide suhtelise liikumise kiirusega) ja näitas, et kõik vasturääkivused senistes tulemustes olid tingitud laminaarse voolamise tingimuste rikkumisest.

Käsitledes edasi hõõrdumisest määrimisel, võttis Petrov vaatlusele masinates enamlevinud hõõrdesõlme, paari tapp-laager. Laagrisõlme vaates Petrov kahe kontsentriilise silindrina, mis on lahutatud õhukese määrideaine kihiga. Lähtudes valitud tingimustest, osutus nüüd võimalikuks arvutada vedeliku hõõrdumise mõju tappi pööravate välisjõudude momendile. Selle küsimuse lahenduse tulemusena avaldaski Petrov hõõrdumisest määrimisel. Edasi määras Petrov tingimused tapi ja laagri vahelise ekstsentrilisuse tekkimiseks ja hindas ekstsentrilisuse mõju lõppresultaadile.

Hoolimata tugevast matemaatilisest koolist, ei suutnud Petrov anda koostatud hüdrodünaamilise põhivõrrandi lahendust. Määrimise hüdrodünaamilise teooria küsimusi aitasid Petroviga aga samaaegselt edasi viia veel kaks kuulsat vene teadlast — N. Zukoovski ja S. Tšaplõgin. 1904. aastal õnnestuski Zukoovskil koos Tšaplõginiga lahendada Petrovi poolt seatud ülesanne määriiva vedeliku liikumisest kahemõõtelises ruumis (eeldatud oli siin lõpmata pikka laagrit). Zukoovski poolt on selgitatud ka tapi ja laagri ekstsentrilise asetuse vajadus tappi tõstva jõu tekitamiseks (1886. a.).

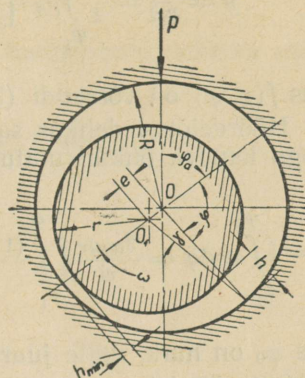
1900. a. avaldas Petrov oma määrimise hüdrodünaamilise teooria rohkem laiendatud kujul. Saadud võrrand määrab määrimisoleku olenevuse tapi ja laagri telgede suhtelisel asendil, samuti tapi ja laagri läbimõõtude erinevusest.

N. Petrov on avaldanud hulgaliselt töid ka mitmelt teiselt alalt, eriti seoses raudteedega (liikumistakistus raudteel, veduri kütuste kulunormid, rööbaste tugevus, pidurisüsteemide arvutus jpm.). Petrovi üldisel ideelisel juhtimisel viidi lõpule suure Siberi raudtee ehitamine. Terves reas oma kõnedes ja artiklites avaldas Petrov oma vaateid tehnilise hariduse kohta.

N. Petrovi hindas tema kaasaegne teadusemaailm kõrgelt. Petrov oli valitud Teaduste Akadeemia ja Meditsiinilise Akadeemia auliikmeks, samuti ka paljudes teaduslikes ühingutes ja kõrgemates koolides.

Kaasaegne määrimise hüdrodünaamiline teooria selgitab liugelaagris esinevaid nähtusi praktilise kasutamise seisukohalt küllaldase täpsusega. Tulemuste saamisel on tehtud terve rida lihtsustusi ja oletusi, nimelt:

- 1) õli liikumist laagris loetakse laminaarseks;
- 2) õli kokkusurutavust ei võeta arvesse;
- 3) raskus- ja inertsjõude ei võeta arvesse, kuna nende suurus õlis tekkivate hüdrodünaamiliste jõududega võrreldes on väga väike;
- 4) õli viskoossust laagris loetakse konstantseks;
- 5) tapp ja laagrikauss on ideaalselt siledad ja ümmarguse ristlõikega;
- 6) kapillaarjõudude mõju ei võeta nende väiksuse tõttu arvesse;
- 7) hõõrduvate pindade muutumist kulumise ja elastsete deformatsioonide tagajärjel ei võeta arvesse;
- 8) õli märgab tappi ja laagrikaussi, pinnalised nähtused vedeliku ja kõva keha piiril ei mõjuta õli kiirust lõtkus.



Joon. 25.

Põhilised esinevad suurused on toodud kooskõlas joonisega 25 alamal:

$\delta = R - r$  on tapi ja laagrikausi vaheline radiaalne lõtk;

$A = 2\delta = D - d$  — tapi ja laagrikausi vaheline diametraalne lõtk;

$\psi = \frac{\delta}{r} = \frac{A}{d}$  — suhteline lõtk;

$e = \delta - h_{min}$  — absoluutne ekstsentrilisus;

$\chi = \frac{e}{\delta}$  — suhteline ekstsentrilisus; tema väärtused võivad esineda vahemikus  $0 \leq \chi \leq 1$ : kui  $\chi = 0$ , siis tapi tsenter langeb kokku laagri tsentriga ja õlikihi kiilutauline kuju kaob; kui  $\chi = 1$ , siis  $h_{min} = 0$ , s. t. tapp ja laagri puutuvad kokku.

Kasutades toodud tähiseid, saab polaarkoordinaatides avaldada kandva õlikihi mingis punktis, mis on määratud nurgaga  $\varphi$ , valitsevat rõhku järgmiselt:

$$p_\varphi = 6\mu \cdot \frac{\omega}{\psi^2} \left[ \int_{\varphi_1}^{\varphi} \frac{d\varphi}{(1 + \chi \cos \varphi)^2} - (1 + \chi \cos \varphi_0) \int_{\varphi_1}^{\varphi} \frac{d\varphi}{(1 + \chi \cos \varphi)^3} \right], \quad (3)$$

kus  $\mu$  on dünaamiline viskoossus;

$\omega$  — tapi nurkkiirus;

$\varphi_1$  — koordinaat, mis vastab rõhu algusele.

Selle võrrandi (3) integreerimiseks peab teadma integreerimise piire, tähendab — rõhipiirkonna ulatust.

Võrrandi (3) alusel on võimalik avaldada ka laagri kandevõimet:

$$k = \frac{P}{2rl} = \frac{1}{2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} p_{\varphi} \cdot [-\cos(\varphi + \varphi_a)] d\varphi = 3\mu \cdot \frac{\omega}{\psi^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f(\chi, \varphi) d\varphi, \quad (4)$$

kus  $f(\chi, \varphi)$  on võrrandi (3) järgi arvutatud  $p_{\varphi}$  suurus.

Hõõrdejõu vedelikus saab avaldada, summeerides kõik tangentsiaaljõud kogu kandva õlikihi ulatuses  $lr(\varphi_2 - \varphi_1)$ :

$$T = l \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \tau r d\varphi = \frac{3\omega\mu l r}{\psi} \left[ \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{(1 + \chi \cos \varphi) - (1 + \chi \cos \varphi_0)}{(1 + \chi \cos \varphi)^2} d\varphi + \frac{1}{3} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{1 + \chi \cos \varphi} \right], \quad (5)$$

kus  $\varphi_0$  on nurk, mille juures  $p = p_{max}$ .

Siit hõõrdetegur laagrisõlmes lõpmata pika laagri puhul

$$f = \frac{T}{P} \approx 1,7\psi \sqrt{1 - \chi} = 1,7\sqrt{\lambda} \quad (6)$$

ja lõpliku pikkusega laagri puhul

$$f = 1,7 \sqrt{\frac{4d}{l} + 1} \cdot \sqrt{\lambda}, \quad (7)$$

kus  $\lambda$  on režiimi karakteristik:

$$\lambda = \psi^2(1 - \chi) = \frac{\mu\omega}{k}. \quad (8)$$

Võrrandit (4) võib kirjutada ka kujus

$$k = \frac{\mu\omega}{\psi^2} k', \quad (9)$$

kus  $k'$  moodustab funktsiooni  $k' = f(\chi)$ , mis oleneb ainult tapi asendist laagris. Sagedamini esinevate  $\chi$  väärtuste jaoks ( $\chi \geq 0,5$ ) on küllaldaselt täpne kasutada seost

$$k' = \frac{1,04}{1 - \chi}. \quad (10)$$

Võrrandist (9) järeldub, et  $k'$  väärtus, mis iseloomustab tapi asendit laagris, oleneb suurel määral režiimi karakteristikast  $\frac{\mu\omega}{k}$  ja lõtkust  $\psi$ .

Praktilisteks arvutusteks on sobivam kasutada pöörete arvu kaudu avaldatud režiimi karakteristikat

$$\frac{\mu n}{k}$$

Suurus  $1 - \chi$  võrduses (10) on avaldatav laagripaaris tekkiva minimaalse lõtku  $h_{min}$  kaudu:

$$1 - \chi = 1 - \frac{e}{\delta} = \frac{\delta - e}{\delta} = \frac{h_{min}}{\delta} = \frac{h_{min}}{r\psi},$$

järelikult

$$k = \frac{1,04 \mu \omega r}{\psi h_{min}};$$

lõpliku pikkusega laagri jaoks

$$k = \frac{1,04 \mu \omega r}{c\psi h_{min}}, \quad (11)$$

kus  $c = 1 + \frac{d}{l}$  on katseliselt leitud parandustegur.

Võrdusest (11) saame, et

$$h_{min} = 0,52\lambda \cdot \frac{d}{\psi c} = 0,52 \frac{\mu \omega}{k} \cdot \frac{d}{\psi \left(1 + \frac{d}{l}\right)}, \quad (12)$$

tähendab, minimaalse lõtku suurus (õlikihi minimaalne paksus) on võrdeline tapi läbimõõduga  $d$ , tapi geomeetrilise karakteristikaga  $l/d$ , režiimi karakteristikaga  $\lambda$  ja pöördvõrdeline suhtelise lõtkuga  $\psi$ . Antud laagrisõlme puhul ( $l/d = \text{const}$  ja  $\psi = \text{const}$ ) oleneb  $h_{min}$  otseselt režiimi karakteristikast  $\lambda$ . Tuleb meenutada, et ülaltoodu on õige ainult  $\chi \geq 0,5$  puhul. Dimensioonideks valemis (12) on:  $\mu$  [kgsek/m<sup>2</sup>],  $\omega$  [sek<sup>-1</sup>],  $k$  [kg/m<sup>2</sup>],  $d$ ,  $l$  ja  $k$  on samades pikkusühikutes.

Õlikihi paksust, mille juures tekib tapi ja laagrikausi otsene kokkupuude, s. o. paksust, mille juures kaob vedelikulise hõõrdumise olukord, nimetame õlikihi kriitiliseks paksuseks  $h_{kr}$ . Vedelikulise hõõrdumise esinemiseks peab olema rahuldatud tingimus, et antud režiimil tekkiva minimaalse lõtku suurus  $h_{min}$  peab olema suurem õlikihi kriitilisest paksusest, s. o.

$$h_{min} > h_{kr}. \quad (13)$$

Õlikihi kriitilisele paksusele  $h_{kr}$  vastab kindel režiimi karakteristika kriitiline suurus  $\lambda_{kr}$ . Suhe

$$\alpha = \frac{h_{min}}{h_{kr}} = \frac{\lambda}{\lambda_{kr}}$$

iseloomustab laagri töökindlust, kusjuures töökindluse tegur  $\alpha$  peab olema alati suurem kui 1. Kui režiimi karakteristika teguritest  $\mu$ ,  $\omega$ ,  $k$  on kaks

ette antud, siis kolmanda valik on piiratud tema kriitilise väärtusega, mille juures toimub pideva õlikihi katkemine  $h_{min}$  kohal.

Õlikihi kriitiline paksus  $h_{kr}$  oleneb suurel määral tapi ja laagrikausi pinnasiledusest, tähendab, töötlemisest. Minimaalne õlikihi paksus peab olema alati suurem tapi ja laagrikausi ebatasasuste summast  $\delta_1 + \delta_2$ , s. t.

$$h_{min} > \delta_1 + \delta_2.$$

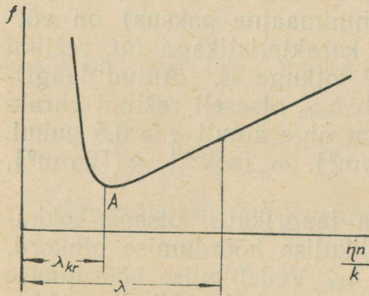
Võlli ja laagrikausi maksimaalsete ebatasasuste suuruste kohta võib kasutada tabeli 19 andmeid:

Tabel 19.

Maksimaalsete ebatasasuste suurus, olenevalt töötlemisviisist.

Jämetreimine . . . . .	60—200	mikronit
Puhastreimine . . . . .	6—40	„
Teemandiga treimine . . . . .	0,8—3	„
Jämelihvimine . . . . .	6—10	„
Peenlihvimine . . . . .	0,8—3	„
Kaabitsemine, 1—1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> jälge 1 cm <sup>2</sup> -l . . . . .	16—40	„
„ „ 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —3 „ 1 „ . . . . .	6—16	„
„ „ 3—5 „ 1 „ . . . . .	2,5—6	„

Õlikihi kriitilise paksuse  $h_{kr}$  arvutamine on võimalik ainult üksikutel juhtudel, kuna peale tapi ja laagrikausi ebatasasuste oleneb ta ka veel tapi ja laagrikausi geomeetrilise kuju täpsusest, võlli võimalikust läbipaindumisest, laagri temperatuursest deformatsioonist, õlis leiduvate tahkete osakeste suurusel jne. Seetõttu tuleb sageli  $h_{kr}$  suurus anda ette, lähtudes töös sobivateks osutunud suurustest. Vajaliku  $h_{min}$  suurus on tavaliselt piirides 0,01 kuni 0,02 mm. Väga heade tingimuste puhul (täpne töötlemine, puhas õli jne.) võib  $h_{min}$  olla tublisti väiksem, piirides 0,002—0,005 mm.



Joon. 26.

Andmeid  $h_{kr}$  väärtuse kohta võib leida aga iga tüüpi laagri jaoks katseliselt. Hästi saab määrata õlikihi kriitilist paksust joonisel 26 toodud tüüpi diagrammist, kus on määratud hõõrdeteguri  $f$  muutumine olenevalt režiimi karakteristikast  $\lambda = \mu n/k$ . Võrrandi (6) kohaselt

$$f = 1,7 \sqrt{\lambda} = 1,7\psi \sqrt{1 - \chi} = 1,7 \sqrt{\frac{\psi}{r}} \cdot \sqrt{h_{min}},$$

tähendab, hõõrdetegur on võrdeline minimaalse lõtku  $h_{min}$  suurusel, järelikult  $h_{min}$  vähenemisel väheneb vedelikulisel hõõrdumisel ka  $f$ . Mittevadelikulise hõõrdumise olukorra saabumisel ei ole see seos enam kehtiv ja

hõõrdetegur hakkab  $h_{min}$  vähenemisel kasvama. Selliseks pöördepunktiks hõõrdeteguri muutumisel on joonisel 26 punkt  $A$ . Punkti  $A$  asukoht määrabki ära kriitilise suuruse režiimi karakteristikale, järelikult ka  $h_{min}$  suurusel, mis vastab õlikihi kriitilisele paksusele.

Analüüsides toodud diagrammi lähemalt, võib järeldada, et vedelikuline hõõrdumine on määrimise püsiv faas. Kui näiteks laagri töötemperatuur mingil põhjusel tõuseb, siis õli viskoossus väheneb ja väheneb ka  $\lambda$ . Kuid samaaegselt väheneb ka hõõrdetegur, koos hõõrdetöö vähenemisega alaneb ka laagri temperatuur, püüdes saavutada oma endist suurust. Samalaadseid arutlusi võib läbi viia ka tapi töökiiruse ja erisurve muutumise kohta. Selsamal põhjusel ongi õigesti konstrueeritud ja küllalt suure töökindluse teguriga liugelaagrid režiimi väikeste muudatuste juures vägagi töökindlad. Poolvedelikuline hõõrdumine on aga määrimise mittepüsiv faas. Siin viskoossuse vähenedes režiimi karakteristikava väheneb ja hõõrdetegur suureneb, tuues kaasa hõõrdetöö suurenemise ja laagri kiire ülekuumenemise. Soodsalt mõjub laagri režiimile poolvedelikulise hõõrdumise olukorras tapi pöörlemiskiiruse tõstmine, mis toob endaga kaasa hõõrdeteguri kiire vähenemise ja ülemineku vedelikulise hõõrdumise olukorda. Sellega on seletatav ka käivitamisel esineva mittevedelikulise määrimise väheseaegne mõju.

Arvutuste teostamisel on hõlpus kasutada alltoodud suurusi järgmiste dimensioonidega:  $h_{min}$ ,  $d$ ,  $l$ ,  $\Delta$  — millimeetrites,  $\mu$  — sentipuaasides,  $k$  —  $\text{kg/cm}^2$ ,  $n$  —  $\text{p/min}$ . Vastavalt sellele saame valemi (12) kujus

$$h_{min} = 55 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\mu n}{k} \cdot \frac{d}{\psi \left(1 + \frac{d}{l}\right)} = 55 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\mu n}{k} \cdot \frac{d^2}{\Delta \left(1 + \frac{d}{l}\right)} \quad (14)$$

ja vastavalt ka

$$h_{kr} = 55 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\mu n}{k}\right)_{kr} \cdot \frac{d^2}{\Delta \left(1 + \frac{d}{l}\right)} \quad (15)$$

Samuti võib avaldada ka režiimi karakteristikava:

$$\lambda = \frac{\mu n}{k} = 18 \cdot 10^8 \cdot \frac{h_{min} \Delta \left(1 + \frac{d}{l}\right)}{d^2} \quad (16)$$

ja

$$\lambda_{kr} = \left(\frac{\mu n}{k}\right)_{kr} = 18 \cdot 10^8 \cdot \frac{h_{kr} \Delta \left(1 + \frac{d}{l}\right)}{d^2} \quad (17)$$

Hõõrdetegur laagris

$$f = 3,36 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{d}{\Delta} \cdot \frac{\mu n}{k} + 0,55 \left(\frac{d}{l}\right)^{1,5} \cdot \frac{\Delta}{d}, \quad (18)$$

kus liige  $(d/l)^{1,5}$  tuleb valemisse ainult juhul, kui  $(l/d) < 1$ .

Määramise hüdrodünaamilise teooria alusel teostatava arvutuse võib läbi viia järgmise meetodika kohaselt:

1) Hinnatakse ette õlikihi kriitiline paksus  $h_{kr}$ , võttes aluseks tööpin-  
dade siledust, töötlemise täpsust, võimalikke deformatsioone, õli puhtust  
jne. Tavaliselt  $h_{kr} = 0,005-0,025$  mm.

2) Olenevalt töörežiimist ja eksploatatsiooni tingimustest valitakse  
laagri töökindluse tegur  $\kappa$ . Tavaliselt  $\kappa = 1,5-10$  (erandjuhtudel 15).

3) Hinnatakse ette laagri temperatuur ja määratakse sellele vastavalt  
õli dünaamiline viskoossus  $\mu$ .

4) Määratakse laagri läbimõõt ja absoluutne diametraalne lõtk  $\Delta$ . Vii-  
mane valitakse vastavalt OCT-i süsteemis kehtivatele suurustele.

Tingimus, mis määrab lubatava minimaalse lõtku suuruse, on toodud  
varem: minimaalne õlikihi paksus peab olema alati suurem tapi ja laagri-  
kausi ebatasasuste summast.

5) Vastavalt diameetritele ja absoluutsele diametraalsele lõtkule määra-  
takse kriitilise režiimi karakteristik  $\lambda$  [v. (17)]. Tabelis 20 on toodud  
mõned kriitilise režiimi karakteristik väärtused laagritele plastilistest  
laagrimaterjalidest, suhtelise lõtkuga  $\psi = 0,001$ , ja kõvadest laagrimater-  
jalidest, suhtelise lõtkuga  $\psi = 0,0015$ .

Tabel 20.

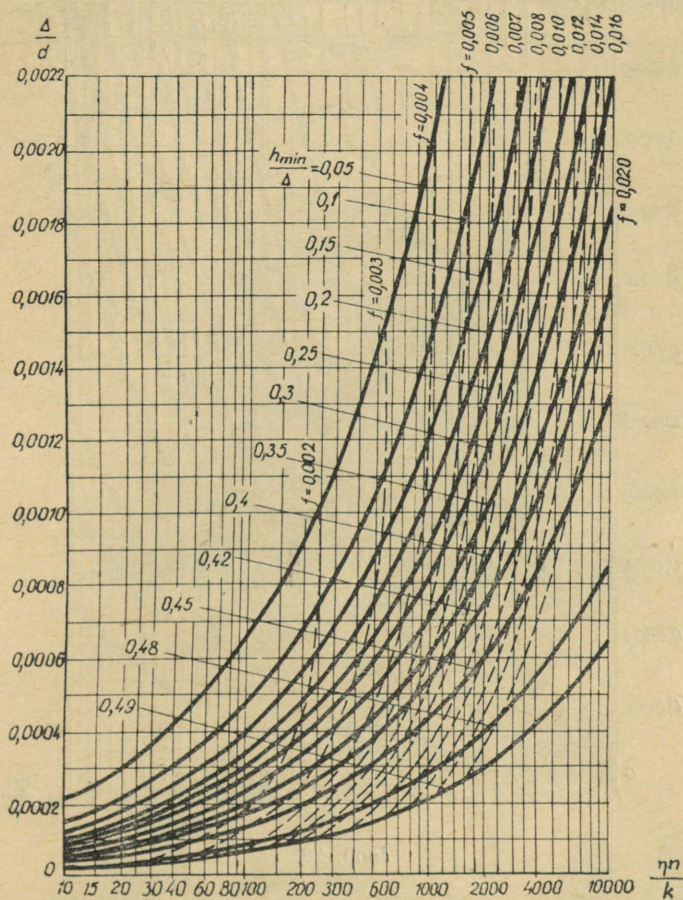
T a p p	L a a g r i k a u s s		
	babiidist	plastilistest pronksist (Pb > 12%, Sn ≤ 7%)	kõvast pronksist
Terasest, karastatud, lihvitud	285	425	570
Terasest, termiliselt töötlemata, puhtalt töödeldud	355	500	710

6) Arvutatakse tegeliku režiimi karakteristik  $\lambda$  ja kontrollitakse laagri  
töökindluse teguri  $\kappa$  tegelikku suurust. Kui töökindluse teguri suurus ei  
vasta punktis 2 valitud suurusele, tuleb muuta paari tapp—laager töö-  
tingimusi. Töökindluse teguri väärtus suureneb pöörete arvu suurenemisel,  
suurema viskoossusega õli kasutamisel, tapi nilimõõdu või tapi geo-  
meetrilise parameetri suurendamisel,  $h_{min}$  vähendamisel.

Joonisel 27 on toodud kõverad õlikihi minimaalse paksuse  $h_{min}$  ja  
hõõrdeteguri  $f$  leidmiseks, kui tapi geomeetriline parameeter  $\frac{l}{d} = 1$ , joo-  
nisel 28 — tapile geomeetrilise parameetriga  $\frac{l}{d} = 1,5$ . Mõlemad graafi-  
kud vastavad laagreile, milles õli kandev kiht on piiratud kaarega  $120^\circ$ .

\*

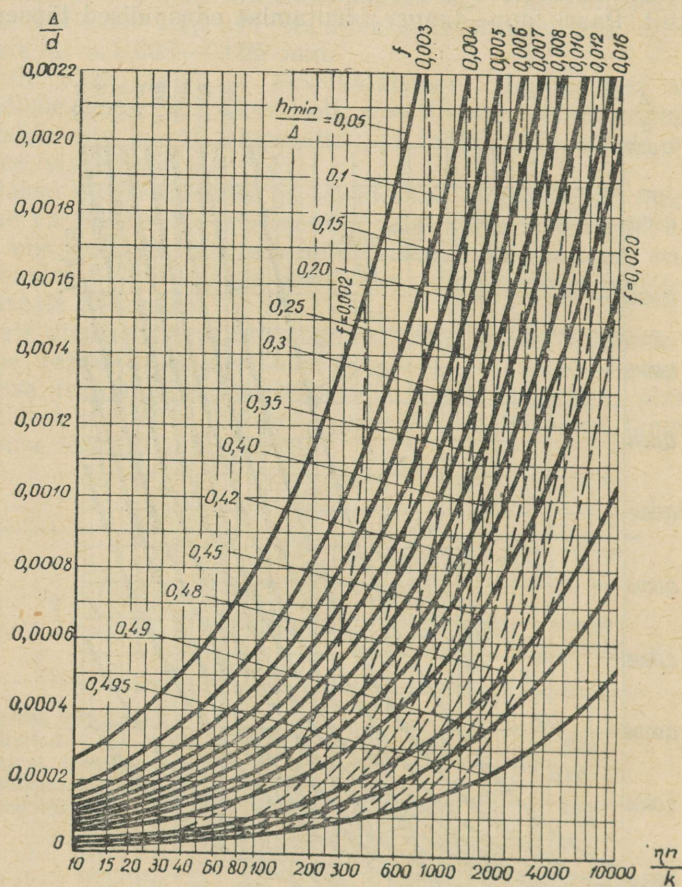
Eeltoodud meetodika on üks mitmetest võimalikest variantidest paari tapp—laager arvutamiseks ja on küllaldasel määral ka praktiline. Hoolimata õige mitme kasutatava meetodika olemasolust, ei rahulda neist siiski ükski täielikult. Paari tapp—laager arvutamise edaspidised täpsemad mee-



Joon. 27.

todid peavad andma võimalusi liugelaagrite laialdaseks ja seejuures täpseks arvutamiseks ja omavad ühtlasi suurt tähtsust ka teooria edasiseks täpsustamiseks. Rea ЦНИИТМАШ'i teaduslike töötajate töötulemusena on 1948. aastal avaldatud liugelaagrite arvutuse täpsustatud meetod, kus tulemusena on saadud graafikud, mis seovad laagri kandevõimet suhtelise ekstsentrilisusega tapi geomeetrilise parameetri kolmeteistkümne eri väärtuse puhul, graafik, mis võimaldab suhtelise ekstsentrilisuse (või ka õli-

kihi paksuse) kaudu määrata hõõrdeegurit ja õli kulu laagri koormatud osas jne. Nimetatud meetodika on esitatud tehn. tead. kand. D. Kodniri artiklis<sup>1</sup>.



Joon. 28.

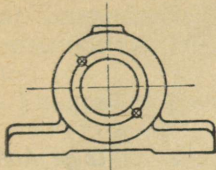
## II. LIUGELAAGRID.

### 1. Liugelaagrite klassifikatsioon.

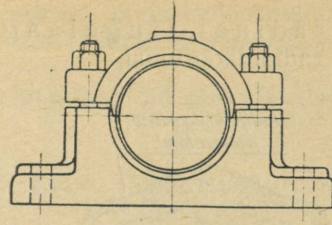
Liugelaager on ГOCT 3485-46 järgi defineeritud kui laager, mis kindlustab tapi pinna suhtelise libisemise temale vastava toe pinnal.

Laagri poolt vastuvõetava jõu suuna järgi jaotatakse liugelaagrid järgmiselt:

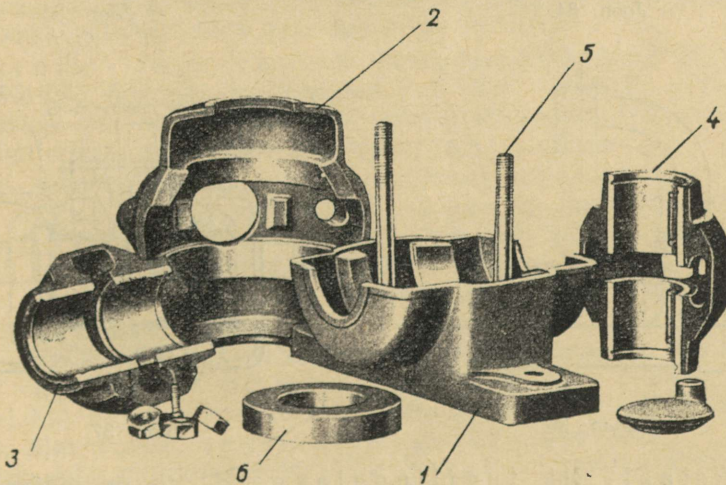
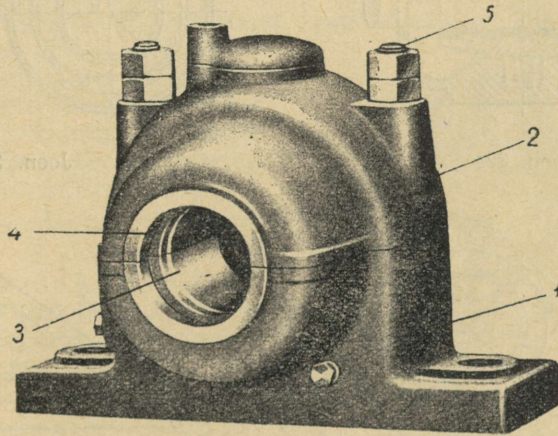
<sup>1</sup> Д. Ш. Коднир, Расчет грузоподъемности подшипников скольжения. ЦНИИТМАШ, кн. 13, Теория и расчет зубчатых передач и подшипников скольжения. Машгиз, 1948.



Joon. 29.

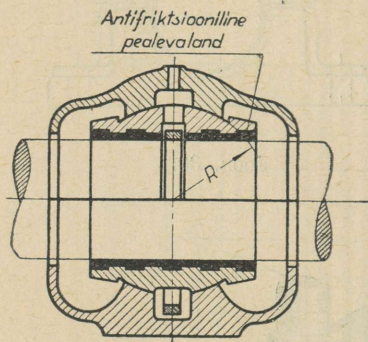


Joon. 30.

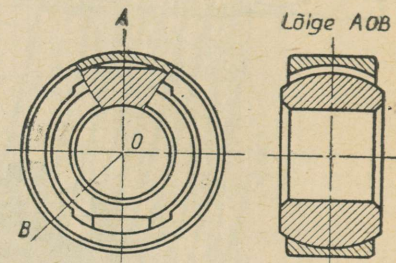


Joon. 31.

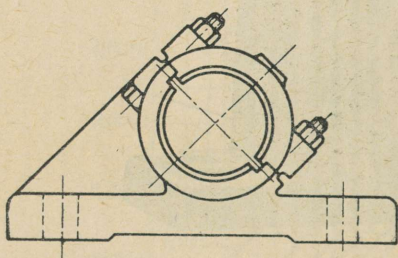
1) radiaal-liugelaagrid, mis on määratud vastu võtma peamiselt radiaalkoormusi,



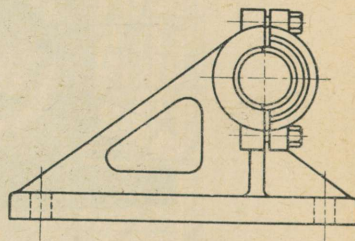
Joon. 32.



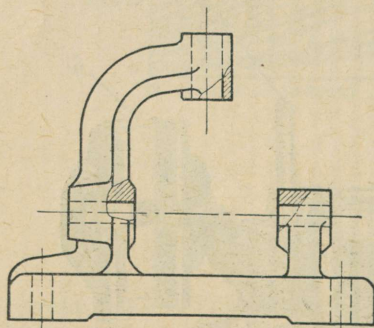
Joon. 33.



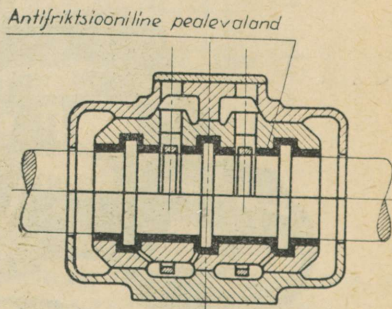
Joon. 34.



Joon. 35.



Joon. 36.



Joon. 37.

2) aksiaal- ehk tugiliugelaagrid, mis on määratud vastu võtma peamiselt aksiaalkoormusi. Konstruktiivselt on aksiaallaagrid pea-aegu alati ühendatud radiaallaagritega.

Transportmasinate pöörlevate telgede laagreid, mida iseloomustab tavaliselt radiaalne üles suunatud koormus, nimetatakse puksideks (ka pussid) (vagunipuksid jne.).

Konstruktiiivse kujundamise järgi võib liugelaagreid jaotada veel järgmiselt:

a) Laagrikere poolitatuse järgi:

1) mittepoolitatud liugelaagrid (joon. 29) — laagri kere on valmistatud ühes tükis;

2) poolitatud liugelaagrid (joon. 30) — laagri kere on valmistatud kahest eri detailist: laagri alusest (kere alumisest poolest) ja laagri kaanest (kere pealmisest poolest).

Joonisel 31 on toodud üks poolitatud liugelaagreid, mis koosneb laagri alusest 1, laagri kaanest 2, alumisest laagrikausist 3, ülemisest laagrikausist 4, pollidest 5 kaane kinnitamiseks alusele (kaanepoldid). Rõngas 6 kinnitatakse antud konstruktsioonis võllile määrdeõli toomiseks laagri alusesse moodustatud õlireservuaarist. (Liugelaagrite määrimisest vt. p. 4.)

b) Laagri iseseaduvuse võimaluse järgi:

1) mitte-iseseaduvad liugelaagrid, kus võlli läbipaindumise puhul tapi vastaspind (laagrikauss, puks) ei saa oma asendit muuta (joon. 29);

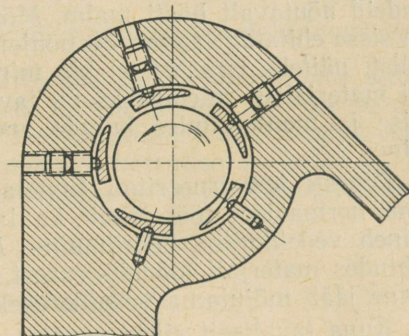
2) iseseaduvate laagrikaussidega liugelaagrid, kus kere ja laagrikausside kokkupuute pinnad võimaldavad laagrikausside telje nurk-ümberpaigutumist kere telje suhtes (joon. 32);

3) šarniir-liugelaagrid (iseseaduvad liugelaagrid), mis koosnevad sfäärilise õnaraga välisrõngast (või selle osadest) ja sfäärilisest siserõngast ja mis on peamiselt ette nähtud võlli perioodiliste mittesuurte ümberpaigutuste võimaldamiseks (joon. 33).

Laagri asendist alusel ja konstruktiivsest väliskujundusest olenevalt tuntakse erinimetuste all veel kaldlaagreid, kus kere poolituspind asetseb laagri toetuspinna suhtes kaldu (joon. 34), konsollaagreid, kus laagri kere on valmistatud nõjasega ühes tükis (joon. 35), laagrite plokk, kus mitme laagri alused või kered on valmistatud ühe tervikuna (ühes tükis) (joon. 36).

Kui laager on valmistatud koostöötamiseks kammtapiga, siis kannab ta kammlaagri (joon. 37) nimetust. Laagrit, kus õlikiilu tekkimine kindlustatakse vabalt liikuvate laagrikausside (patjade, segmentide) kasutamise, nimetatakse segmentlaagriks (joon. 38).

Liugelaagrite mitmesuguseid tüüpe kasutatakse masinaehituses vägagi laialdaselt. Ühest küljest on liugelaagrid hästi sobivad väga suurte, eriti dünaamiliste koormuste puhul, samuti väga suurte kiirustel, teisest kül-



Joon. 38.

jest on aga ka väikese vastutusrikkusega seadmetes liugelaagrite konstruksioon äärmiselt lihtsalt ja odavalt läbiviidav, seepärast leiavad nad ka seal väga laialdast kasutamist. Pärast liugelaagrite lähemat vaatlemist teeme liugelaagrite kasutamise võimaluste kohta põhjalikuma kriitikalise kokkuvõtte.

## 2. Liugelaagrites kasutatavad materjalid.

Kuna tapiga koostöötavaks elemendiks on laagrikauss, siis peamine tähelepanu liugelaagri materjali valikul tuleb pühendada just laagrikaussi materjalile. Laagri kere materjal tuleb valida selliselt, et ta suudaks taluda laagri langevat koormust ja et kere konstruktiivne kujundamine oleks küllalt otstarbekalt teostatav. Tavaliselt täidab neid ülesandeid nõutavalt hästi malm. Mõnel juhul näiteks, kui seade ise, millesse on sisse ehitatud laager, on põhjendatult valmistatud mingist teisest materjalist, näiteks terasest, ei ole mingit vajadust laagri kere valmistamiseks eri materjalist, tulemuseks on tavaliselt ikkagi seadme kallinemine töötlemise ja monteerimise kulude arvel ja seadme gabariitmõõdete suurenemine.

Õigesti konstrueeritud liugelaagri ja küllaldase määrimise puhul ei oma normaalsel töörežiimil ka laagrikaussi materjal erilist tähtsust, sest esineb vedelikuline hõõrdumine. Materjali valik tuleb sel juhul teostada lähtudes materjali töödeldavusest, saavutatavast pinnasiledusest, kuna viimane jääb mõjutama vedelikuliseks hõõrdumiseks vajaliku õlikihi paksust.

Kuna tavaliselt siiski seadme käivitamisel tuleb paaril tapp—laagrikauss läbida mittevedelikulise hõõrdumise staadium, omab laagrikaussi materjali, täpsemalt öeldes, tapi ja laagrikaussi materjalide, valik suurt tähtsust.

Nimetatud paari materjali valik omab tähtsust ka veel teisest seisukohast. Nimelt on suurte hõõrdekadude vältimiseks käivitamisperioodil ühelt poolt ja vedelikulise hõõrdumise režiimi kindlustamiseks teiselt poolt vajalik, et paar tapp—laagrikauss kiiresti kohanduks, s. t. et tapi ja laagrikaussi ebatasasused kiirelt ja soodsalt edasisele tööle väheneksid, — see kindlustaks laagris vedelikulise hõõrdumise esinemise ka töörežiimi halvenemisel.

Üldised nõuded laagrikaussi materjalide kohta on kokkuvõetavad järgmiselt. Laagrikaussi materjal peab olema:

- 1) küllaldase kandevõimega,
- 2) kiirelt kohanduv ja küllalt plastiline, et tagada koormuse ühtlast jaotumist kogu pinnale,
- 3) küllalt kulumiskindel (kuid kulumise esinemisel peab kuluma siiski laagrikauss, mitte tapp, sest esimese vahetamine on odavam),
- 4) väikese hõõrdeeguriga,
- 5) hästi õlimärgav, et tagada väiksemat kulumist,
- 6) kõrge sulamistäpiga, et vältida ka kõrgematel temperatuuridel suurt kõvaduse vähenemist või isegi laagrikaussi sulamist,

- 7) vähetundlik löögilisele koormusele,
- 8) hea soojusjuhtivusega,
- 9) kerge,
- 10) odav.

Laagrikausi materjale vaatleme neljas rühmas: a) metallisulamid; b) metallkeraamilised materjalid; c) plastmassid; d) kummi.

Üksikute materjalide kasutatavuse määrab paaris tapp—laager valitsev töörežiim (koormuse suurus ja iseloom, kiirus jms.). Alljärgnevalt käsitletud materjale ongi püütud iseloomustada kahe peamise suuruse, lubatava erisurve ja kiiruse piirnäitajate kaudu. Siinjuures suudavad maksimaalne lubatav erisurve  $q$  ja kiirus  $v$  üheskoos iseloomustada sõlmes valitsevat režiimi orienteeruvateks arvutusteks küllaldase kindlusega. Nende korrutis  $qv \left[ \frac{\text{kgm}}{\text{cm}^2 \text{ sek}} \right]$ , mis väljendab tööd ajaühikus laagri projektsioonipinna ühiku kohta, määrab orienteeruva piirväärtusena laagri kandevõime antud režiimil. Hinnatavamad on muidugi need piirväärtused, mis on toodud konkreetse laagritüübi kohta. Paralleelselt materjalide juures toodud andmetega lubatavate  $q$ ,  $v$  ja režiimi iseloomustava korrutise  $qv$  kohta vt. ka Masina-elementid V, *Tapid*, kus samuti on toodud andmeid nimetatud suuruste kohta.

#### a. Metallisulamid.

Metallisulameid kasutatakse laagrikausina kahel viisil: laagrikausiks sobivast sulamist on valmistatud kas kogu laagrikauss või kasutatakse sobivat sulamit ainult pealevalandina konstruktiivselt sobivale alusmaterjalile. Esimese mooduse kohaselt kasutatakse malmi, terast, pronksi, tsingisulameid, alumiiniumisulameid, kadmiumisulameid jt., pealevalandina leiavad kasutamist peamiselt babiidid, väiksemal määral ka tsingisulamid, seatinpronksid jne.

Malmi kasutatakse peamiselt tema heade antifriktsiooniliste omaduste tõttu, kuna malmis leidub vaba grafiiti, mis alandab hõõrdeegurit. Paar malm—malm (viimane on tapi materjal) on ka suure kuluvuskindlusega. Paaris malm—teras võib terasest tapp osutada pehmemaks malmist laagrikausist ja seetõttu ka kiiremini kuluda. Peamised kasutatavad margid on ЧЧ 12-28 ja ЧЧ 18-36, kusjuures tüüpiliselt malmidele võib neid kasutada ainult väikeste koormuste (erisurve  $q \leq 15 \text{ kg/cm}^2$ ) ja kiiruste ( $v \leq 2 \text{ m/sek}$ ) puhul. Nimetatud markide peamised omadused on toodud tabelis 21.

ЦНИИТМАШ'i poolt välja töötatud perliitsetest antifriktsioonilistest malmidest leiavad kasutamist margid ЧЧ11 ja ЧЧ12, mis sisaldavad С, Si, Mn kõrval ka Cr (0,2—0,35%) ja Ni (0,3—0,4%), esimene veel ka Cu (0,20—0,30%) ja Al (0,10—0,15%).

Tabel 21.

Antifriksioonilised malmid<sup>1</sup>.

Malmi mark ГОСТ B-1412-42	Valandi soo- vitav paksus mm	Brinelli kõ- vadus H <sub>B</sub> kg/mm <sup>2</sup>	Keemiline koostis %						Mehaanilised omadused kg/mm <sup>2</sup>		
			C <sub>üld</sub>	C <sub>seot</sub>	Si	Mn	P	S	$\sigma_{bt}$	$\sigma_{bp}$	$\sigma_{bs}$
CЧ 12-28	< 20	130— 150	3,4— 3,5	≤ 0,2	≤ 2,0	0,4— 0,6	0,7— 0,9	≤ 0,1	12	28	50
CЧ 18-36	15—30	170— 200	3,2— 3,6	0,5— 0,6	2,2— 2,4	0,6— 0,8	0,15— 0,2	≤ 0,12	18	36	67

Malm ei sobi löögiliste koormuste puhuks. Võlli läbipaindumine põhjustab mitte-iseseaduvate laagrite puhul laagri servade märgatavalt suurt sööbimist, kuna malm ei oma küllaldast plastilisust.

Laagrikausi materjalina leiab kasutamist ka spetsiaalne perliitne tempermalm vase- ja mangaanisaldusega (1,0% Cu, 0,95—1,35% Mn), omades suurt korrosioonikindlust, või ka vanaadiumiga legeeritud tempermalm ( $H_B = 210$  kg/mm<sup>2</sup>). Korrosiooni- ja kulumiskindluse tõstmiseks kasutatakse ka termiliselt töödeldud (karastamine õlis ja noolutamine) modifitseeritud malmi (CMЧ 38-60).

Teras laagrikausi materjalina leiab kasutamist harvemini. Teras sobib kasutamiseks muutuvasuunalise koormuse puhul suurtel koormustel ( $q \leq 250$  kg/cm<sup>2</sup>). Kuna teras töötamisel kohandub väga aeglaselt, peab teraseid kasutama väga hästi töödeldult, lihvitult. Konstruktiivselt kasutatakse terast peamiselt puksidena laagrikeresse asetamiseks.

Pronksidest (vase sulamid tina või mõne teise metalliga, välja arvatud tsink) kasutatakse peamiselt tina- ja seatinapronkse. Seatina- (Pb) sisalduse tõusuga paranevad antifriksioonilised omadused, kuluvuskindlus tõuseb, plastilisus ja mehaaniline tugevus aga vähenevad. Tina- (Sn) sisaldus tõstab vastupanu väsimusele, vähene fosfori lisamine (< 1%) võimaldab vähendada hõõrdeegurit. Seatinapronks omab laagrimaterjalidest suurima soojusjuhtivuse ja tema omadused ei muutu ka küllalt kõrgetel temperatuuridel. Seatinapronksidel ei lange vasesisaldus tavaliselt alla 70—80%.

Pronkse kasutatakse suurte koormuste ja kiiruste puhul (näit. lennuki- ja tankimootorid, diiselmootorid jms.). Kuna ka pronks on halvasti kohanduv, siis tuleb tapp vigastuste vältimiseks valmistada suure pinnakõvadu- sega (karastatud teras,  $H_B > 250$  või perliitne malm).

Antifriksiooniliste tinapronkside margid on toodud tabelis 22.

Antifriksiooniliste seatinapronkside margid on Br.C30 (27—33% Pb) (madalate mehaaniliste omaduste tõttu kasutatakse ainult pealevalandina malm- või teraskerele) ja Br.CH60-2,5 (57—63% Pb, 2,25—2,75% Ni).

Teistest tinata pronksidest kasutatakse eriti suurte koormuste ja suurte kiiruste puhul ka alumiiniumpronkse.

<sup>1</sup> Toodud markide tähistustes annab esimene arv tõmbetugevuse, teine paindetugevuse kg/mm<sup>2</sup>.

Tabel 22.

## Antifriktsioonilised tinapronksid.

Pronksi mark ГОСТ 613-41	Brinelli kõvadus H <sub>B</sub> kg/mm <sup>2</sup>	Keemiline koosseis % (ülejäak Cu)						Mehaanilised omadused	
		Sn	Zn	Pb	Sb	Fe	Al	$\sigma_{bt}$ kg/mm <sup>2</sup>	$\delta_5$ %
					kuni				
Bp. OIIC 6-6-3	< 60	5,0—7,0	5,0—7,0	2,0—4,0	0,5	0,4	0,05	15	6
Bp. OIIC 5-5-5	< 60	4,0—6,0	4,0—6,0	4,0—6,0	0,5	0,4	0,05	18	4
Bp. OIIC 4-4-17	< 60	3,5—5,5	2,0—6,0	14,0—20,0	0,5	0,4	0,05	15	5

Tsingisulamite kasutamine nõuab ühtlast koormust, head määrimist, nad on halvasti kohanduvad (tuleb kasutada tapi suurt pinnakõvadust). Kasutamist leiavad tsingisulamid edukalt suurtel nii löögilistel kui ka vibratsioonilistel koormustel, suurtel kiirustel. Tapi kiirusel  $v \leq 3$  m/sek võib lubada erisurvet laagris 50—60 kg/cm<sup>2</sup>, kiirusel kuni 6 m/sek — erisurvet 20—25 kg/cm<sup>2</sup> ja rohkem.

Tsingisulamite koostise iseloomustavamate näidetena toome kaks: 1) 5% Cu, 10% Al, ülejäanu Zn;  $\sigma_b = 30$  kg/mm<sup>2</sup>, H<sub>B</sub> = 100, 2) 10% Cu, 5% Al, ülejäanu Zn;  $\sigma_b = 30$  kg/mm<sup>2</sup>, H<sub>B</sub> = 117.

Messingid (vase ja tsingi sulamid) võimaldavad paari tapp-laager kiiret kohandumist ega vigasta tappi ja on seetõttu tinapronkside headeks asendajateks. ГОСТ 1019-47 järgi on laagrikausi materjaliks kasutatavad mangaanseatinamessing ЖМnС58-2-2 (57—60% Cu, 1,5—2,5% Mn, 1,5—2,5% Pb;  $\sigma_b = 25—35$  kg/mm<sup>2</sup>, H<sub>B</sub> = 70—80) ja siliitsiumseatinamessing ЖКС80-3-3 (79—81% Cu, 2,5—4,5% Si, 2—4% Pb,  $\sigma_b = 25—30$  kg/mm<sup>2</sup>, H<sub>B</sub> = 90—100).

Alumiiniumisulamid on malmide ja pronksidega võrreldes koormuse kõikumiste suhtes vähem tundlikud, töötava paari kohandumine toimub kiirelt, laager kujuneb kergeks ja juhib hästi soojust. Alumiiniumisulamid on heade valuomadustega ja küllalt kuluvuskindlad. Nende suurimaks puuduseks on suur joonpaisumise tegur, mistõttu lõtk paaris tapp-laager tuleb valida tavalisest suurem (kuni 0,1 mm). Alumiiniumisulamid valmistatakse kuni 90%-st alumiiniumist nikli- (kuni 8%) ja tina- (kuni 8%) lisandusega, kuna vähesel hulgal võib leiduda sulamis ka näiteks vaske, tsinki, mangaani, siliitsiumi, rauda, magneesiumi ja antimoni. Pinnakõvadus ulatub neil sulamitel kuni H<sub>B</sub> = 150, kusjuures lubatavad erisurved võivad tõusta 650 kuni 800 kg/cm<sup>2</sup>. Madalate mehaaniliste omaduste ja suure joonpaisumise teguri tõttu on soovitatav mitte kasutada pikki laagrikausse, piirdudes vahekorraga  $l = 0,5d$ .

Kadmiumisulamid on väga väikese korrosioonikindlusega, omavad suure joonpaisumisteguri, suure kõvaduse ja leiavad seetõttu suhteliselt väga vähest kasutamist.

Hõbe on laagrimaterjalina leidnud kasutamist peamiselt võimsates ja

kiiretes seadmetes, kus laagrikauss kaetakse hõbedaga elektrolüütiliselt või kasutatakse hõbedat pealevalandina. Kasutamist on hõbe leidnud peamiselt oma heade mehaaniliste omaduste, suure plastilisuse ja korrosioonikindluse suhtes.

Väga laialdaselt esineb masinaehituses laagrikonstruksioone, kus sobiv laagrimetall leiab kasutamist pealevalandina kas malmist, vähese süsinikusaldusega terasest, terasvalust või pronksist laagrikausile. Laagri-metallide kasutamist pealevalandina tingib peamiselt heade antifriktsiooniliste sulamite väike mehaaniline tugevus ja sulamikomponentide defitsiit-sus.

Pealevalandi materjal peab olema hästi valatav, s. t. küllalt kergelt sulav ja hästi voolav, ta ei tohi ka mitmekordsel ümbervalamisel oma omadusi kaotada. Tähtis on, et pealevaland oleks hästi kinnituv alusmetallile.

Peamiseks pealevalandi materjaliks on mitmesugused b a b i i d i d, mis on tina, seatina või tina ja seatina alusel moodustatud sulamid, kus komponentidena kasutatakse kõvemate osiste saamiseks eeskätt vaske ja antimoni. Selline sulam omab laagrikausile väga sobiva struktuuri, kus sulami pehmesse põhimassi on asetunud kõvemad kristallid, järelikult on heade kohandumistingimuste kõrval tagatud ka laagri küllaldane kande-võime. Tabelis 23 on toodud babiitide keemiline koosseis GOCT 1320-41 järgi.

Tabel 23.

Tina- ja seatinababiitide keemiline koosseis %.

Mark	Sb	Cu	Cd	Ni	As	Te
B83	10—12	5,5—6,5	—	—	—	—
БН	13—15	1,5—2,0	1,25—1,75	0,75—1,25	0,5—0,9	—
BT	14—16	0,7—1,1	—	—	—	0,05—0,2
B16	15—17	1,5—2,0	—	—	—	—
B6	14—16	2,5—3,0	1,75—2,25	—	0,6—1,0	—

(järg)

Sn	Pb	Lisandeid (kuni)					Kokku
		Fe	As	Zn	Pb	Bi	
ülejäanu	—	0,1	0,1	0,03	0,35	0,05	0,55
9—11	ülejäanu	0,1	—	0,15	—	0,1	0,4
9—11	ülejäanu	0,1	0,3	0,15	—	0,1	0,6
15—17	ülejäanu	0,1	0,3	0,15	—	0,1	0,6
5—6	ülejäanu	0,1	—	0,15	—	0,1	0,4

Märkusi: 1. Margis B16 ei tohi tina olla rohkem kui antimoni.  
2. Margis B83 ei tohi olla lisandeid, seatina mitte arvestades, üle 0,25%.

Babiit БК (ГОСТ 1209-41) sisaldab 0,75—1,1% Ca, 0,65—0,95% Na, ülejäanu on Pb, kusjuures mitmesuguseid lisandeid (Bi, Sb, Mg jt.) ei tohi sulamis olla üle 0,75%.

Tabelis 24 on toodud babiitide mitmesuguseid iseloomustavaid näitajaid. Nagu tabelist nähtub, on babiitide kriitiline temperatuur suhteliselt küllaltki madal, mistõttu babiitide kasutamine on veelgi rohkem levinud, kuna babiitide valamist on võimalik teostada ka väiksemates ettevõtetes. Valamiseks tuleb babiiti kuumutada ülemisest kriitilisest temperatuurist (hangumise algus) kuni 30—50° C kõrgemale, laagrikaussi (alusmetalli) aga temperatuurini, mis ületab babiidi alumise kriitilise temperatuuri (hangumise lõpp) 10—30° C. Ka temperatuuride kohta on toodud andmed samas tabelis.

Tabel 24.

Iseloomustavaid näitajaid babiitidele.

Babiidi mark	Mehaanilised omadused kg/mm <sup>2</sup>				Temperatuurid °C					
	Voolavuspiir survel $\sigma_{Ts}$	Survetugevus $\sigma_s$	$H_B$		kriitilised		valamisel		töö-	
			17° C	100° C	alum.	ülem.	babiit	laagri-kauss	norm.	maksim.
B83	8,2	11,5	30	13	241	364	400	250	60	100
БН	8,1	12,7	29	14	245	397	450	260	60	100
БТ, valat.	7,1	12,8	26	—	240	400	450	250	60	100
БТ, term. töödeldud	—	11,3	21	14	240	400	450	250	60	100
Б16	8,6	12,0	30	13	240	410	460	250	60	100
Б6	—	13,6	32	14	232	416	450	260	50	90
БК	11,8	16,0	32	15	320	440	520	350	70	100

Kuna tegemist on hulgakomponendiliste sulamitega, ei ole nende omaduste parendamine ühe margi teisele lisandamisega mitte võimalik: tulemuseks saadakse tavaliselt ikka madalama kvaliteediga sulam.

Teiste iseloomustavamate omaduste hulgas tuleb märkida, et babiitide joonpaisumise tegur on ligikaudu kaks korda suurem süsinikterase vastavast näitajast ja ca 25% suurem pronksi omast. Babiitide väsimuspiir (oluline pulseerival koormusel) on suurel määral babiidikihi paksusest: õhema kihi puhul väsimuspiir tõuseb.

Tabel 25.

Lubatavaid  $qv$  väärtusi babiitidele.

Babiidi mark	Koormuse iseloom	$qv$ kg/cm <sup>2</sup> × m/sek
B83	Löögiline	≤ 100 ( $v \leq 5$ m/sek)
B83	Rahulik	≤ 150
БН	Löögiline	≤ 60 ( $v \leq 3$ m/sek)
БН	Rahulik	≤ 60
Б16	Rahulik	≤ 60
Б6	Rahulik	≤ 40

Võrreldes tinababiite seatinababiitidega, on esimesed vähem haprad ja sobivad paremini tööks muutuval ja löögilisel koormusel. Kuna tina on seatinast tunduvalt defitsiitsem, on viimasel ajal seatinababiitide kasutamisele väga laialdast tähelepanu pööratud. Babiidi margi valikul tuleb lähtuda kogu seadme töö iseloomust, tapi kiirusest, koormusest jne. Tööd iseloomustava korrutise  $qv$  järgi võib babiidimargi valikuks kasutada tabelis 25 esitatud suurus.

Näiteid babiitide kasutamisaladest on toodud tabelis 26.

Tabel 26.

Babiitide kasutamise näiteid.

Mark	Kasutamine
B83	Laagrid võimsatele lennuki- ja automootoritele, auruturbiinidele, turbokompressoritele, turbopumpadele, kompressoritele võimsusega üle 500 HJ, diislitele, kaugesõidu-laevade aurumasinatele, statsionaarsetele aurumasinatele võimsusega üle 1200 HJ, elektrimootoritele võimsusega üle 750 kW, generaatoritele võimsusega üle 500 kW.
BH	Laagrid traktori- ja automootoritele, auruturbiinidele, laeva- ja kohtkindlatele aurumasinatele võimsusega kuni 1200 HJ, saekaatrite lokomobiilidele, veeturbiinidele, elektriveduritele, elektrimootoritele võimsusega 250—750 kW, generaatoritele võimsusega kuni 500 kW, tsentrifugaalpumpadele võimsusega kuni 2000 HJ, vaakumpumpadele, valtspinkide, purustajate, tõstemasinate reduktoreile ja hammasajameile võimsusega kuni 1800 HJ.
BT	Traktori- ja automootorite raam- ja kepsulaagritele.
B16	Kandelaagrite pealmiseks pooleks auruturbiinidele, laeva- ja kohtkindlatele aurumasinatele võimsusega kuni 1200 HJ, lokomobiilidele, elektriveduritele, generaatoritele võimsusega kuni 500 kW, kompressoritele võimsusega kuni 500 HJ, tsentrifugaalpumpadele võimsusega kuni 2000 HJ, vaakumpumpadele, valtspinkide, purustajate, tõstemasinate reduktoritele ja hammasajamitele võimsusega kuni 1800 HJ, trammivagunite laagrid.
B6	Laagrid naftamootoritele, metallitöötlemispinkidele, transmissioonidele, ventilaatoritele, suitsuventilaatoritele, elektrimootoritele võimsusega kuni 250 kW, kuulveskitele, väiksemate tööpinkide hammasajamitele.
BK	Laagrid raudteevagunitele.

b. Metallkeraamilised materjalid.

Viimastel aastakümnetel on leidnud masinaehituses laialdast kasutamist pulbrilisest lähtemetallist kõrgel survel (1000—6000 kg/cm<sup>2</sup>) ja temperatuuril kokkupressitud materjalid, nn. metallkeraamilised materjalid. Laagri materjalideks kasutatakse siin peamiselt pronksi või raua elektro-

lüütilisel või ka mõnel teisel teel saadud pulbreid (terade suurus keskmiselt 10—3000 mikronit), mis segatult grafiidiga annavad pärast kokkupressimist ja kuumutamist poorse materjali, kus poorid moodustavad umbes 10—40%. Poorsus on nimetatud materjalide iseloomustavam omadus. Poorid täituvad immutamisel kapillaarjõudude toimel õliga, mis tapi pöörlemisel laagris ja vastavalt temperatuuri tõusule väljub laagri tööpinnale, moodustades vajaliku õlikile. Väikeste laagrite puhul on pooridesse mahutu õli määrimiseks küllaldane ja määrimise reguleerimine toimub automaatselt, olenevalt režiimist (temperatuurist).

Valminud laagrikausside täitmine õliga toimub kuni 24 tunni vältel kas vaakumaparaatides või lahtistes õlivannides temperatuuril 70—130° C.

Raua alusel valmistatud materjalid on vähem defitsiitsed, nad omavad paremaid mehaanilisi omadusi ja võivad seetõttu töötada raskematel režiimidel kui pronksi alusel valmistatud materjalid. Isemäärimisvõime on neil aga väiksem kui pronksi alusel valmistatud materjalidel.

Malmpulbrist valmistatud materjalid on eelnimetatuist nii oma anti-friktsiooniliste kui ka mehaaniliste omaduste poolest halvemad.

Grafiit metallkeraamilistes materjalides mõjub eelkõige määrdeainena laagritele kuju andmisel (stantsimisel) ja tõstab samaaegselt ka materjali poorsust. Ka õli vähesuse korral poorides on grafiidi toime märgatav — grafiit oma määrivate omaduste tõttu ei lase tekkida sööbimist.

Laagrite lubatav koormus on otseselt limiteeritud pooride hulgest. Suur ja eriti vahelduv koormus nõuab laagriilt küllaldast tugevust, mistõttu pooride hulk ei tohi olla liiga suur. Kuna väikese poorsuse puhul ka määrdeaine tagavara laagris on väiksem, tuleb rasketel režiimidel kasutada lisamäärimist.

Orienteeruvalt võib soovitada kasutada materjale poorsusega 25—30% suurte kiiruste ja väikeste koormuste juures, poorsusega 18—25% — keskmistel tingimustel ja poorsusega 10—18% — väikestel kiirustel keskmiste ja suurte koormuste puhul, perioodilisel töötamisel.

Lähtesegu keemiline koosseis tuleb seega valida olenevalt eeldatavast laagri töörežiimist. Tabelis 27 on toodud andmeid levinud metallkeraamiliste materjalide koosseisude kohta.

Kokku võttes tuleb alla kriipsutada metallkeraamiliste materjalide mitmeid häid omadusi. Eksploataatsioonis paistavad metallkeraamilised materjalid silma oma suure kuluvuskindluse ja väikese hõõrdeteguriga (kuivalt  $f \approx 0,122$ , pärast immutamist  $f \approx 0,02$ ). Peale selle omavad metallkeraamilised materjalid ka küllaldast tugevust. Õli kulu, võrreldes tavaliste pronkslaagritega, on metallkeraamilistes laagrites kuni 10 korda väiksem.

Valmistamisel antakse laagritele vajalik kuju vastavates pressvormides, mistõttu muutub mittevajalikuks toote lõiketöötlemine, mis on oluline eriti tapiiga kokku puutuv osas. Töödeldavus, muide, on aga metallkeraamilistel materjalidel parem kui pronksidel.

Õlide valikul tuleb silmas pidada seda, et vase alusel valmistatud materjalide kasutamisel võib vase katalüütilise toime tõttu esineda õlide kiire hapendumine, tähendab, tuleb kasutada õlisisid, mis on küllalt hapendumiskindlad.

## Metallkeraamilised materjalid.

Koosseis	Märkusi valmistamise ja kasutamise kohta
Pronksgrafiit. Cu = 87—90%, Sn = 9—10%, C = 1—4%.	Valmistatakse peene- kuni keskmiseteralisest pulbrist. Poorsus ca 30%. Sobivad tööks raskendatud määrimis-olukorras, kusjuures $qv \leq 20$ kgm/cm <sup>2</sup> sek.
Poorne raud. Fe = 99—100%, C $\leq$ 0,1% (seotult) Si $\leq$ 0,2%.	Valmistatakse peamiselt jämedamateralisest pulbrist. Poorsus ca 20%. Sobivad pronksi asendajaks $qv$ keskmistel väärtustel ( $qv \leq 70$ kgm/cm <sup>2</sup> sek). Karastatud völlide puhul on soovitatav laagrit paagutamisel või hiljem tsementiitida.
Poorne ferriitstruktuuriga raudgrafiit. Fe = 97—98%, Si $\leq$ 0,2%, grafiiti 1—2%.	Valmistatakse peene- kuni keskmiseteralisest pulbrist. Poorsus 20—30%. Sobivad pronksi asendajaks $qv$ keskmistel väärtustel ( $qv \leq 70$ kgm/cm <sup>2</sup> sek), eriti tööks mittekarakastatud völlide puhul.
Poorne perliitstruktuuriga raudgrafiit. Fe = 97—98%, grafiiti $\leq$ 1%, C $\leq$ 1% (seotud), Si $\leq$ 0,2%.	Valmistatakse peene- kuni keskmiseteralisest pulbrist, osa grafiiti rikastab paakumisel rauda süsinikuga. Sobivad eriti tööks karastatud völlide puhul $qv$ väärtusteni kuni $qv \leq 70$ kgm/cm <sup>2</sup> sek.
Metallkeraamiline malm. Fe = 95—97%, C $\leq$ 3% (seotult kuni 1%) Si $\leq$ 1,3%.	Valmistatakse vähese siliitsiumisisaldusega malmide laastudest või pulbrist. Poorsus 10—20%. Sobivad tööks $qv$ väärtusteni kuni 40 kgm/cm <sup>2</sup> sek.
Raud-vaskgrafiit. Cu = 3—15%, Fe = 83—97%, grafiiti 2%, C $\leq$ 1% (seotult), Si $\leq$ 0,2%.	Valmistatakse raua ja vase peene- kuni keskmiseteralisest pulbrist. Poorsus 20—30%. Sobivad tööks $qv$ väärtusteni kuni $qv \leq 70$ kgm/cm <sup>2</sup> sek.

## c. Plastmassid.

Plastmassid on orgaanilise päritoluga (sageli anorgaaniliste lisanditega) sünteetilised ained.

Masinaehituses kasutatavad laagrimaterjalid saadakse tavaliselt kas puidu või tekstiili alusel, ühendades neid kõrge surve ja temperatuuri juures mitmesuguste vaikudega. Saadus kujutab enesest harilikult kihilist kokkupressitud materjali, mida on hõlpus töödelda.

Plastmassidest laagrikausid paistavad eriti silma oma elastsete omaduste ja sööbimiskindlusega, nad omavad ka küllalt kõrgeid tugevusnäitajaid ja on hästi töödeldavad. Plastmassid on võimelised hästi töötama suurtel koormustel, kusjuures määrdeainena sobib suurepäraselt vesi. Peale selle on plastmasside tootmine odav ja valmistoodang kujuneb kaalult kergeks.

Suuremaks puuduseks osutub plastmasside halb soojusjuhtivus.

Puidu alusel valmistatud plastmassidest kasutatakse laagrikauside kujundamiseks lignofooli ja lignostoni.

Lignofool on kihiline materjal, koosnedes vääristamata ühekihilistest vineerlehtedest, paksusega 0,5—1,0 mm, mis on immutatud kunstlike vaikudega, peamiselt bakeliitvaiguga (fenooformaldehüüdvaiguga). Saadud pakett surutakse kokku survele 150—350 kg/cm<sup>2</sup> temperatuuril 140—150° C. Lignofooli turustatakse mitmesugusel kujul plaatides, paksusega 5—80 mm, kus plaate moodustavad vineerlehed võivad erineda oma asetuse poolest (kiudude paralleel- või ristiasetus jne.).

Lignoston saadakse vajalikes suuruses risttahukaliste puidutükide (peamiselt kasest, mõõdetega 500 × 100 × 1000 mm) kokkusurumisel survele 350—400 kg/cm<sup>2</sup> temperatuuril 160—180° C. Enne kokkusurumist immutatakse lähtematerjal suurema niiskuskindluse saavutamiseks tavaliselt kas bakeliitvaigu või tehnilise glükoosiga. Suuremad plaadid kujundatakse üksikute tükkide kokkuliimimisega. Plaatide naaberkihtide asendi järgi turustatakse lignostoni kahel kujul: kiudude paralleelse (Π) ja ristiasetusega (K).

Lignofool- ja lignostonlaagreid võib nimetatud materjalide väikese soojusjuhtivuse tõttu kasutada äärmiselt kuni temperatuurini 70° C.

Lignofool ja lignoston sobivad tööks oma otpindadega, tähendab, materjalist on soovitatav valmistada laagrikauss nii, et tapi kiirus oleks suunatud risti puitaine kiududega. Laagrikausi suurema mehaanilise tugevuse saavutamiseks asetatakse lignofool ja lignoston tavaliselt metallkasettidesse. Lignofooli ja lignostoni füüsikalisi-mehaaniliste omaduste kohta on toodud andmeid tabelis 28.

Tabel 28.

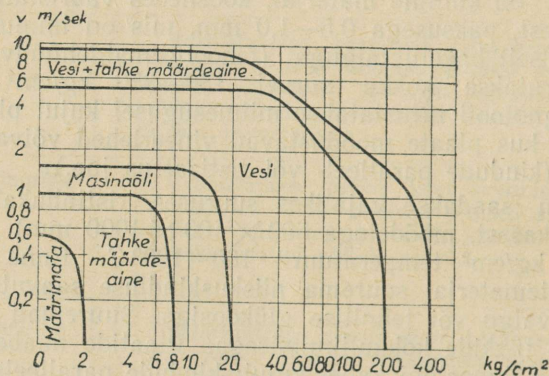
Lignofooli ja lignostoni füüsikalisi-mehaanilisi omadusi.

Materjal	Erikaal g/cm <sup>3</sup>	Survetugevus piki kiude kg/mm <sup>2</sup>	Paindetugevus kg/mm <sup>2</sup>	Brinelli kõvadus piki kiude Hb	Hõõrdetegur otspindadel, koormusel 75—110 kg/cm <sup>2</sup> , vesi- määrimisel	Soojus- juhtivus kcal/mh °C
Lignofool	1,36— 1,40	14—17,5	27—29	20—35	0,003	0,4
Lignoston	1,35— 1,38	13—14	23—28	15—18	0,003—0,005	—

Joonisel 39 toodud graafik määrab määrdeainete — masinaõli, konsistentne (tahke) määrdeaine, vesi jne. — sobivuse piirkonnad. Enne tööle rakendamist tuleb laagrikauss immutada: töötamiseks vesimäärimisega tuleb hoida laagrikauss vees 7—10 päeva kestel, töötamiseks ilma määrdeaineta tuleb laagrikauss immutada 35—45° C õliga 5—7 päeva vältel.

Viimasel ajal valmistatakse ka nn. bumoliite, kus täitematerjaliks on tselluloos või paber.

Tekstiili alusel valmistatud plastmassidest kasutatakse peamiselt tekstoliiti. Tekstoliit on kihiline materjal, kus puuvillkude on



Joon. 39.

immutatud resoolbakeliitvaiguga ja pressitud kokku survele 150—300 kg/cm<sup>2</sup> ja temperatuuril 130—150° C. Kihilise tekstoliidi kõrval valmistatakse tekstoliiti ka peenestatud puuvillkoest. Viimase mehaanilised omadused on kihilise tekstoliidi vastavatest näitajatest halvemad.

Tekstoliiti võib laagrites kasutada püsiva temperatuurini 80—85° C, ajutiselt kuni 110° C-ni. Tekstoliidi peamine eelis puidu alusel valmistatud plastmasside ees on hügrokoopilisuse peaaegu täielik puudumine.

Tekstoliit sobib hästi ka löögilise koormuse vastuvõtmiseks. Tekstoliidi peamiseks puuduseks on tema väike soojusjuhtivus. Määrimiseks, mis ühtlasi aitab tunduvalt kaasa laagri jahutamisele, kasutatakse koormustel kuni 140 kg/cm<sup>2</sup> vett ja koormustel üle 140 kg/cm<sup>2</sup> — õli ja vee emulsiooni. Tekstoliidi põhilised füüsikalised-mehaanilised omadused on järgmised:

erikaal . . . . .	1,35—1,45 g/cm <sup>3</sup> ,
survetugevus piki kiude . . . . .	13—15 kg/mm <sup>2</sup> ,
survetugevus risti kiude . . . . .	15—30 kg/mm <sup>2</sup> ,
Brinelli kõvadus H <sub>B</sub> piki kiude . . . . .	30—35 kg/mm <sup>2</sup> ,
hõõrdetegur koormusel 75—110 kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	0,002—0,003,
soojusjuhtivus . . . . .	0,20—0,29 kcal/mh°C.

Tekstoliitlaager, võrreldes puidu alusel valmistatud plastmasslaagriga, kujuneb kallimaks.

Kuna kirjanduses leiduvad andmed plastmasside kasutatavuse piiride kohta nende suhteliselt vähese kasutamisaja tõttu on veel küllalt erinevad ja sageli ka vasturääkivad, märgime siinkohal ära ЦНИИТМАШ-i töötajate poolt teostatud uurimuste kokkuvõtte, mille ülesandeks oli määrata lubatavad piirväärtused erisurvele, olenevalt materjalist, konstruktsioonist ja teistest teguritest, samuti usaldatavate andmete saamine hõõrdeteguri väärtuse kohta<sup>1</sup>. Selgus, et:

1) pressitud tekstoliitlaagrikausside puhul võib vesimäärimisel saavutada erisurveid 400 kuni 450 kg/cm<sup>2</sup>, hõõrdeteguri väärtus ei ületa tavaliselt 0,0015;

2) koostatud laagrikausside (tekstiili või puidu alusel valmistatud) puhul võib vesimäärimisel saavutada erisurveid 300 kuni 350 kg/cm<sup>2</sup>, hõõrdetegur tekstoliitlaagreis 0,001—0,0015, puitplastmassidel ligikaudu 0,03;

3) koostatud lignostonlaagreis ei olnud vesimäärimisel võimalik kasutada erisurveid üle 75—100 kg/cm<sup>2</sup>, hõõrdetegurid 0,003—0,010;

4) kasutades tsirkulatsioonmäärimist õlidega, võib pressitud tekstoliitlaagreis kasutada erisurveid kuni 150 kg/cm<sup>2</sup>, hõõrdetegur sel puhul ei ületa 0,005.

Väikese ja väga ühtlase koormusega laagrisõlmedes on kasutatavad ka plastmassid, mis on valmistatud vaikude ja pulbritaolise täitematerjali (puit, grafiit, kivi jms.) segust. Saadud materjal on väga habras.

Tugevamaks kujuneb materjal, kui kasutada täitematerjalina vildi või kudede kiude. Nimetatud materjalide kasutamisala on siiski piiratud keskmiste koormuste suurusega.

#### d. K u m m i.

Kummit kasutatakse metall-laagrikausi sisepinna katmiseks. Kummi kasutamine osutub eriti otstarbekaks seal, kus laagrid puutuvad kokku veega (laevades, turbiinides, kaevanduspumpades jms.), kuna vesi on kummi puhul hea määrdeaine. Nii näiteks on kasutatud kummit Lenini-gradi Stalini-nimelise tehase poolt Dneprogesi jõujaamale valmistatud veeturbiinide pealaagreis, kus üksiku turbiini võimsus on 102 000 HJ. Kuna laagrimaterjalina kasutatakse peamiselt just pehmet kummit, siis võib kummilaager edukalt töötada ka vibratsioonkoormusel.

Hõõrdetegur kummilaagrites tapi kiiruse tõusul langeb kiirelt. Nii näiteks kiirusel  $v = 0,5$  m/sek on hõõrdetegur 0,01, kiirusel  $v = 5,0$  m/sek aga 0,005. Lubatav koormus pehmest kummist vesimäärimisega laagreis ulatub kuni 14 kg/cm<sup>2</sup>, kõvast kummist laagreis 40—50 kg/cm<sup>2</sup>. Kuid on teada ka juhud, kus kummilaagrid on töötanud täiesti normaalselt koormusega kuni 57 kg/cm<sup>2</sup> ja kiirusel  $v = 32$  m/sek.

Kuna kummi ei ole kuigi suure kuumuskindlusega, ei ole soovitatav lubada kummilaagreis temperatuuri üle 50—70° C.

\*

<sup>1</sup> Д. М. Хайт, Предельные удельные давления подшипников скольжения из древесных и текстильных пластиков, «Вестник машиностроения» № 3—1950.

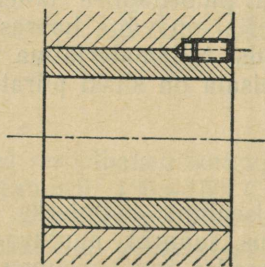
Eespoolkirjeldatud mittemetalsed laagrimaterjalid on võetud kasutusele peamiselt defitsiitsete ja kallite, sealjuures ka raskete metallisulamite, eriti just babiitide ja pronkside asendamiseks. Kui arvestada ka seda, et enamikul juhtudel langeb ära veel vajadus määride järgi ja et paljudes seadmetes on nende laagrite iga metall-laagritega võrreldes kuni 10 korda pikem, on nimetatud materjalide laialdasem kasutuselevõtmine rahvamajanduse seisukohalt väga tähtis. Plastmassid on oma ekspluatatsiooniomaduste poolest hästi kasutatavad paljudes tööstusharudes, näit. metallurgia-, ehitus-, teedehitus-, paberi-, tekstiili-, keemia- jne. tööstuse paljudes seadmetes, samuti pingi- ja kraanaehituse tööstuses.

### 3. Liugelaagri detailide kujundamine.

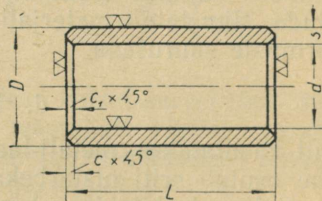
#### a. Laagrikauss.

Laagrikausi kuju on suures osas ette määratud laagrite esitatavate ekspluatatsiooniliste nõuetega ja oleneb ka laagri kere konstruktsioonist.

Laagrikausi lihtsamaid kujusid on puks, mis kinnitatakse laagri kereesse jäetud vastavasse avasse. Metallisulamite puhul kujundatakse puks tava-



Joon. 40.



Joon. 41.

liselt kas malmist, terasest või pronksist. Puksi liikumatus kere suhtes saavutatakse puksi pinguga kinnitamisel kereesse, tihvti või kruviga pidurdamisel või ka pinguga istu ja kruvi kooskasutamisel (joon. 40). Tervikpukside kasutamine piirdub tavaliselt väiksemate läbimõõtetega ( $d \leq 100$  mm), laagreid ei kujundata pikkadena ( $\varphi = 1,0-1,5$ ), kuna puudub võimalus võlli läbipaindumise mõju kompenseerida. Puksi seinapaksus valitakse olenevalt läbimõõdest 3,0–7,5 mm.

Äärikuta malm- ja pronkspukside mõõted (joon. 41) on enamkasutatavate läbimõõtetega jaoks toodud GOCT 1978-43 järgi tabelis 29. Standardi kohaselt kuuluvad puksid võlliga ühendamisele augusüsteemis, läbimõõdu  $d$  tolerantsid valitakse kas A, A<sub>2a</sub> või A<sub>3</sub> järgi, läbimõõdul  $D$  aga kas ping- (H), umb- (Γ) või 1. press-istu (Πpl<sub>3</sub>) kohaselt. Seejuures ping-istu kasutamisel, samuti ka umb-istu puhul puksi pikkuseni kuni 1,5d on puksi lisakinnitus (kruviga vms.) kohustuslik, 1. press-istu puhul ei ole lisakinnitus nõutav.

Tabel 29.

Äärikuta malm- ja pronkspukside mõõteid mm (joon. 41).

<i>d</i>	<i>D</i>	<i>s</i>	<i>L</i>											
10	16	3	8	10	12	15	18	20	(22)	25	—	—	—	—
12	18	3	10	12	15	18	20	(22)	25	28	30	—	—	—
(13)	20	3,5	10	12	15	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	—	—
14	20	3	12	15	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	—	—
(15)	22	3,5	12	15	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	—
16	22	3	12	15	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	—
(17)	25	4	12	15	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	—
18	25	3,5	12	15	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	45
20	28	4	12	15	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	45
22	30	4	15	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	45	50
25	32	3,5	15	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	45	50
28	35	3,5	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	45	50	60
30	38	4	18	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	45	50	60
32	40	4	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	45	50	60	70
35	45	5	20	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	45	50	60	70
(38)	48	5	(22)	25	(28)	30	(32)	35	40	45	50	60	70	80
40	50	5	25	(28)	30	(32)	35	40	45	50	60	70	80	90
(42)	52	5	25	(28)	30	(32)	35	40	45	50	60	70	80	90
45	55	5	(28)	30	(32)	35	40	45	50	60	70	80	90	100
(48)	58	5	30	(32)	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110
50	60	5	30	(32)	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110
(52)	62	5	(32)	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120
55	65	5	(32)	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120
60	70	5	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130
(62)	75	6,5	40	45	50	60	70	80	90	100	100	120	130	140
65	80	7,5	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
70	85	7,5	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
75	90	7,5	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
80	95	7,5	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
85	100	7,5	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160

Kasutamist leiab ka veelgi lihtsam konstruktsioon, kus laagrikauss kui selline üldse puudub, tema aset täidab laagri kere. Töötava pinna kulumisel tuleb vahetada siis paratamatult kogu laager.

Töste- ja transportmasinates kasutatakse palju ka äärikuga varustatud pukse (joon. 42).

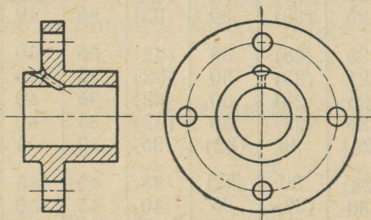
Poolitatud laagrite puhul tuleb kasutada ka poolitatud laagrikausse. Ka siin tuleb kindlustada laagrikausi pöörlematus. Siinjuures on eriti tähtis pöörata tähelepanu laagrikausi lihtsa vahetamise võimalusele, ilma võlli laagrist eemaldamata. Selle kindlustamiseks tuleb kere suhtes pidurdada laagrikausi ülemine pool, kasutades kas laagrikausile moodustatud astet, tihvti vms. Niisuguse konstruktsiooni puhul on laagrikausi vahetamine võimalik ilma võlli laagrist eemaldamata, piisab ainult laagri ülemise poole eemaldamisest.

Laagrikausi välispind on tavaliselt silindriline, mis otstes võib omada äärikuid laagrikausi nihkumise takistamiseks kere suhtes. Selliste laagrikausside mõõted võib kujundada järgmistes vahekordades (joon. 43):

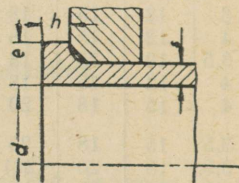
$$s = (0,05d + 5 \text{ mm}) \text{ kuni } (0,10d + 5 \text{ mm});$$

$$e \approx 1,2s + 3 \text{ mm}; h \approx 0,5e.$$

Pikemate laagrikausside puhul võib kere ja laagrikausi töötlemise vähendamiseks kasutada joonisel 44 toodud võtteid. Kuna laagri kere ja

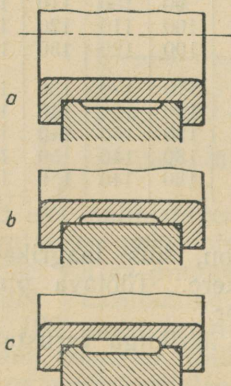


Joon. 42.

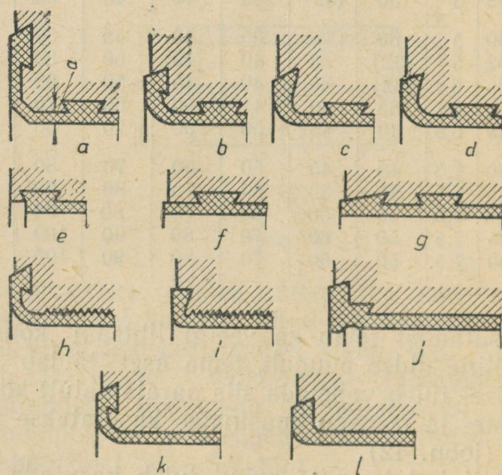


Joon. 43.

laagrikausi vahele jääb sel puhul õhuvahe, on soojuse ärajuhtimine õhu halva soojusjuhtivuse tõttu laagrist takistatud, mistõttu nimetatud võtte kasutamine on piiratud. Siinjuures võib laagrikausi õhendamine põhjus-



Joon. 44.



Joon. 45.

tada ka laagrikausi lubamatuid deformatsioone, kuna toetuspind ei osutu küllaldaseks.

Laagrikausid, kus tapiga kokkupuute pinnaks kasutatakse antifriksi-ooniliste omadustega pealevalandeid (peamiselt babiite), vajavad valmistamisel enam tähelepanu. Laagrikauss on sel puhul valmistatud kas mal-

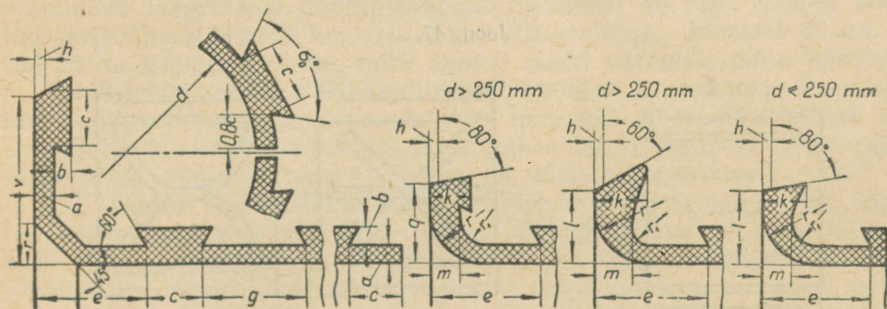
mist, vähese süsinikusisaldusega terasest, terasvalust või pronksist. Pealevalandi heaks kinnitumiseks tuleb laagrikausi pind mustusest ja hapenditest hästi puhastada (harjadega, väävel- või soolhappega söövitamisel koos järgneva pesemisega vms.), samuti rasvadest ja õlidest. Babiitide heaks sidumiseks alusega tuleb alus seejärel tinutada. Kõige ebakindlaks jääb ühendus malmi ja babiidi vahel. Liite tugevdamiseks varustatakse laagrikausi sisepind kas nn. pääsusabasoontega, keermega (joon. 45), kooniliste või püramidaalsete aukudega või jäetakse pind töötlemisel karedaks.

Igal juhul tuleb kinnitamiseks ette nähtud avad dimensioneerida nii, et pealevalandi jahtumisel ei tekiks kasutatud materjalide erinevate joonpaisumistegurite tõttu laagrikere ja pealevalandi vahele lõtku. Lõtku olemasolu, eriti siis, kui sinna satub sooja õli (mis laagris on väga tõenäoline), põhjustab laagrikere soojusjuhtivuse tunduva halvenemise ja kutsub paratamatult esile laagri ebasobivama töörežiimi. Joonisel 45 toodud moodustest pealevalandi kinnitamiseks on  $a-j$  sobivad malmile ja terasele,  $k$  ja  $l$  — pronksile. Pealevalandi sobiva paksuse kohta on toodud andmed tabelis 30.

Tabel 30.

Laagri nimiläbimõõt mm		Pealevalandi paksus mm.		
		malm	teras	pronks
25 kuni	50	3,0	2,0	0,5
tile 50	" 75	3,0	2,5	1,0
" 75	" 100	3,5	3,0	1,5
" 100	" 150	4,0	3,5	2,0
" 150	" 200	5,0	4,0	2,5
" 200	" 300	6—7	5,0	3,5
" 300	" 400	7—8	6,0	4,5
" 400	" 500	9—10	7,0	5,0

Tabel 31 sisaldab orienteerivaid andmeid teraslaagrikaussidesse moodustatud soonte mõõdete kohta (joon. 46).



Joon. 46.

Tabel 31.

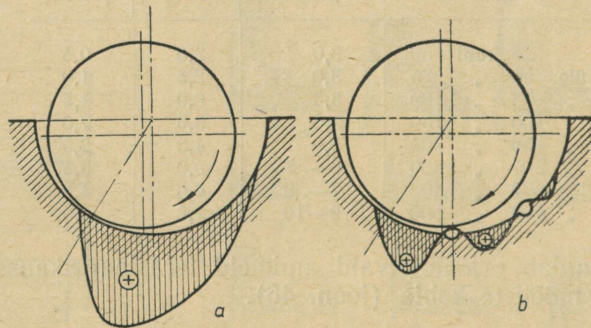
Babiitvoodri kinnitamiseks valmistatavate soonte mõõted mm (joon. 46).

Laagri nimi- läbimõõt $d$ mm		$a$	$b$	$e$	$c$	$g$	$m$	$k$	$v$	$l$	$q$	$r$	$r_1$	$h$
tõle	25 kuni 50	2	1,5	8	8	12	4	5	18	7	—	2,5	1,5	1
	50 " 75	2,5	2	10	9	14	4,5	6	20	9	—	4	2,5	1
	75 " 100	3	2	12	10	16	5	7	25	10	—	4	2,5	1
	" 100 " 150	3,5	2,5	14	12	20	6	8	30	12	—	6	4	1
	" 150 " 200	4	2,5	17	15	24	7	9	35	16	—	10	4	1,5
	" 200 " 300	5	3,5	20	18	28	8	10	40	20	22	15	6	1,5
	" 300 " 400	6	3,5	24	20	32	9	11	45	24	28	18	10	2
	" 400 " 500	7	4	28	22	36	10	12	50	28	35	22	15	2

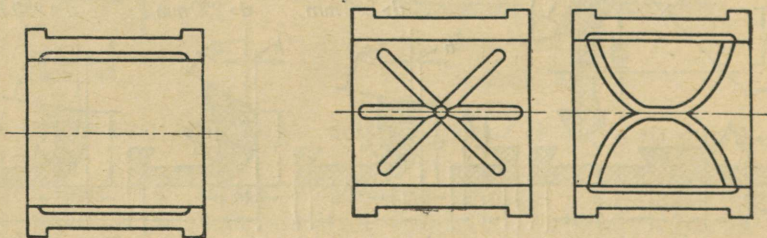
Pikisoonte arv: kui  $d < 100$  — kaks; kui  $d = 100$  kuni 250 — kolm;  
kui  $d > 250$  — neli kummagi laagrikausi poole kohta.

Babiidi valamine toimub kas tsentrifugaalvaluna, valamisega rõhu all, käsitsi vms. Õhukesed antifriksioonkihid saadakse pulverisatsioonimeetodil.

Erilist tähelepanu vajab laagrite konstrueerimisel määrdeaine piki tappi jaotamise küsimus. Määrdeõli ühtlaseks jaotumiseks on laagrikaus-



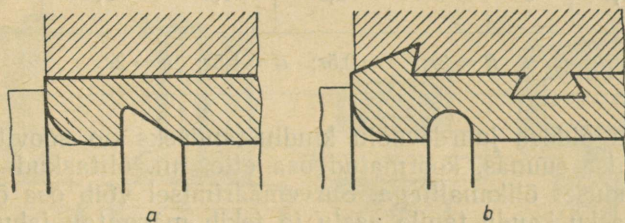
Joon. 47.



Joon. 48.

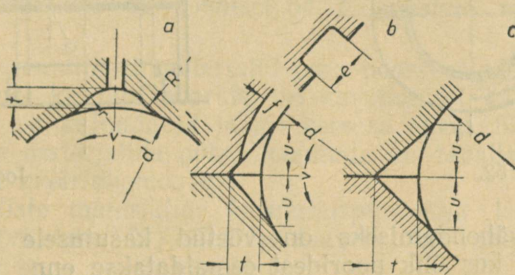
Joon. 49.

side sisepind varustatud tavaliselt õlikanalitega, kust tapp pöörlemisel õli kaasa võtab ja edasi juhib kogu tööpinnale. Õlikanalite paigutus laagrikausi koormatud osasse on lubamatu, kuna vastavalt määrimise hüdrodünaamilisele teooriale tekib õlikanalite kohal õlisurve langus nullini, sest õli väljavool piki kanaleid on soodustatud, järelikult väheneb laagri kandevõime või, teisiti arutledes, sama koormuse ja režiimi juures väheneb tapi ja laagrikausi vaheline minimaalne lõtk ja on väga tõenäoline mittevedelikulise hõõrdumise esinemine. Võrdluseks on toodud hüdro-



Joon. 50.

dünaamilise surve epüürid kahel juhul: joonisel 47, *a* ei ole laagrikausi koormatud osas õlikanaleid, kuna joonise 47, *b* kohaselt on koormatud osa varustatud kahe õlikanaliga. Otstarbekas on seetõttu õlikanalid



Joon. 51.

kujundada laagrikausi poolituspinnale. Joonisel 48 ongi toodud koormatud laagrikauss õigesti konstrueeritud õlikanalitega. Joonisel 49 on esitatud halbu konstruktsioone, mille taolisi siiski varemalt palju kasutati.

Leiab kasutamist ka õlikanalite kujundamine laagrikausi ülemisse kui tavaliselt mittekoormatud poolde, kus nad siis hüdrodünaamilist survet ei mõjuta. Nimetatud moodust kasutatakse ka määrimisel tahke määrdeainega, kui esinevad suured kiirused ja väikesed koormused.

Õli laagrist aksiaalsuunas väljavalgumise takistamiseks on soovitatav laagrikausi otstesse ette näha erilised õlikogumissooned, kus õli kaotab oma surve ja kust ta edasi juhitakse laagri kerele kujundatud õlireservuaari, näit. laagrikausist läbi puuritid augu kaudu vms. (joon. 50).

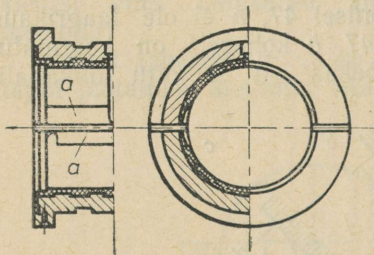
Andmeid sobivate õlikanalite suuruste kohta, olenevalt laagri läbimõõdust, on toodud joonisel 51 ja tabelis 32.

Ölikanalite mõõteid mm (joon. 51).

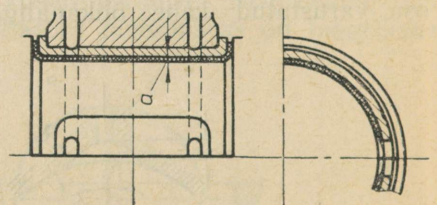
$d$	$\leq 60$	65—80	85—90	95—110	115—140	145—180	185—260	265—380	385—500
$r$	3	4	5	6	7	8	10	12	16
$f$	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	2,5	3	4

$$R = 3r; \quad t = 0,5r; \quad u = 1,5r; \quad e = 2r.$$

Määrdeõli pideva juurdevoolu kindlustamiseks on soovitatav kujundada tapi pöörlemise suunas, koormatud osa ette, nn. õlitaskud ( $a$ , joon. 52), mis on ühenduses õlikanalitega. Survemäärimisel võib osa õli liikuda õlikanalist õlitasku kaudu tapile vastu ja tekib märgatav jahutusefekt.

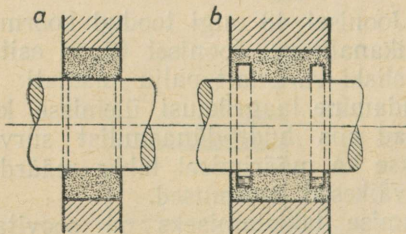


Joon. 52.



Joon. 53.

Babiidikulu vähendamiseks on võetud kasutusele babiidi valamine poorsele alusele, kus õhk pooridest eemaldatakse enne valamist vaakumi tekitamisel. Sel menetlusel võib valmistada pealevalandit paksusega isegi



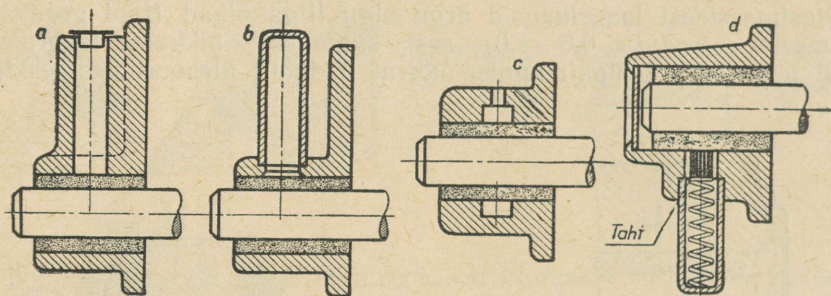
Joon. 54.

25 kuni 75 mikronit. Joonisel 53 on toodud veel üks moodus õhukese-seinaliste ja järelkult ka kergemate laagrikausside valmistamiseks. Siin on laagrikauss valmistatud 2—5 mm paksusena vähese süsinikusaldusega terasest, antifriksioonmetalli kihi paksus  $a$  on kuni 1,5 mm. Ohuke kattekiht omab peaaegu sama tugevust kui alus.

Metall-laagrikausside omaduste parendamiseks kasutatakse veel nn. mitmekihilisi laagrikausse, kus üksikute kihtide omadused liitudes rahuldavad samaaegselt peaaegu täielikult kõik laagrikaussile esitatud nõuded.

Nii võib näiteks elektrolüütiliselt katta heade mehaaniliste ja antifriktsiooniliste omadustega laagrikausi veel mingi antikorrosioonmaterjaliga, näiteks indiumiga. Kasutamist leiavad kombinatsioonid: 1) teras—hõbe—seatina—indium; 2) teras—seatina—pronks—babiit; 3) teras—hõbe—seatina—tina jt.

Metallkeraamiliste materjalide kasutamisel valmistatakse laagrikauss puksina, mis on pressitud laagri kereesse. Joonisel 54



Joon. 55.

on toodud näiteid metallkeraamiliste pukside kasutamisest. Kasutatava õli hulga suurendamiseks on joonisel 54, b puksisse moodustatud lisaõlireservuaarid.

Kuna metallkeraamilised materjalid oma poorsuse tõttu on võimelised imema määrdeainet ka läbi pooride, on kasutamisel ka konstruktsioone, kus õlireservuaar on kujundatud laagri kereesse (joon. 55). Muidugi võib metallkeraamiliste materjalide puhul kasutada ka tavalisi, metall-laagrite jaoks ette nähtud määrimismoodusi.

Metallkeraamiliste materjalide kasutamispirkonna kohta on toodud andmed eespool (vt. tabel 27). Tapi ja laagrikausi vaheliseks istuks on soovitatav kasutada käigu-istu  $\left(\frac{A}{X}, \frac{A_{2a}}{X_{2a}}\right)$ , laagrikauss kinnitatakse kereesse press-istu  $\frac{A}{\Pi_p}$  kasutamisega.

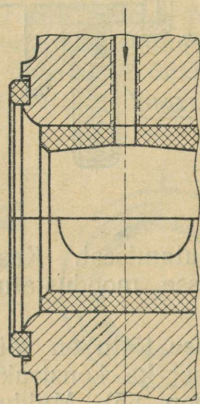
Plastmassidest laagrikaussid (nii puksidena kui ka poolitatud laagrikaussidena) võivad olla koostatud sobivatest tükkidest kokkuliitmise teel. Laagrikausside kujundamine pressimise teel pressvormides on majanduslikult õigustatud ainult kas laagrikausi täiesti lihtsa kuju puhul või keerukama kuju puhul masstootmisel, kuna pressvormide valmistamine on küllaltki kulukas. Otstarbekas on lihtsa pressvormiga kujundatud laagrikauss allutada hilisemale lõiketöötlemisele, mis võimaldab saada suhteliselt odavalt ka keeruka kujuga laagrikausse. Pressitud pukside seinapaksus olgu võimalikult väike (isegi kuni 2 mm), kuna see võimaldab saada ühtlasema sisemise ehitusega detaile.

Väike seinapaksus on lubatav muidugi ainult siis, kui on tagatud laagrikausi küllaldane deformatsioonikindlus. Plastmasside tundlikkuse

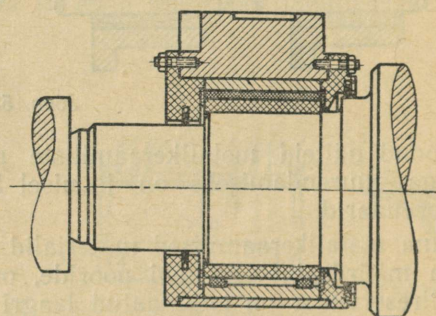
tõttu pingete kontsentratsiooni suhtes tuleb laagrikausside kujundamisel vältida ristlõigete järske muutusi, kasutades tingimata ümardusraadiusi. Kuna plastmassid on suhteliselt suure elastsusega, siis on soovitatav üksikute ristlõigete tunduvalt erinevate deformatsioonide vältimiseks valmistada laagrikausid ühtlase paksusega kogu ulatuses ja ette näha laagri kere konstruktsioon nii, et laagrikauss toetuks kogu pikkuses laagrikerele.

Suurte laagrite puhul on laagrikauss sageli kujundatud ka üksikute sektoritena.

Plastmassidest laagrikausid ärgu olgu liiga pikad (tapi geomeetiline parameeter  $\varphi = l/d \leq 0,6-1,0$ ), sest suhteliselt pikkade laagrikausside puhul tekib võlli läbipaindumise korral hädaoht ülekoormuse tekkimiseks



Joon. 56.



Joon. 57.

laagrikausi otsal, plastmassid on aga ülekoormusele palju tundlikumad kui metallid. Väga oluline on tapi ja laagrikausi vahelise haardenurga (kokkupuute ulatuse) valik. Suure, kuni  $180^\circ$ -ni ulatuva haardenurga puhul tekib plastmasside suure elastsuse tõttu hädaoht tapi kinnisurumiseks laagrikausi vahele, mistõttu suurenevad hõõrdekaod ja tekkiva soojuse hulk. Selline olukord viib plastmassilaagri kiirele purunemisele. Haardenurga suuruseks on soovitatav valida  $120-130^\circ$ .

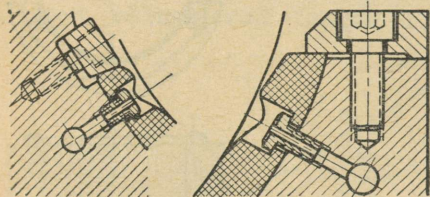
Tapi ja laagrikausi vahelise lõtku valikul on vaja arvestada siin peale teiste vedelikulise hõõrdumise osas käsitletud faktorite veel materjalide erinevaid joonpaisumistegureid ja plastmasside paisumist niiskuse ja vedelikkude toimel.

Viimase vältimiseks võib laagreid enne lõplikku töötlemist immutada temale määratud määrdeainega. Sel puhul võib lõtku valida tervikuna valmistatud laagrikaussidele  $0,3-0,7\%$  võlli läbimõõdust, plaatidest koostatud laagrikaussidele vähem, piirides  $0,1-0,3\%$ .

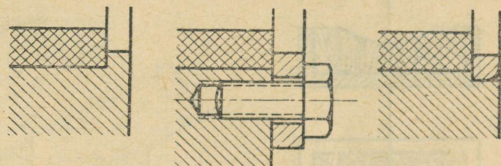
Kui laagri ülesandeks on vastu võtta teljesuunalisi jõude, tuleb laagrikauss varustada vastava äärikuga. Väikeste jõude puhul valmistatakse

äärrik puksi või laagrikausiga ühe tervikuna, suuremate jõudude esinemisel kasutatakse eraldi monteeritavaid äärrikuid (joon. 56 ja 57).

Plastmassist pukse on laagrikeresse soovitatav pressida ja hiljem täiendavalt kinnitada. Kinnitamiseks pöörlemise vastu laagrikeres kasutatakse joonisel 58 toodud moodusi, teljesuunaline liikumatus tagatakse joonisel 59 esitatud moodustel. Joonisel 58 on näha ka kanalid konsistentse määrde-



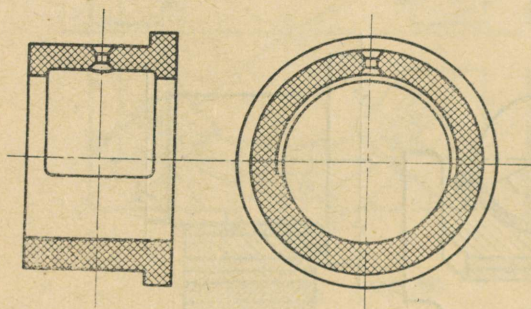
Joon. 58.



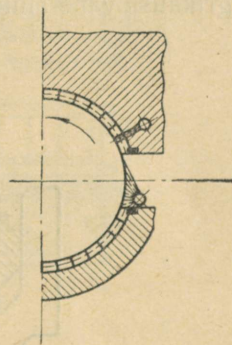
Joon. 59.

aine juurdejuhtimiseks ja reservuaarikesed viimasele. Kihiliste materjalide tükkidest valmistatud puksid ei vaja lisakinnitamist, kuna määrdeaine mõjul toimub materjalide küllaldane paisumine.

Nagu varem juba märgitud, leiavad plastmassidest laagrikaussides määrdeainena kasutamist vesi, vee ja õli emulsioon, mineraalõlid, samuti on võimalik kasutada ka konsistentseid määrdeaineid. Konsistentsete



Joon. 60.

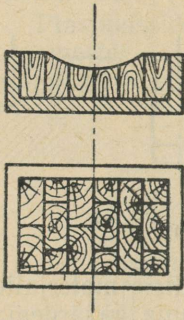


Joon. 61.

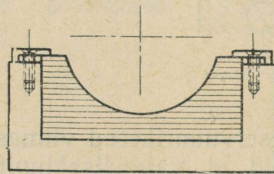
määrdeainetega määrimisel juhitakse soojus ära peamiselt võlli kaudu, seepärast on nimetatud mooduse kasutamine võimalik vaid tapi väikese kiiruse juures või ka mittepideval töötamisel. Suurematel kiirustel töötavate tappide puhul tuleb kasutada määrimist vedelikudega, kusjuures laagrisse juhitava määrdeaine hulk peab olema laagri jahutamiseks küllaldane. Laagri paremaks jahutamiseks õlimäärimisel võib teha laagrikausi koormamata ossa erilised õlitaskud (joon. 60). Vesimäärimisel on kasutatavad erilised torud-pihustid. Siin on torud, mis toovad kohale vett, varustatud aukudega, mille läbi toimubki vee pihustamine. Joonisel 61 on

näha kaks toru, kus ühe ülesandeks on küllaldase hulga vee juhtimine hõõrduvate pindade vahele, teisel aga peamiselt kuumenenud vee ja koos sellega ka tolmu ja tekkiva tagi eemaldamine.

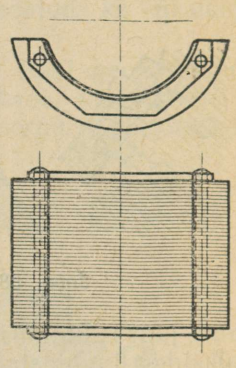
Lignostoni ja lignofooli kui rohkesti paisuvate materjalide kasutamisel on otstarbekas piirata nende võimalikku paisumist nende asetamisega



Joon. 62.

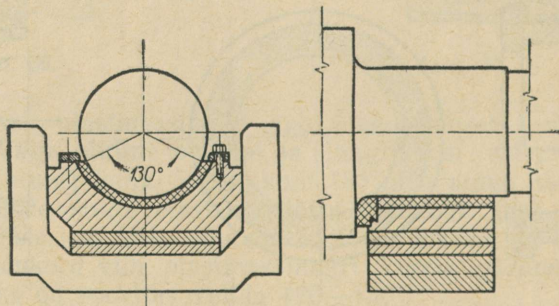


Joon. 63.



Joon. 64.

metalletesse kassetitesse (joon. 62), mispuhul muidugi ka kogu laagri konstruktsioon muutub tublisti kompaktsemaks ja tugevamaks, samuti laagrikausi vahetamine lihtsamaks. Ka tekstoliidist valmistatud, koostatud



Joon. 65.

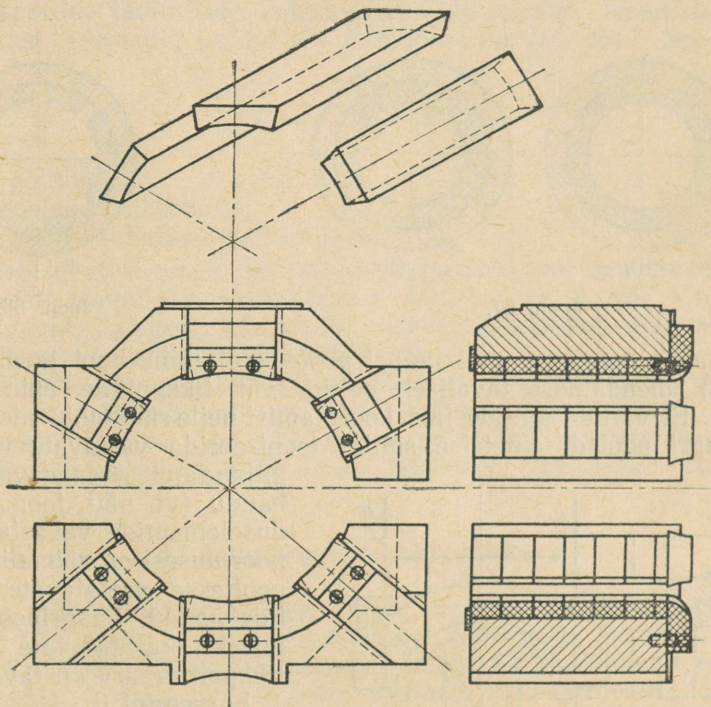
laagrikausse kasutatakse asetatuna metallkassetitesse. Näitena konstruktsioonidest metallkassetide kasutamisel on toodud joonised 63 ja 64.

Joonisel 63 kujutatud konstruktsioon ei ole suurtel koormustel vastu pidav — tekib plastmassi kiire kulumine ja laagrikausi purunemine, mida peale plaatide ebasobiva asetuse veelgi soodustab materjali paisumine. Joonisel 64 esitatud konstruktsioon on küll tugevam, kuid võib kergemini vigastada tappi. Väiksemate jõudude esinemisel on aga kirjeldatud konstruktsioonid kasutatavad.

Paremaid tagajärgi on ekspluatatsioonis näidanud joonisel 65 esitatud konstruktsioon, mis on kasutusel valtspinkides, ja kus laagrikauss on pressitud tekstoliidist, äärik on valmistatud eraldi.

Joonisel 66 kujutatud 600 mm läbimõõduga tekstoliitlaager on iseloomulikult suurtele plastmasslaagritele koostatud üksikutest segmentidest.

Kummi-laagrikausse kasutatakse peamiselt kas puksidena (joon. 67) või ka üksikute segmentidena (joon. 68), mis on kinnitatud metallkeresse. Konstruktsioonid joonistel 67, b ja 68 toodud skeemide kohaselt võimaldavad laagrisse juhtida suuremal hulgal määrimiseks



Joon. 66.

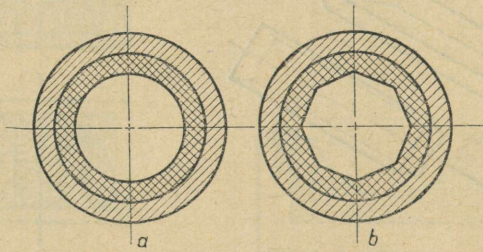
vajalikku vett. Kummi-laagrid on hästi kasutatavad ebäühtlasele koormusele. Kuluvuse vähendamiseks ja laagri eea suurendamiseks ei ole soovitatav laagrit koormata kohe käivitamismomendil, vaid alles pärast teatavat ajavahemikku, mil määrimine on kujunenud juba küllaldaseks.

#### b. Laagri kere.

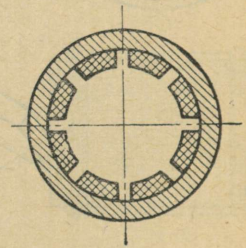
Laagri kere konstruktiivne kuju on määratud ühelt poolt laagrikausi kujuga, teiselt poolt laagri kinnitamise võimalusega alusele. Nagu teistegi konstruktsioonide juures, nii ka siin kehtivad nõuded, et laagri kere

oleks küllalt tugev, küllalt jäik, sealjuures kerge ja võimalikult lihtsa konstruktsiooniga, lihtsalt monteeritav jne. Olenevalt laagri kujust, tootetavate laagrite hulgast jms. võib laagri kere olla valmistatud kas valatuna, sepistatuna või keevitatuna.

Alljärgnevas vaatlеме peamiselt poolitatud laagrite konstrueerimisega seotud küsimusi, kuna poolitamata laagrite puhul tuleb kere kujundamisel tagada põhiliselt ainult konstruktsiooni jäikus. Ka on paljud poolitamata laagrid normitud, mistõttu nende valik osutub konstruktorile võrdlemisi lihtsaks. Andmeid nimetatud laagrite kohta vt. p. 6.

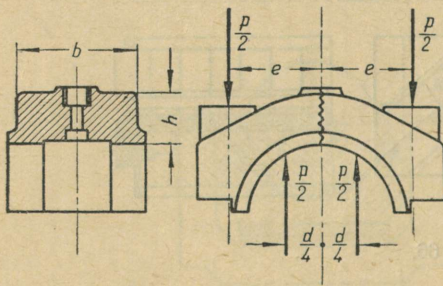


Joon. 67.



Joon. 68.

Poolitatud laagrite puhul laagri pooled (alumine pool ja ülemine pool ehk kaas) ühendatakse tavaliselt poltide või tikkpoltide abil, harvemini kiiludega. Et vältida poltide jms. koormamist neile risti mõjuvate jõududega, tuleb laagri pooled teineteise suhtes tsentreerida vastavate väljaastmete



Joon. 69.

kujundamisel saadavate pindade kaudu (vt. näit. joon. 32). Ühenduselementide vabastamine ristikoormusest on võimalik ka laagripooltesse asetatavate seadetihvtide kaudu. Laagripoolte kinnitamiseks kasutatavate poltide või tikkpoltide arv on tavaliselt 2 või 4, harvemini 6.

Teatud määral võib laagri kaane mõõteid määrata, kasutades elementaarset arvutuskäiku.

Arvutuse aluseks võetakse kõige ebasoodsam olukord, kus tapi poolt laagrile üle kantav koormus mõjub kaanele. Kui vastavalt joonisele 69 selleks jõuks on  $P$ , siis suurim paindemoment laagri kaanes on

$$M_p = \frac{P}{2} \left( e - \frac{d}{4} \right);$$

laagri kaane ristlõike vastupidavusmoment on ligikaudu

$$W = \frac{bh^2}{6},$$

kus  $b$  on laagri kaane ristlõikepinna joonise pinnaga ristiolev mõõde. Seega avaldub vajalik tugevustingimus võrrandiga

$$\frac{P}{2} \left( e - \frac{d}{4} \right) \leq \frac{bh^2}{6} R_p, \quad (19)$$

kus  $R_p$  on laagri kaanes lubatav paindepinge. Viimasest on lihtne määrata ristlõike pinna mõõde  $h$ , teine ( $b$ ) on määratud laagrikausi pikkusega. Malmi puhul võib lubatava paindepinge võtta siin  $R_p = 350-450 \text{ kg/cm}^2$ .

Uhenduspoltide läbimõõdu määramisel võib samuti kasutada lihtsustatud arvutust, arvutades poldid jõu  $P$  mõjul esinevale tõmbele:

$$P = n \cdot \frac{\pi d_{sis}^2}{4} R_t, \quad (20)$$

kus  $n$  on poltide arv,

$d_{sis}$  — poldi siseläbimõõt,

$R_t$  — poldis lubatav tõmbepinge.

Siin tuleb lubatav pinge poltide eeltingestuse arvessevõtmiseks valida küllalt madal (tavaliselt kasutatavate teraste Cr. 2 või Cr. 3 puhul  $R_t \leq 400 \text{ kg/cm}^2$ ). Õigem on siiski vastutusrikkamate seadmete puhul kasutada täpsemat arvutust (vt. *Pollliited*).

Samalaadsetel kaalutlustel võib määrata ka laagri alumise poole mõõteid ja mõõted poltidele, millega laager alusele kinnitatakse. Veelkordselt olgu aga siinjuures alla kriipsutatud, et selline arvutusviis on suures osas leppeline ja järelikult võib oma iseloomult olla ainult orienteeruv.

#### 4. Liugelaagrite määrimine.

Laagrite määrimise probleemile tuleb laagrite konstrueerimisel pöörata erilist tähelepanu. Hästi korraldatud määrimise puhul kujunevad energiakaod väiksemaks, esineb väiksem kulumine ja järelikult ka harvem remondivajadus. Teisest küljest peab seejuures ka määrdeaine kulu olema võimalikult väike.

Punktis *Määrimise moodused ja määrdeseadmed* käsitletud võimalikud määrimismoodused leiavad liugelaagrites küllalt sagedast kasutamist, kuid ülalmärgitud nõudeile nad alati täielikult ei vasta.

Eespool toodud arutlused nimetatud määrimismooduste kohta on täielikult kehtivad ka liugelaagrite määrimisel ja seetõttu neid siin ei korrata. Palju suuremal määral rahuldab ülalnimetatud nõudeid rõngasmäärimine, mis on liugelaagrite juures kujunenud täiesti spetsiifiliseks määrimismooduseks ja leidnud väga laialdast kasutamist.

Rõngasmäärimine on sisuliselt tsirkulatsioonmäärimine, kus vajalik kogus õli on mahutatud laagri kesse kujundatud reservuaari ja kus õli toimetatakse tööpindadele võllil asuva õlirõnga abil. Õlirõngas võib olla tapil lahtiselt või kinnitatult, vastavalt sellele eristatakse määrimist kin-



puhul väiksem. Õlirõnga õli läbimise sügavuse  $t$  (joon. 70), olenevalt õlirõnga välisläbimõõdust  $D$ , võib valida järgmiselt:

kui  $D = 25-40$ , siis  $t = \frac{D}{4}$ ;

kui  $D = 45-60$ , siis  $t = \frac{D}{5}$ ;

kui  $D = 70-310$ , siis  $t = \frac{D}{6}$ .

Lahtiste õlirõngaste mõõteid on toodud tabelis 33.

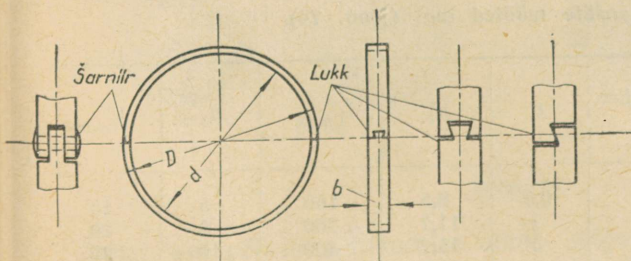
Tabel 33.

Lahtiste õlirõngaste mõõteid mm (joon. 70).

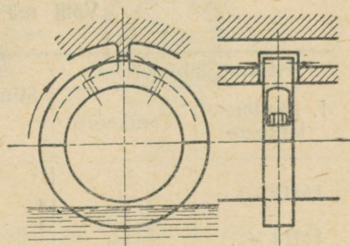
$d$	$D$	$s$	$b$	$d$	$D$	$s$	$b$	$d$	$D$	$s$	$b$
10	25	2	5	42	75	3	10	100	165	5	15
12	30	2	5	45	80	3	10	105	165	5	15
14	35	2	6	48	80	3	10	110	180	5	15
15	35	2	6	50	90	4	12	115	180	5	15
16	35	2	6	52	90	4	12	120	180	5	15
18	40	2	6	55	90	4	12	125	200	5	15
20	40	2	6	60	100	4	12	130	200	5	15
22	45	2	6	62	110	4	12	140	220	6	18
25	50	3	8	65	110	4	12	150	240	6	18
28	50	3	8	70	120	4	12	160	240	6	18
30	55	3	8	75	120	4	12	170	260	6	18
32	60	3	8	80	130	4	12	180	285	6	18
35	65	3	10	85	140	5	15	190	285	6	18
38	70	3	10	90	140	5	15	200	310	7	21
40	70	3	10	95	150	5	15				

Pikemate laagrikausside puhul kasutatakse kahte õlirõngast (vt. joon. 85).

Nagu eeltoodust selgub, on lahtine õlirõngas kasutatav ainult tapi horisontaalse asendi puhul. Ka tõukelise koormuse suhtes on lahtine õlirõngas tundlik, kuna tõuked võivad põhjustada tapi ja õlirõnga kontakti,



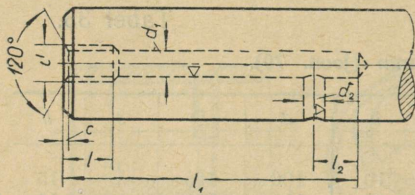
Joon. 72.



Joon. 73.

järelikult ka õli juurdevoolu ajutist katkemist. Seega on lahtise õlirõnga määrimine kasutatav ainult statsionaarsete masinate laagrites.

Nimetatud puudused ei esine kinnise õlirõnga kasutamisel. Sel puhul on õlirõngas kujundatud tavaliselt poolitatuna ja asetatud kindlalt (kas kruviga, vedruga vms.) võllile, kusjuures pooled on omavahel kruvidega ühendatud (joon. 73). Peamist kasutamist leiab määrimine kinnise õlirõngaga väiksematel kiirustel, kuigi ta on kasutatav ka suurematel kiirustel. Õlirõngas läbib laagri kereesse kujundatud õlireservuaari umbes oma poole paksuse sügavuselt ja rõngale liibunud õli eraldatakse



Joon. 74.

laagri ülemises osas erilise kraapija kaudu. Kraapija juhhib õli laagri kere asuvate vastavate kanalite kaudu töötavatele pindadele. Kuna kinnise õlirõnga kasutamine eeldab laagrikausi katkestamist õlirõnga kohal, väheneb laagri kandevõime.

Mõnikord kasutatakse lahtise õlirõnga asemel lõputut ketti, mis on vabalt tapile riputatud. Keti kasutamine annab võimaluse kujundada

suuremaid laagreid veidi väiksemate gabariitidega.

Kanalid määrdeaine juhtimiseks kogu tapi pikkusele olgu moodustatud laagrikausi koormamata ossa, nagu ka eespool juba laagrikausside kujundamise käsitlemisel märgitud.

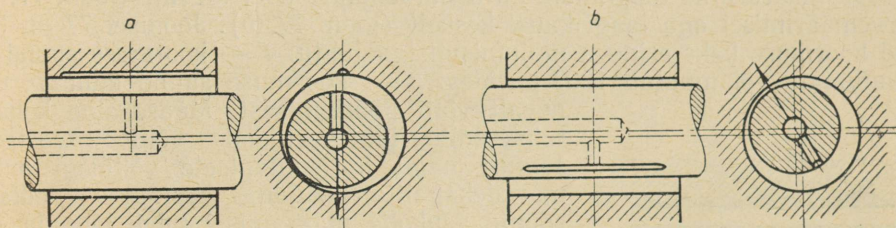
Paljudel juhtudel ei kasutata määrdeaine juhtimiseks töötavatele pindadele mitte laagrikaussi, nagu seda senistes arutlustes on eeldatud, vaid määrdeaine juhatakse laagrisse läbi võlli. Selleks on võllisse puuritud vastavad kanalid: pikisuunas — määrdeaine piki võlli edasijuhtimiseks, ja radiaalsuunas — määrdeaine juhtimiseks töötavatele pindadele. Joonisel 74 on toodud nimetatud juhtkanalite kuju, kusjuures määrdeaine toimetatakse võllisse kas pritsi abil (meetiline keere) läbi õlitoosi või määrdeitoosi kaudu (torukeere). Tabelis 34 on toodud kanalite kujundamiseks vajalikud mõõted.

Tabel 34.

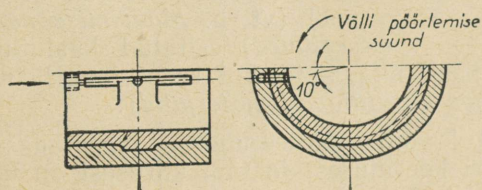
Võlli määrdekanalite mõõted mm (joon. 74).

Keerme läbimõõt <i>d</i>		Minimaalne <i>l</i>	<i>c</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>l</i> <sub>1 max</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>l</i> <sub>2 min</sub>
1. peenmeeterkeere	Torukeere						
1M10×1	—	12	0,5	8,5	150	5	15
	1/4" Трыб	18	1	11,7	200	8	20
1M14×1,5	—	20	1	15,2	400	10	25
	1/2" Трыб	25	1	18,9	800	12	30

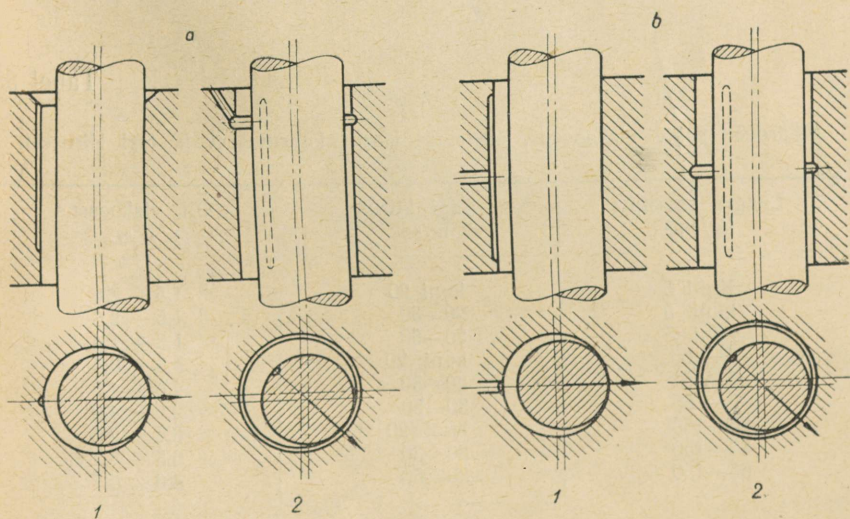
Ka siin tuleb määrdeaine juhtida piki laagrit pikikanali kaudu, mis on siis koormamata poolele, — laagrikausi pinnal, kui koormuse suund on muutumatu või muutuv  $180^\circ$  piires, ja võlli pinnal, kui koormuse suund on muutuv, olenevalt võlli pöörlemisest (joon. 75, a ja b).



Joon. 75.



Joon. 76.



Joon. 77.

Juhul, kui pöörleva liikumise omab laager (võll ei pöörle), siis on määrdeaine juhtimine laagri tööpinnale teostatav läbi võllisse kujundatud radiaalsete avade, mis samuti olgu juhitud laagri koormamata ossa.

Konsistentsete määrdeainete kasutamisel on soovitatav neid juhtida laagrisse umbes  $10^\circ$  allpool laagrikausi poolituspinda, völli pöörlemise suunas (joon. 76).

Kui pöörlev völli asetseb konstruktsioonis vertikaalselt, siis on vajalik juhtida määrdeaine tööpinnale mitte-survemäärimisel ülevalt (joon. 77, a), survemäärimisel aga laagrikausi keskelt (joon. 77, b). Joonisel 77 on toodud koormuse kaks erineva mõjumisviisiga juhtu: 1 — koormuse suund on muutumatu või muutub  $180^\circ$  piirides; 2 — koormuse suund muutub, olenevalt völli pöörlemisest. Määrdeaine kohaletoimetamine läbi vertikaalse völli on teostatav samuti nagu horisontaalsete völlidegi puhul määrdekanalite kaudu, kusjuures radiaal-soonte asukoha määramisel tuleb lähtuda sellest, kas kasutatakse survemäärimist või mitte.



Joon. 78.

Määrdeaine valikul on kehtivad täiesti eespool (vt. p. *Määrimise moodused ja määrde-seadmed*) esitatud kaalutlused. Samuti tuleb tähele panna märkusi, mis on toodud seoseslaagrikausside materjalidega (vt. p. *Liugelaagrites kasutatavad materjalid*).

Määrdeöli valikul võib orienteerumiseks kasutada tabeli 35 andmeid, kus olenevalt laagri koormusest ja tapi kiirusest on toodud kasutamiseks sobiva määrdeöli viskoossus.

Tabel 35.

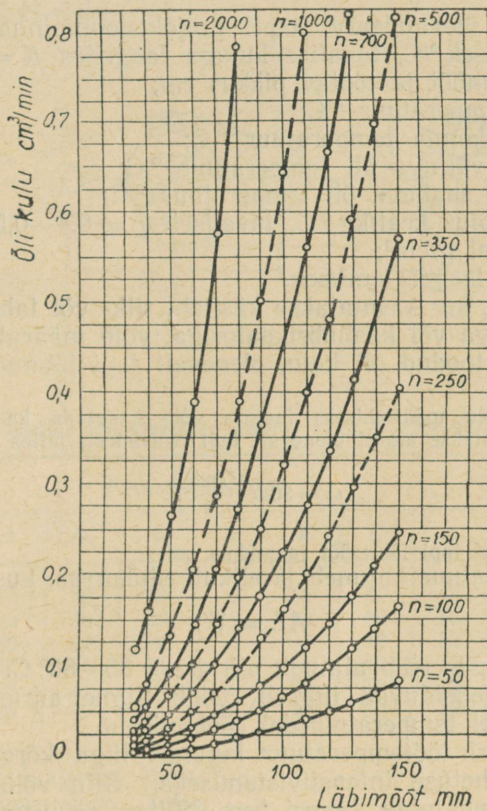
Määrdeöli sobiv viskoossus, olenevalt laagri koormusest ja tapi kiirusest.

Laagri koormus kg/cm <sup>2</sup>	Tapi kiirus m/sek	Öli viskoossus E <sup>50</sup>
Kuni 5	kuni 20	1,5— 2,8
kuni 5	20—30	1,5— 2,8
kuni 5	30—50	1,3— 1,4
5— 65	kuni 20	5,5— 6,5
5— 65	20—30	4,0— 4,5
5— 65	30—50	2,5— 4,0
65—150	kuni 20	8,0—12,0
65—150	20—30	6,5— 8,5
65—150	30—50	4,0— 6,5

Kõrgetel temperatuuridel töötavais laagreis võib sobiva määrdeainena kasutada grafiiti. Seejuures täidab grafiit tapi ja laagrikausi ebatasasused (joon. 78).

## 5. Laagri temperatuur.

Laagris tekkiv püsiv temperatuur on määratud olukorraga, kus töötamisel antud režiimil mingis ajaühikus tekkiv soojushulk osutub võrdseks



Joon. 78a.

laagrist samas ajaühikus eemalduva soojushulgaga. Hõõrdetõega ekvivalentne soojushulk on

$$AL = \frac{1}{427} Pfv \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{sek}} \right], \quad (21)$$

kus  $L$  on 1 sekundis tehtud töö kgm,

$P$  — mõjuv jõud kg,

$f$  — hõõrdetegur laagris,

$v = \frac{\pi dn}{60}$  — tapi kiirus m/sek.

Eemalduv soojushulk koosneb kahest osast: laagri välispinna kaudu ümbritsevasse keskkonda väljuvast soojusest ja tsirkulatsioonmäärimisel õliga eemaldatavast soojusest:

$$W = Kdl(t_1 - t_0) + \frac{cQ\gamma}{1000} (t_2 - t_1) \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{sek}} \right], \quad (22)$$

kus  $K$  on soojuse ülekandearv tapi projektsioonipinna 1 cm<sup>2</sup> kohta kcal/cm<sup>2</sup> sek °C, tavalise kujuga laagrites  $K = 7 \cdot 10^{-6}$ ;

$d$  ja  $l$  — tapi läbimõõt ja töötav pikkus cm;

$t_1$  — laagri temperatuur °C;

$t_0$  — väliskeskkonna temperatuur °C;

$t_2$  — laagrist väljuva õli temperatuur °C;

$t_1$  — laagrisse saabuva õli temperatuur °C;

$c$  — õli erisoojus kcal/kg °C, tavaliselt  $c = 0,4-0,5$ ;

$\gamma$  — õli erikaal g/cm<sup>3</sup>;

$Q$  — õli kulu laagris, cm<sup>3</sup>/sek.

Õli kulu laagris, kui kasutatakse käsitsi-, tilk- või tahtmäärimist, määrimist määrepreitsiga või käsilibrikaatoriga, võib määrata graafikust joonisel 78-a, kus on toodud õli kulu, olenevalt tapi läbimõõdust ja pöörete arvust minutis<sup>1</sup>.

Ligikaudseks õlikulu määramiseks laagris võib kasutada ka empiirilist valemit, millega õli kulu arvutatakse ainult olenevalt tapi mõõdetest, jättes arvestamata kiiruse:

$$Q = 30dl \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{h}} \right], \quad (23)$$

kus  $d$  ja  $l$  on vastavalt tapi läbimõõt ja pikkus cm.

Püsiv töötemperatuur kujuneb järelikult olukorras, kus

$$AL = W. \quad (24)$$

Laagri temperatuur võib ulatuda piiridesse 35—80° C. Kõrgematel temperatuuridel õlid vedelduvad liigselt, tekib liigne aurustumine. Samuti suureneb kõrgematel temperatuuridel sööbimisoht.

Juhul, kui laagri töötemperatuur kujuneb liiga kõrgeks, tuleb otsida võimalusi soojusvahetuse intensiivistamiseks. Siin võib küsimusse tulla jahutuspinna suurendamine, laagri kere ribitamine, ventilaatorite kasutamine, laagri kere kujundamine jahutussärgiga jms. või tuleb luua laagritele kergem töörežiim.

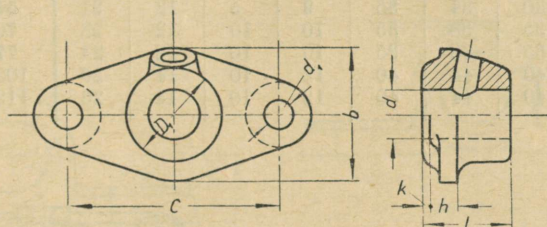
## 6. Liugelaagrite konstruktsioone.

### a. Radiaal-liugelaagrid.

Poolitamata laagrite kasutamine on piiratud lihtsamate konstruktsioonidega, neid saab edukalt kasutada vaid seal, kus võlli toetamiseks kasutatakse ainult kahte laagrit, mispuhul on võimalik võlli ja laagrit edukalt

<sup>1</sup> П. Г. Львовский, Справочное руководство механикам металлургических заводов, Металлургиздат, 1949.

monteerida aksiaalsuunas. Paljud sellised lihtsamad, poolitamata laagrid on normitud. GOCT 1986-48 annab mõõted kahe (joon. 79) ja kolme (joon. 80) poldiga kinnitatavaile *ä*äriklaagreile ja pesalaagreile (joon. 81). Laagrite materjaliks on malm CЧ 18-36. Vastavate laagrite normitud mõõted on toodud tableis 36, 37 ja 38. Siinjuures piirkoormus  $P_1$  kehtib heal määrimisel, tõötamisel tõugeteta,  $P_2$  — raskemates tingimustes tõötavatele olukordadele.



Joon. 79.

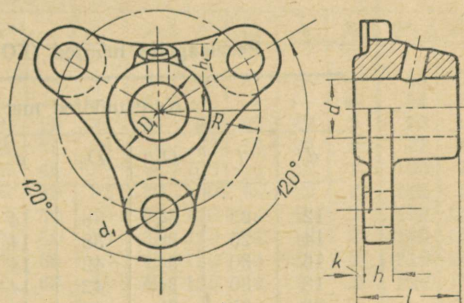
Tabel 36.

Kahe poldiga *ä*äriklaagrite mõõted (GOCT 1986-48) (joon. 79).

Kere m <span>õ</span> õted mm								Piirkoormus kg	
$d$	$l$	$D_1$	$b$	$h$	$k$	$C$	$d_1$	$P_1$	$P_2$
12	25	30	38	8	5	60	10	30	21
14	25	30	38	8	5	60	10	35	25
16	30	34	42	9	5	70	12	48	34
18	30	34	42	9	5	70	12	54	38
20	38	38	46	10	10	70	12	70	49
22	38	38	46	10	10	70	12	77	54

Samalaadilisi laagreid kasutatakse ka mitmesuguse teise väliskujuga, olenedes koormuse suurusest, seadmesse kinnitamisest jms. Näitena on toodud Y3TM konstruktsiooni nelja poldiga kinnitatav *ä*äriklaager (joon. 82), mis on varustatud pronkspuksiga margist Бр. ОЦС 6-6-3.

Toodud laagrite määrimine toimub kas käsitsimäärimisena või *õ*litooside kaudu, olenevalt seadme räžiimist ja vastutusrikkusest.

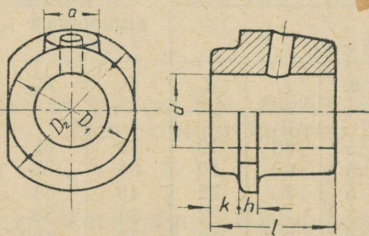


Joon. 80.

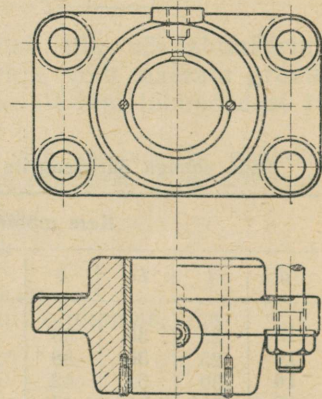
Tabel 37.

Kolme poldiga ääriklaagrite mõõted (ГОСТ 1986-48) (joon. 80).

Kere mõõted mm								Piirkoormus kg	
$d$	$l$	$D_1$	$R$	$h$	$k$	$d_1$	$h_1$	$P_1$	$P_2$
15	30	34	35	9	5	12	21	48	34
18	30	34	35	9	5	12	21	54	38
20	35	38	35	10	10	12	23	70	49
22	35	38	35	10	10	12	23	77	54
25	40	44	40	12	10	14	26	100	70
28	40	44	40	12	10	14	26	112	79



Joon. 81.



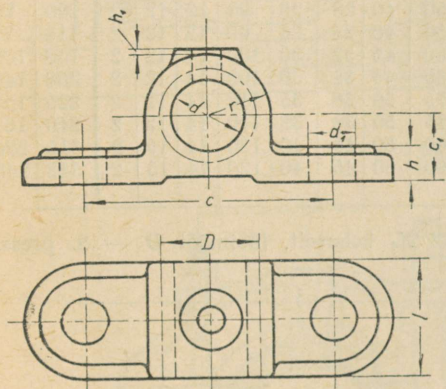
Joon. 82.

Tabel 38.

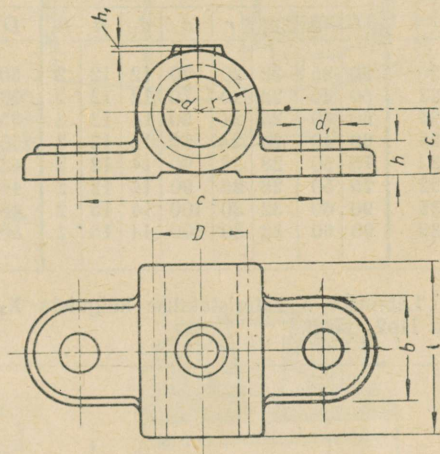
Pesalaagrite mõõted (ГОСТ 1986-48) (joon. 81).

Kere mõõted mm							Piirkoormus kg	
$d$	$l$	$D_1$	$D_2$	$a$	$k$	$h$	$P_1$	$P_2$
12	25	30	38	14	5	4	30	21
14	25	30	38	14	5	4	35	25
16	30	34	42	14	5	4	48	34
18	30	34	42	14	5	4	54	38
20	35	38	46	16	10	4	70	49
22	35	38	46	16	10	4	77	54
25	40	44	52	16	10	4	100	70
28	40	44	52	16	10	4	112	79

Normitud laagritest on toodud veel mõõdet poolitamata kitsastele ja laiadele laagritele ГOCT 1986-48 järgi (tabelid 39 ja 40, joonised 83 ja 84). Nimetatud laagrid võivad olla kujundatud nii puksita kui ka puksiga. Puksi ja laagrikere materjaliks on malm, mitte madalam kui Ч4 18-36. Võlli kiirus on piiratud 0,5 m/sek.



Joon. 83.



Joon. 84.

Tabel 39.

Poolitamata kitsad liugelaagrid (ГОСТ 1986-48) (joon. 83).

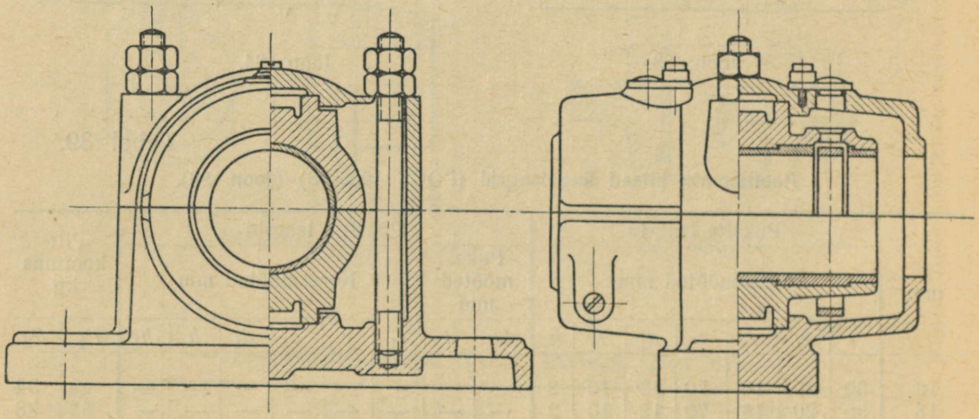
d mm	Puksita laagrid							Puksiga laagrid							Piir- koormus kg		
	Kere mõõted mm							Kere mõõted mm									
	l	c <sub>1</sub>	r	c	d <sub>1</sub>	h	h <sub>1</sub>	D	l	c <sub>1</sub>	r	c	d <sub>1</sub>	h	h <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
16	30	20	18	70	12	10	2	—	—	—	—	—	—	—	—	48	34
18	30	20	18	70	12	10	2	—	—	—	—	—	—	—	—	54	38
20	35	22	20	70	12	12	2	30	35	28	26	90	12	12	2	70	49
22	35	22	20	70	12	12	2	32	35	28	26	90	12	12	2	77	54
25	40	25	24	80	14	12	2	35	40	32	30	100	14	12	2	100	70
28	40	25	24	80	14	12	2	38	40	32	30	100	14	12	2	112	79
30	50	28	26	90	14	12	2	42	50	38	35	110	14	12	2	150	105
32	50	28	26	90	14	12	2	45	50	38	35	110	14	12	2	160	112
35	60	32	30	100	14	15	2	48	60	45	40	120	14	15	2	210	147
38	60	32	30	100	14	15	2	50	60	45	40	120	14	15	2	226	158

Läbimõõt  $d$  valmistatakse käiguistu  $X_3$  või  $X_4$  kohaselt, läbimõõt  $D$  — 2. pressistu  $Пp_2$  järgi.

Poolitamata laiad liugelaagrid (ГОСТ 1986-48) (joon. 84).

d mm	Puksita laagrid							Puksiga laagrid							Piir- koormus kg				
	Kere mõõted mm							Puksi mõõded mm	Kere mõõted mm										
	l	b	c <sub>1</sub>	r	c	d <sub>1</sub>	h		h <sub>1</sub>	D	l	b	c <sub>1</sub>	r	c	d <sub>1</sub>	h	h <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>
20	50	35	22	20	70	12	12	2	30	50	40	28	26	90	12	12	2	100	70
22	50	35	22	20	70	12	12	2	32	50	40	28	26	90	12	12	2	110	77
25	60	40	25	24	80	14	12	2	35	60	45	32	30	100	14	12	2	150	105
28	60	40	25	24	80	14	12	2	38	60	45	32	30	100	14	12	2	208	144
30	75	50	28	26	90	14	12	2	42	75	50	38	35	110	14	12	2	225	157
32	75	50	28	26	90	14	12	2	46	75	50	38	35	110	14	12	2	240	168
35	90	60	32	30	100	14	15	2	48	90	60	45	40	120	14	15	2	315	220
38	90	60	32	30	100	14	15	2	50	90	60	45	40	120	14	15	2	342	240

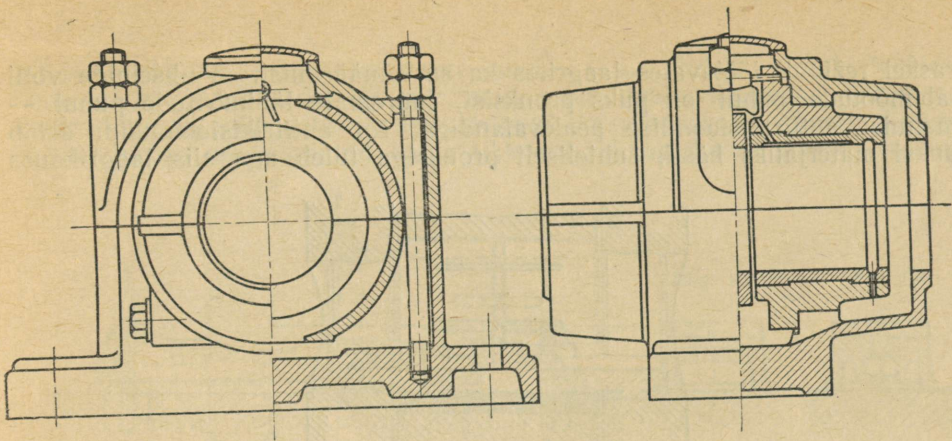
Läbimõõt  $d$  valmistatakse käiguistu  $X_3$  või  $X_4$  kohaselt, läbimõõt  $D$  — 2. pressistu  $\Pi p2_3$  järgi.



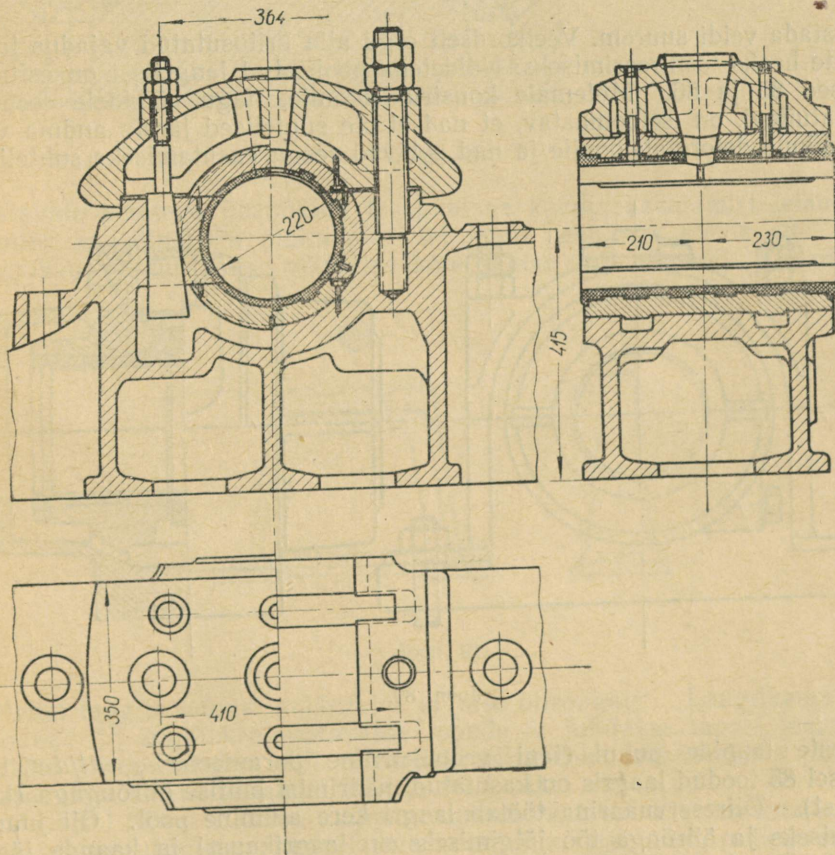
Joon. 85.

Toodud laagrite määrimine on ette nähtud õlitooside kaudu, milleks laagrikeresse on puuritud vastav ava.

Kui tappe ei ole antud võlli laagritesse võimalik aksiaalses sihis monteerida, tuleb kasutada poolitatud laagreid. Ka siin kasutatakse väiksema vastutusrikkusega ja kergel režiimil töötavate seadmete puhul tilk- või tahtmäärimist, õlitoose, määrimist konsistentsete määrdeainetega jne., vastutusrikkamates seadmetes aga rõngasmäärimist või raskeltkoormatud ja

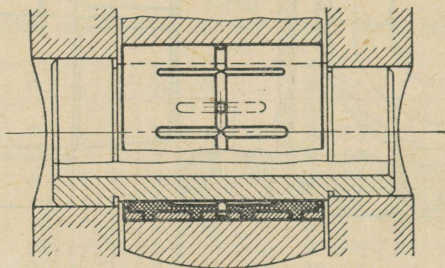


Joon. 86.



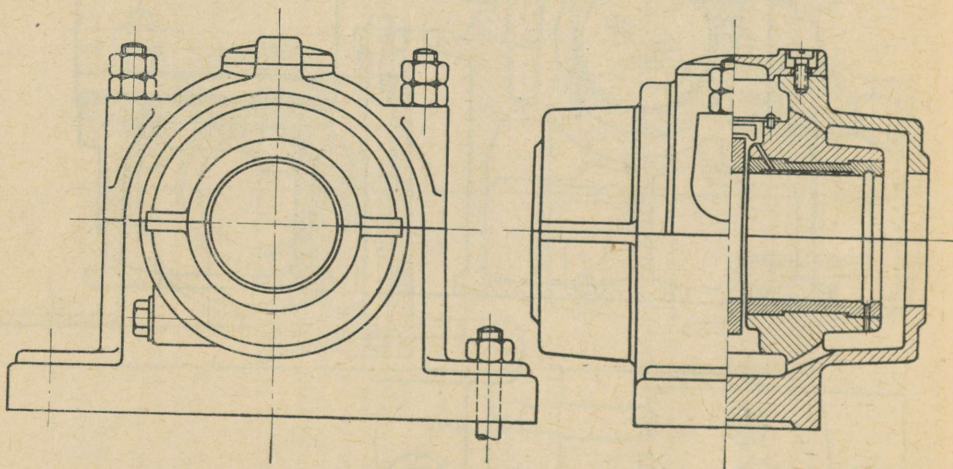
Joon. 87.

raskel režiimil töötavates laagrites ka survemäärimist. Väiksemate võlli läbimõõtude puhul on puks pronksist, suuremate läbimõõtude puhul — malmist, antifriksioonilise pealevalandiga. Ka antifriksioonmalm sobib puksi materjaliks hästi, suhteliselt pronksiga tuleb aga siis laagrikauss



Joon. 88.

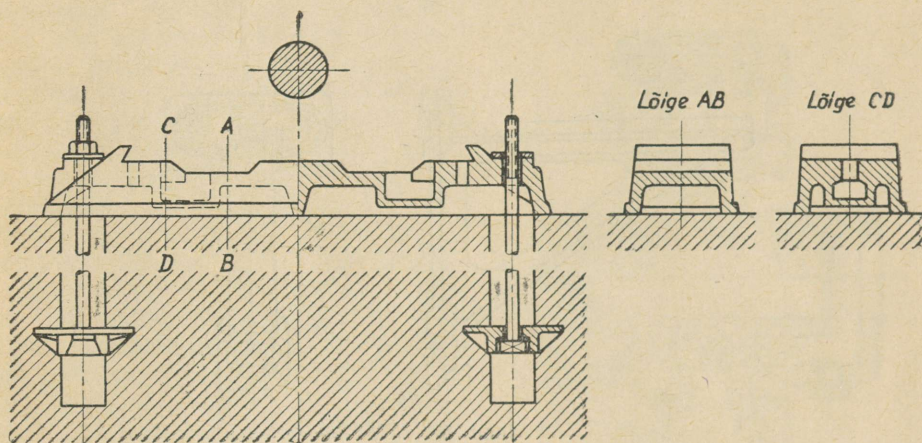
valmistada veidi suurem. Veelkordselt olgu alla kriipsutatud vajadus laagripoolte heaks tsentreerimiseks. Näidetena poolitatud laagritest on esitatud joonised 85 ja 86. Mõlemale konstruktsioonile, nagu kõikidele eespool nimetatulegi, on iseloomustav, et nad ei ole suutelised järele andma võlli võimalikule deformatsioonile ja nad sobivad seega kasutamiseks suhteliselt



Joon. 89.

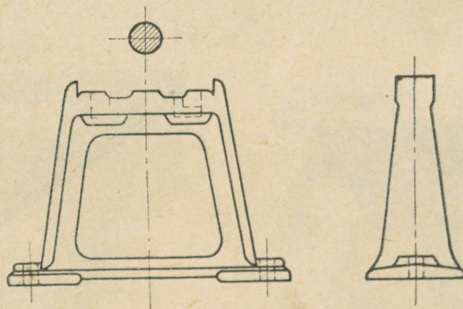
lühikeste tappide puhul (tapi geomeetriline parameeter  $\varphi = l/d \leq 1,8$ ). Joonisel 85 toodud laagris on kasutatud määrimist lahtise õlirõngaga (kaks rõngast). Õlireservuaarina töötab laagri kere alumine pool. Õli juurdevalamiseks ja õlirõnga töö jälgimiseks on laagrikaussi ja kaande jäetud küllalt suured avad. Õli väljalaskmiseks laagrist (õli vahetamisel) on

põhja tasapinnas vastav õlikorgiga suletav ava. Õlikork ei tohi lekkida, kuna sel puhul võiks õlihulk reservuaaris tunduvalt väheneda. Õli nivoo kontrollimiseks võib antud konstruktsioonis kasutada kontrollkorki. Laagri ühendamiseks on kasutatud kahte tikkpolti. Laagrikausi pooled on kere



Joon. 90.

vastavate pooltega ühendatud tasapindade kaudu, kasutamist leiab ühendamise ka silindrilisi pindu pidi, sel juhul peab aga olema ette nähtud laagrikausi pidurdamise võimalus kere suhtes (vt. eespool). Joonisel 86



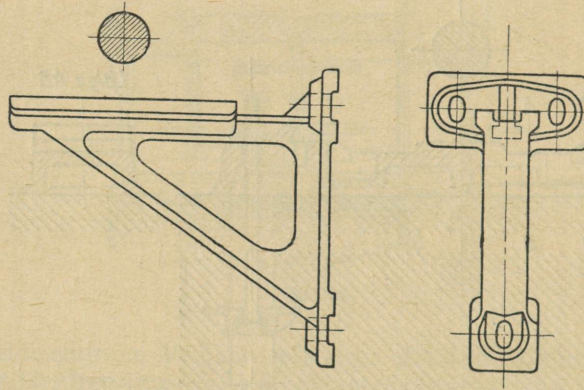
Joon. 91.

esitatud laagris toimub määrimine kinnise õlirõngaga. Laagrikausi otsani imbunud õli kogutakse vastavasse soonde ja juhitakse tagasi laagri kere keskele õlireservuaari. Oli võimaliku väljavoolu takistamiseks piki võlli on soovitatav kasutada laagri kere ja võlli vahel vilttihendit.

Joonisel 87 on esitatud näitena suurema horisontaalse aurumasina pealaagri konstruktsioon. Laagrikauss koosneb neljast osast, millede reguleerimine toimub seadekiilude abil. Laagri kere konstruktsioon on parema

jahutamise ja kerguse saavutamiseks kujundatud ribitatuna. Oli juhitaakse laagrisse ülevalt.

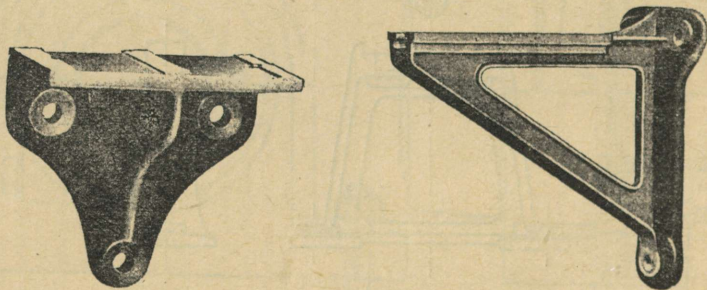
Vahelduval koormusel on soovitatav kasutada lahtise, s. t. laagri kere suhtes kinnitamata puksiga, nn. ujuva puksiga konstruktsiooni (joon. 88).



Joon. 92.

Joonisel 89 toodud laagri konstruktiivne omapära seisab selles, et laagrikauss omab kere suhtes piiratud liikuvuse, järelkult on võimalik võlli läbipaandumise teatav kompenseerimine (iseseaduva laagrikaussiga laager).

Laagrikausi liikuvus saavutatakse tema sfäärilise välispinna tõttu, mis toetub laagri kere vastavatesse sama raadiuse järgi kujundatud sfäärilis-



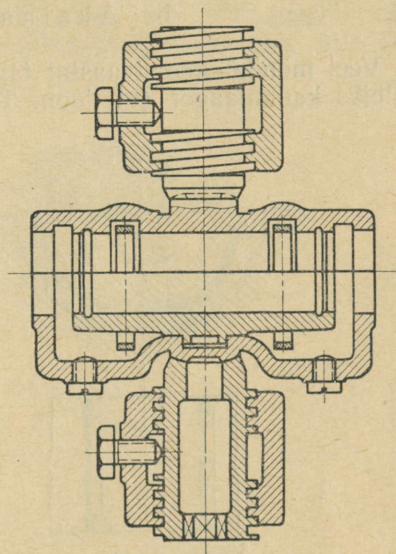
Joon. 93.

tesse osadesse. Piiratud liikuvusega laagrikaussiga laagrid on sobivad kasutamiseks suhte  $l/d$  puhul 1,8—2,5.

Laagrite kinnitamine alusele peab toimuma küllaldase täpsusega. Selleks tuleb laager kinnitada seadmele või vundamendile sobivas asendis täiesti jäigalt. Laagri otsese kinnitamise puhul vundamendile on levinud eriliste alusplaatide kasutamine, mis kinnitatakse vundamenti ankurpoltide abil (joon. 90). Kasutatakse ka mitmesuguse kujuga tugiosi, mille näi-

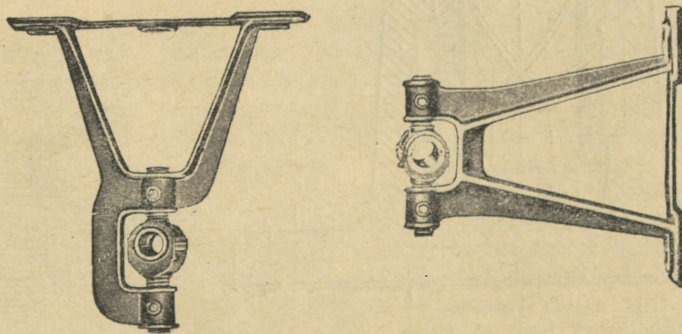
tena on toodud joonis 91. Lae all asuvate transmissioonivõllide toetamiseks on kasutatavad seinale kinnitatavad nõjased (joon. 92 ja 93).

Liugelaagrite järgmise võimaliku konstruktiivse erikujuna nimetame iseseaduvaid laagreid. Sel puhul toetub kogu laager toe vastavalt kujundatud sfäärilistele pindadele (joon. 94). Iseseaduvad laagrid, mille peamine kasutamisalala on transmissioonides, on ehitatud tavaliselt nii, et laagri kere alumine pool kujundab õlireservuaari, ülemine pool eraldi puudub, laagri ülemise poole moodustab laagrikausi osa. Et transmissioonide monteerimisel saavutada lihtsat reguleerimise võimalust, on laagri asend kõrguses muudetav keermetatud poltide abil (joon. 94). Iseseaduvate laagrite kasutamine on vajalik suhteliselt pikkade laagrikausside puhul ( $l/d > 2,5$ ). Iseseaduvate laagrite alustena kasutatakse transmissioonides nii seinale kui ka lakke kinnitavaid laagripukke (joon. 95).



Joon. 94.

Põhimõtteliselt erineva liigi laagreid moodustavad nn. segmentlaagrid. Segmentlaagrite puhul on laagrikauss moodustatud kolmest või rohkemast osast (segmentist), kus iga üksik segment on teistest sõltumatult toetatud kere sisepinnale (joon. 96). Segmentid on toetatud kerele nii, et võlli pöörlemise suhtes



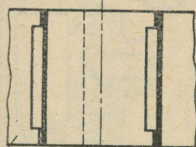
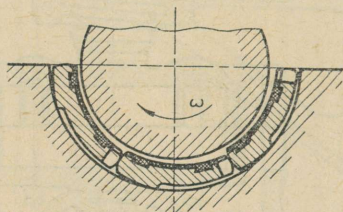
Joon. 95.

eesmine segmenti serv on toest kaugemal kui tagumine. Selline asetus võimaldab võlli pöörlemisel iga segmenti juures iseseisva õlikiilu tekki-

mise, kogu laager muutub mitte-segmen dilise laagrikausiga konstruktsiooniga võrreldes palju töökindlamaks, kuna mitmesuguste õlikiilule mõjuvate kõrvalfaktorite mõju on õlikile katkestamisele tunduvalt väiksem.

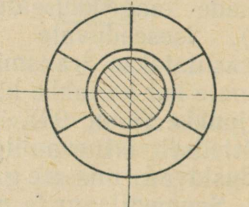
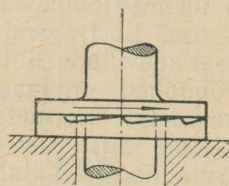
### b. Aksiaal-liugelaagrid.

Veel mõnikümmend aastat tagasi oli aksiaal-liugelaagrite enamlevinud tüübiks kammlaager (vt. joon. 37). Kaasajal on kammlaagri osatähtsus

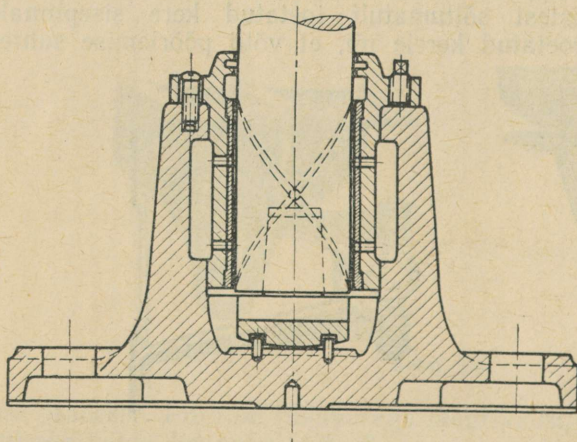


*Sirgestatud osa*

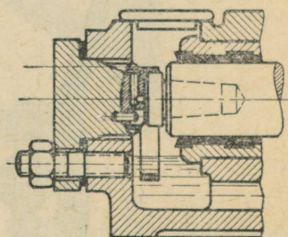
Joon. 96.



Joon. 97.



Joon. 98.

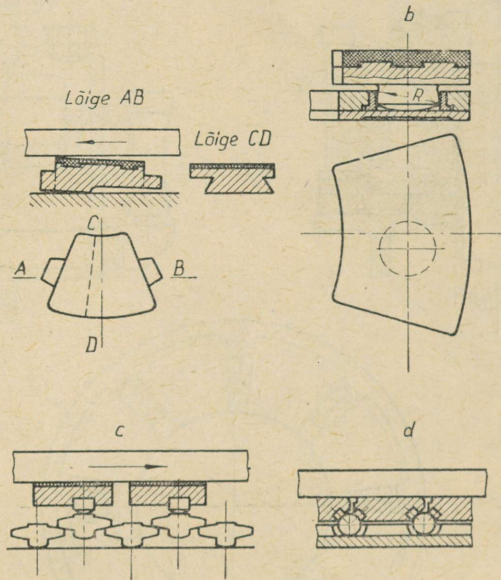


Joon. 99.

tuntavalt vähenenud, eelkõige sellepärast, et hoolimata küllalt väikestest erisurvetest kujuneb töötemperatuur ikkagi liiga kõrgeks ja esineb ka suhteliselt suur kulumine, kuna niisuguse konstruktsiooni puhul on osutunud

väga raskeks vedelikulise hõõrdumise saavutamise. Kammtapid on kasutatavad suunalt muutuva aksiaalkoormuse puhul.

Lihtsama aksiaal-laagri tüübina nimetame laagreid, kus laagri koormust vastu võttev element on kinnitatud laagri kerele liikumatult ega või oma asendit tapi suhtes muuta. Vedelikuline hõõrdumine saavutatakse siin laagri tugipinnale moodustatud õlikanalite abil. Õlikanalite tõttu tekkinud segmentide töötavad pinnad valmistatakse kaldsetena, mis või-

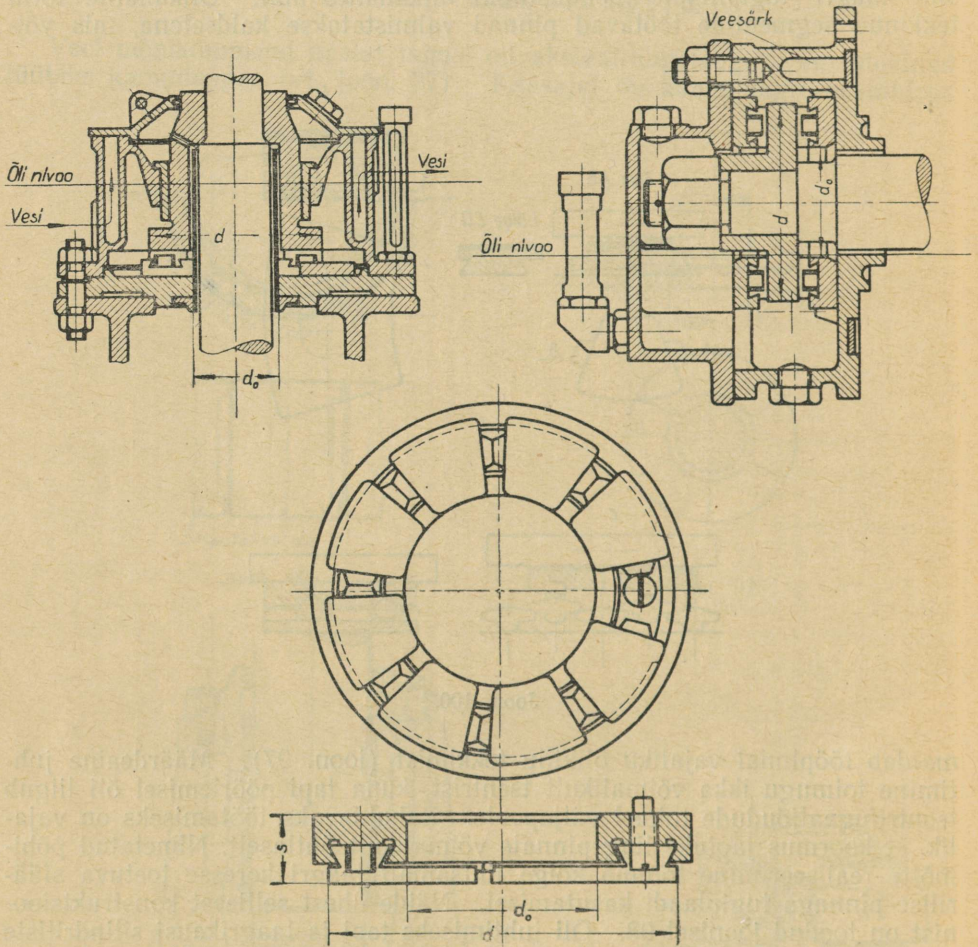


Joon. 100.

maldab tööpinnal vajaliku õlikiilu tekkimist (joon. 97). Määrdeaine juhimine toimugu ikka võimalikult tsentrist, kuna tapi pöörlemisel õli liigub tsentrifugaaljõudude toimel väljapoole. Rahuldavaks töötamiseks on vajalik, et koormus jaotuks liugepinnale võimalikult ühtlaselt. Nimetatud põhimõtte realiseerimine toimub kõige lihtsamalt laagri kerele toetuva sfäärilise pinnaga tugiplaadi kasutamisel. Näide ühest sellisest konstruktsioonist on toodud joonisel 98. Õli juhtimiseks tapi ja laagrikausi silindriliste pindade vahele on moodustatud vastavad sooned, kustkaudu tapi pöörlemisel õli üles liigub. Tapi otsapind võib olla kujundatud täisringina või rõngana (vt. *Tapid*, täistapp ja rõngastapp). Laagriplaadi vajaliku täpse asendi reguleerimine võib toimuda metallvaheplekkide abil (joon. 99). Joonisel 99 toodud horisontaalse võlli jaoks loodud konstruktsioonis toimub määrimine lahtise õlirõnga abil. Koormust vastu võtavad plaadid valmistatakse tavaliselt karastatud terasest ja nad on kergesti vahetatavad.

Segmentlaagrid aksiaal-laagreina on kujundatud samal põhimõttel nagu radiaal-laagridki: tapiga koos töötav tugipind on moodustatud mitmest

iseseisvalt kerosse toetuvast osast (segmentidist). Olenevalt režiimist, asetuvad segmentid automaatselt ümber, hoides alal vedelikulise hõõrdumise olukorda. Koormuse ühtlane jaotumine segmentide vahel saavutatakse peamiselt sel teel, et segmentid toetatakse kas ribile (joon. 100, *a*), elastsele rõngale (joon. 100, *b*), kangidele (joon. 100, *c*) või kerakuulidele



Joon. 101.

(joon. 100, *d*). Võrreldes segmentlaagreid täisringilise tööpinnaga varustatud laagritega, osutuvad esimesel tüübil kaod 10–20 korda väiksemateks, sealjuures võib erikoormust suurendada 6–8 korda.

Näidetena vertikaalsest ja horisontaalsest segmentlaagrist on toodud joonis 101, vastavad orienteeruvad mõõted nimetatud laagritele on antud tabelis 41.

Segment-aktsiaal-laagrite orienteeruvaid mõõteid.

$d$ mm	$d_0$ mm	Segmentide kogupind $F$ cm <sup>2</sup>	$s$ mm	Koormus $Q$ kg
62	32	16	13	570
75	40	23	15	800
87	48	31	18	1 100
100	54	40	21	1 400
124	72	58	24	2 000
150	83	90	29	3 200
175	97	122	33	4 300
200	108	168	38	5 900
251	137	258	46	9 000
302	165	355	51	12 500
353	191	516	57	18 100

\*

Kokku võttes olgu veelkordselt alla kriipsutatud, et paari tapp—laager hea töötamine tagatakse eelkõige sobiva soojusliku režiimi loomisega. See tõttu tuleb konstruktoril erilist tähelepanu pöörata sobiva temperatuuri saavutamisele, laagri (õli) küllaldasele jahutamisele. Peale laagri kere pinna toimub soojuse juhtimine ümbritsevasse keskkonda ka võlli kaudu. Viimase soojushulga arvutamine on väga ebamäärane ja selle määramist ei teostata. Laagris tsirkuleeriv õli soodustab samuti temperatuuri alane- mist.

Kui loomulik jahutus ei osutu küllaldaseks, tuleb kasutada laagri kunstlikku jahutamist. Levinumad moodused laagrite kunstlikuks jahutamiseks on: laagri välispinna suurendamine kere ribitamise arvel, jahutus- spiraali asetamine õlireservuaari laagri keres, laagri kere kujundamine jahutussärgiga, laagrit ümbritseva õhu liikumise kiirendamine ventilaatori rakendamisel jne. Seejuures peame silmas, et ribitamine muudab konstruktsiooni valmistamise raskemaks, jahutussärgi olemasolu võib aga konstruktsiooni ebatiheduse puhul põhjustada jahutusvedeliku segunemist määrde- õliga. Jahutamise seisukohalt on aga nimetatud moodused küllalt efektiivsed.

\*

Liugelaagrite laialdast kasutamist veerelaagrite kõrval kaasajal võib põhjendada liugelaagrite paljude heade eksploatatsiooniomadustega, samuti mitmete konstruktiivset laadi eelistega. Peamised liugelaagrite eelised, millest mitmed on otseselt järeldatavad eelnenud arutlustest, on järgmised:

- 1) suur kandevõime;
- 2) võimalus töötada suure pöörete arvu juures;
- 3) löögilise koormuse talumisvõime;
- 4) seadme demontaažil ei ole alati vajalik eemaldada völli sellele kinnitatud detaile (sidurid, rattad);

- 5) müratu töötamine;
- 6) suuremate diameetritega laagrite valmistamise suhteline odavus;
- 7) suhteliselt väike gabariit raadiuse sihis;
- 8) võimalus võlli pikinihkumiseks, mis on oluline näiteks noolhammas-  
rataste iseseadumiseks.

Liugelaagrite peamisteks puudusteks on:

- 1) suhteliselt suured hõõrdekaod, eriti perioodil käivitamisest kuni vedelikulise hõõrdumiseni;
- 2) vajadus kasutada mitmel puhul kalleid ja defitsiitseid pronkse ja  
babiite;
- 3) laagrite sama gabariidi, kuid erineva töörežiimi puhul peavad lõt-  
kud laagris olema erineva suurusega;
- 4) suhteliselt suur määrdeaine kulu;
- 5) suhteliselt pikk laagrikauss.

Küsimuste lahendamisel, kas valida liuge- või veerelaager, tuleb igal  
juhul arvesse võtta ka ülaltoodud kriitikalise iseloomuga märkusi.

## KIRJANDUS.

1. Машиностроение. Энциклопедический справочник, т. 2, т. 4, т. 5.
2. Р. Г. Иванов, П. М. Голенев, П. С. Тиндо, Смазочные масла и консистентные смазки, 1949.
3. Мазырин, И. В., Смазочные устройства машин, 1948.
4. П. К. Гедык, Централизованная смазка оборудования, 1949.
5. П. И. Орлов, Смазка легких двигателей, 1937.
6. АН СССР, Институт машиноведения, Трение и износ в машинах, Сборник IV, 1949.
7. H. Kuldma, Vene õpetlane N. Petrov — määrimise hüdrodünaamilise teooria looja, Tehnika, kogumik IV, 1950.
8. ГОСТ 3485-46. Валы и оси. Терминология.
9. Хайт, Д. М., Неметаллические подшипники скольжения, 1949.
10. Шибель, Скользящие опоры, 1936.
11. В. З. Васильев, Н. Н. Георгиевский, А. Д. Дубяго, В. Г. Таурок, В. С. Цацкин, Детали машин. Справочник, ч. I, 1950.

*Vastutav toimetaja A. Kaskneem.*  
*Tehniline toimetaja H. Kohu.*  
*Korrektorid L. Golberg ja J. Hansen.*

Ladumisele antud 20. I 1952. Trükkimisele antud 21. IV 1952. Trükiarv 2000. Paber 67×95 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Trükipoognaid 6,25. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 7,19. Arvutuspoognaid 6,43. MB-06311. Trükikoda „Hans Heidemann“, Tartu, Vallikraavi 4. Tellimise nr. 459.

На эстонском языке.

X. Кулдма. Детали машин VI.  
Смазка. Подшипники скольжения.

*Hind rbl. 3.25*



Rbl. 3.25

A-18534

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00454213 2