

# MASINA-ELEMENDID

E. SOONVALDI  
TOIMETUSEL



VII

E. SOONVALD

VEERELAAGRID

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS



A-18534

ÜLDTOIMETAJA  
E. SOONVALD  
STALINI PREEMIA LAUREAAT

MASINA-ELEMENDID  
VII

E. SOONVALD  
VEERELAAGRID



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1952

2

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu

19472

ARHIIVKOGU

## SISUKORD.

	Lk.
I. Veerelaagrid, nende klassifikatsioon ja iseloomustus . . . . .	5
1. Radiaal-laagrid . . . . .	7
2. Radiaal-tugilaagrid . . . . .	17
3. Tugi-radiallaagrid . . . . .	21
4. Tugilaagrid . . . . .	22
5. Veerelaagrite tähistus ГOCT-i järgi . . . . .	24
6. Veerelaagrite materjalid ja tootmise tehnoloogia . . . . .	27
II. Veerelaagrite arvutamise alused . . . . .	30
1. Pinge ja deformatsiooni suurus kahe kõva elastse keha kontaktpinnal . . . . .	31
2. Väliskoormuse jaotumine veerekehade vahel . . . . .	34
3. Veerelaagri kinemaatika ja pingetsüklite arv . . . . .	37
4. Laagri iga ja töövoimelisus . . . . .	40
III. Põhilised juhendid veerelaagrite istude valikuks . . . . .	41
1. Istude valik, sõltuvalt rõngaste koormamise viisist . . . . .	44
2. Istude valik, sõltuvalt laagri töötamistingimustest . . . . .	46
3. Laagri veerepindade ja veerekehade vahelise radiaalse lötku vähenemine, olenevalt valitud istust . . . . .	47
4. Völlide ja kereavade töötlemise puhtus ja lubatud kõrvalekaldumised laagrite istukohtades . . . . .	47
5. Veerelaagrite istude valikust ГOCT-i järgi . . . . .	49
IV. Veerelaagrite valik . . . . .	52
1. Radiallaagrite valik . . . . .	54
2. Radiaal-tugi- ja tugilaagrite valik . . . . .	58
3. Muutliku koormuse ja pöörete arvuga töötavate laagrite valik . . . . .	58
4. Laagrite valik nomogrammide abil . . . . .	63
V. Veerelaagri sõlmede kujundamine . . . . .	64
1. Üldnõuded . . . . .	64
2. Laagrite asetuse skeeme . . . . .	69
3. Laagrisõlme konstruktiivsed elemendid . . . . .	76
4. Laagrisõlme tihendamine . . . . .	91
5. Laagrisõlme jahutamine . . . . .	106
VI. Veerelaagrite määrimine . . . . .	108
1. Määrimise otstarve ja määrained . . . . .	108
2. Määrimismoodused . . . . .	112
VII. Laagrisõlme koostamine ja lahtivõtmine . . . . .	119
1. Veerelaagri istamine völliile . . . . .	119
2. Veerelaagri eemaldamine völlilt . . . . .	123

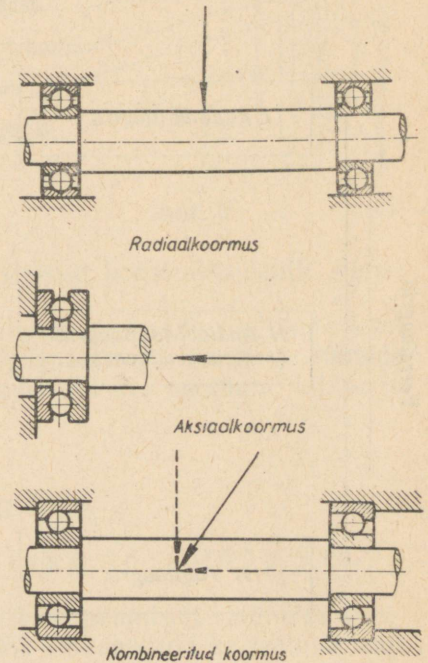


## I. VEERELAAGRID, NENDE KLASSIFIKATSIOON JA ISELOOMUSTUS.

Kaasaegse tehnika seisund, selle arenemine ja täiustumine on suurel määral sõltunud laagrite konstruktsioonide ja nende tootmise tehnoloogia arengust. Suurte pöörlemiskiirustega mehhanismide ja agregaatide kujundamine on saanud võimalikuks peamiselt pärast liugelaagrite asendamist veerelaagritega. Viimased omavad suhteliselt väikese hõõrdetakistuse ja on võimelised vastu võtma võrdlemisi suuri koormusi suurtel pöörlemiskiirustel, omades seejuures aksiaalsihis tunduvalt väiksema gabariidi, suurema eksploatatsioonikindluse ja väiksema määrdeainekulu. Tähendatud paremused, aga samuti ka veerelaagrite konstruktsioonide ja tootmistehnoloogia täienemine on tinginud veerelaagrite laialdase leviku kõigis masinaehituse harudes, alates täpsematest peenmehaanika-aparaatidest ja lõpetades metallurgiatööstuse raskete seadmetega.

Veerelaagritööstus NSV Liidus on tööstusharusid, mille alguseks loeme aega pärast Suurt Oktoobrirevolutsiooni. Kaasajal ei ole Nõukogude tööstus enam sõltuv veerelaagrite impordist, kuna nüüd rahuldab NSV Liidu vajadusi veerelaagrite osas omatoodang viis aastakute jooksul ehitatud veerelaagritehaseilt, mis oma võimsuse ja sisustuse poolest on eeskujuks välismaisele tööstusele.

Peamiseks erinevuseks veerelaagrite ja liugelaagrite vahel on see, et veerelaagritel on liugehõõrdumine asendatud veerehõõrdumisega, mis kadusid laagris tunduvalt vähendab, vältides samal ajal defitsiitsete laagrimetallide vajadust. Liugelaagrite puhul on hõõrdekadu sõltuv pöörlemise kiirusest, omades maksimaalse suuruse seadme käigu kiirendamise perioodil (käitamise algusest kuni püsiva liikumise saavutamiseni), vähenedes seega kiiruse kasvades, kuna veerelaagritel seevastu takistus käivitamisperioodil vähe erineb takistusest püsivliikumisel.



Joon. 1.

Veerelaagrite eksploatatsioonikulud on real juhtudel kuni 30% väiksemad liugelaagrite eksploatatsioonikuludest.

Veerelaagrite puuduseks loetakse suurt laagrite läbimõõtu, mõningal juhul raskendatud montaaži (kuna enamjagu veerelaagreid on poolitamatud), väiksemat eluiga ja suuremat jäikust, võrreldes liugelaagritega.

Veerelaagreid klassifitseeritakse järgmiselt.

1. Vastavalt vastuvõtava koormuse suunale liigitatakse veerelaagreid järgmistesse gruppidesse (joon. 1):

a) **Radiaal-laagrid**, mis suudavad vastu võtta ainult radiaalkoormusi (silindrilised rull-laagrid) või on määratud radiaalkoormuste jaoks, kuid võivad vastu võtta ka teatava suurusega aksiaalkoormusi (radiaal-kuullaagrid ja ühe- ning kaherealised sfäärilised rull-laagrid).

b) **Radiaal-tugilaagrid**, mis on määratud kombineeritud koormuste, s. o. radiaal- ja aksiaalkoormuste samaaegseks vastuvõtmiseks, kusjuures nii radiaal- kui ka aksiaalkoormused võivad olla ülekaalus.

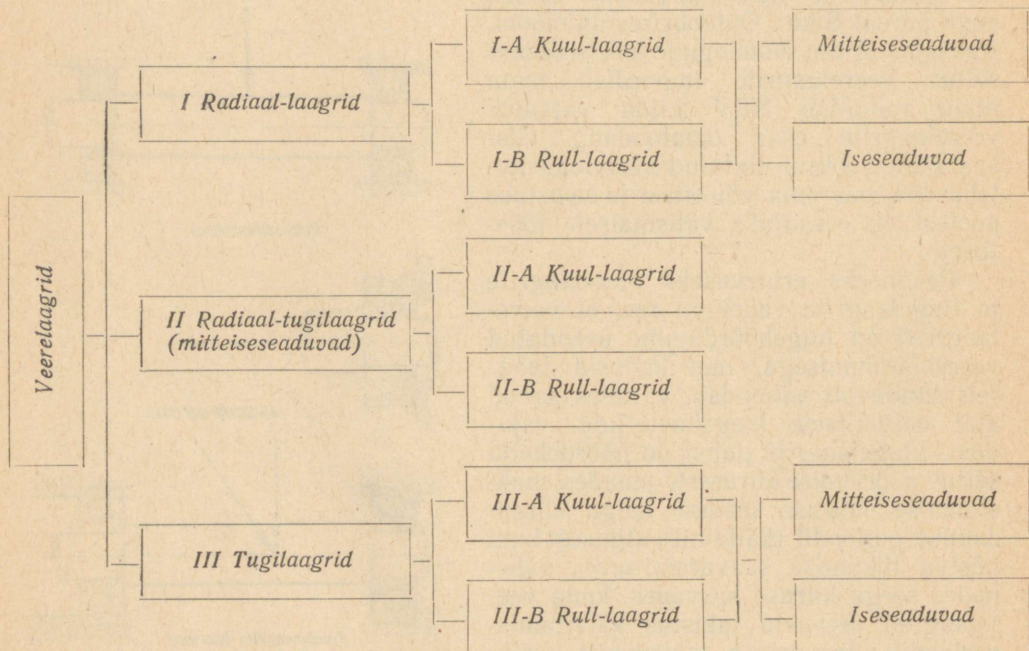
c) **Tugi-radiaallaagrid**, mis on määratud kombineeritud koormustele, kus aksiaalne koormus on ülekaalus.

d) **Tugilaagrid**, mis võtavad vastu ainult aksiaalkoormusi.

2. Vastavalt veerekehade kujule jaotuvad laagrid põhiliselt kahte gruppi:

a) **kuul-laagrid** — kerakujuliste veerekehadega,

b) **rull-laagrid** — rullikujuliste veerekehadega. Rullide kujult



Joon. 2.

jaotuvad laagrid silindriliste, nõel-, keerd-, koonus- ja tünnikujuliste rullidega laagrieks.

3. Ühes laagris esinevate veerekehade ridade arvu järgi jaotuvad laagrid:

- a) üherealisteks,
- b) kaherealisteks,
- c) kolmerealisteks ja
- d) neljarealisteks.

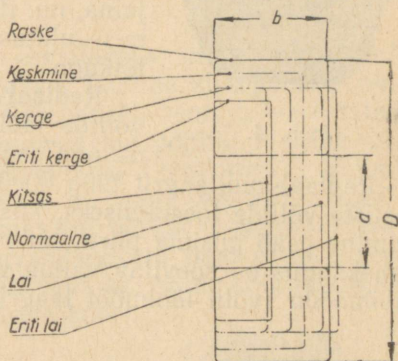
4. Ühe peamise konstruktiivse tunnuse järgi jaotuvad kuul- ja rull-laagrid:

- a) mitteeseaduvaiks ja
- b) iseseaduvaiks (sfäärilisteks).

Üldine klassifitseerimise skeem on esitatud joonisel 2.

Nagu näeme, iseloomustab veerelaagri tüüpi vastuvõetava koormuse suund, veere-elementide kuju ja ridade arv ja laagrikonstruksiooni printsiip. Arvestades veerelaagrite suurt levikut, on veerelaagri tüübid suuremas enamuses normitud. Laagritüüpide klassifikatsioon on antud normiga ГOCT 3395-46, mis haarab ka mõningaid veel mitte normitud, kuid laialt levinud laagrite tüüpe.

Rida ühetüübilisi laagreid, mille gabariitmõõted (läbimõõdud ja laius) vastavad ГOCT-is 3478-46 ette nähtud mõõdede ridadele, kujundavad standardse mõõdeteseeria. Seeriaid esineb põhiliselt neli: eriti kerge, kerge, keskmine ja raske seeria, peale selle, olenevalt laagri lausest, esineb veel kitsas, normaalne, lai ja eriti lai seeria (joon. 3).



Joon. 3.

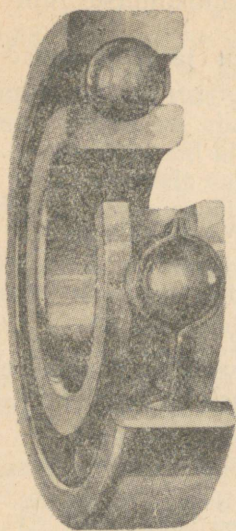
Samatüübilisi laagreid, mis erinevad üksteisest konstruktsioonilt, nimetatakse selle laagritüübi alaliikideks.

Alljärgnevalt tutvume üksikute laagritüüpide ja nende alaliikide konstruktsioonidega, iseärasustega ja rakendusvõimalustega. Üksikute tüüpide järjestamisel lähtume ГOCT-ist 3395-46, märkides ära ka tüübi tähise ja standardi.

## 1. Radiaal-laagrid.

a. Üherealised radiaal-kuullaagrid — tüüp 0000.

Üherealisi kuullaagreid (joon. 4) kasutatakse peamiselt radiaalse koormuse vastuvõtmiseks, kuid neid võib koormata samaaegselt ka teatava suurusega aksiaalkoormusega ühes või teises suunas, või ainult aksiaalkoormusega suurtel pöörete arvudel, s. o. tingimustes, kus tavalised tugi-kuul



Joon. 4.

laagrid ei ole sobivad. Võimaliku aksiaalkoormuse suurus oleneb aksiaalsest lõtkust kuulide ja veerete pindade vahel.

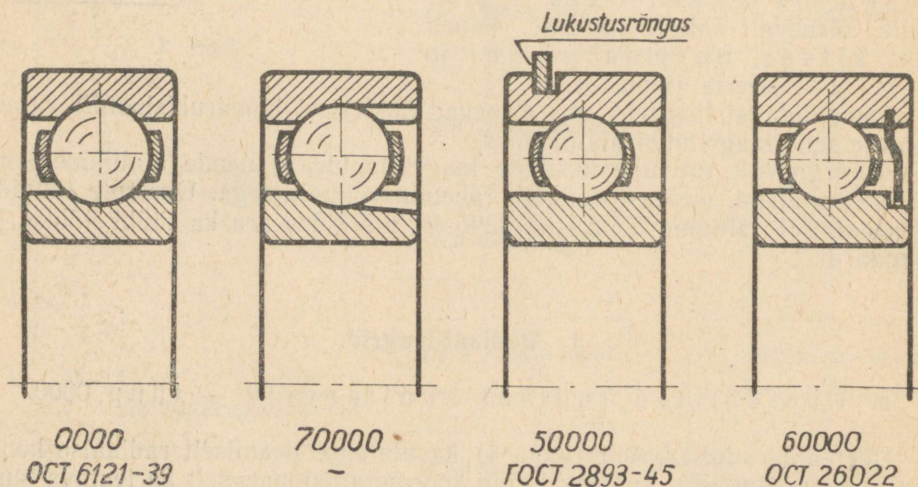
Radiaal-kuullaager koosneb välis- ja siserõngast, kuulikestest ja separaatorist. Välisrõnga sisepinnas ja siserõnga välispinnas on kuulide liikumist suunavad veereteed, millede kujundusraadius on suurem kuulide raadiusest, et vähendada hõõrdumist kuulikeste ja veereteede pindade vahel.

Eriliste separaatorite kasutamisega ja laagri valmistamise täpsuse suurendamisega on radiaal-kuullaagreid võimalik rakendada võrdlemisi suurte pöörete arvude puhul.

Tänu radiaal-kuullaagrite konstruktiivsele iseärasusele aksiaalset koormust vastu võtta on võimalik kasutada neid ka võllide aksiaalse nihkumise takistajaina, nn fikseerivate laagritena. Võlli aksiaalse liikumise ulatus on antud juhul piiratud laagri aksiaalse lõtkuga.

Radiaal-kuullaagrid võimaldavad lõtku arvel ka võllide läbipaindumist  $1/4$  kuni  $1/2^\circ$  ulatuses, üldiselt on aga soovitatav sellise olukorra tekkimist vältida.

Radiaal-kuullaagrit tüüp 0000 (joon. 4 ja 5) kasutatakse jäikade, kahe- toeliste võllide toetamiseks, kus välisjõudude mõjul tekkiv võlli läbipaindumine peab püsima piires, mis ei riku laagri normaalset tööd. Laagrite vahekaugus on soovitatav valida võimalikult väike, mitte üle võlli 10-kordse läbimõõdu (võlli läbimõõt laagri kohal).



0000  
OCT 6121-39

Joon. 5.

70000

-

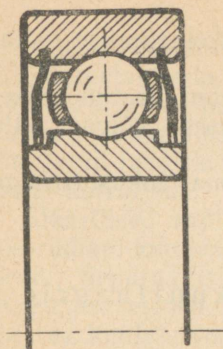
Joon. 6.

50000  
ГОСТ 2893-45

Joon. 7.

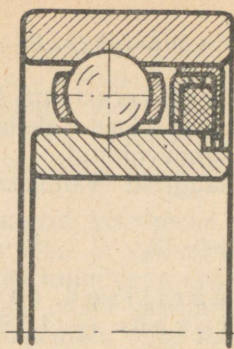
60000  
OCT 26022

Joon. 8.



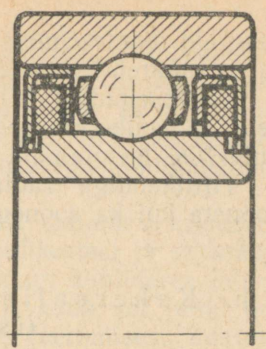
80000  
OCT 26022

Joon. 9.



20000  
ГОСТ 4061-48

Joon. 10.



30000  
ГОСТ 4061-48

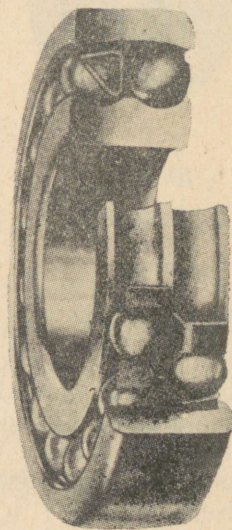
Joon. 11.

Radiaal-kuullaagri alatüüpidest tuleks esmajoones märkida varianti, kus laagri täitmine kuulidega toimub vastavast kuulide sissepaneku rennist (joon. 6, tüüp 70 000). Kuna kuulide sissepaneku renniga varustatud laagrit on võimalik täita suurema arvu kuulidega kui põhitüüpi 0000, siis omab antud laager suurendatud radiaal-kandevõime (kuni 40%). Renni olemasolu tõttu on laager kasutamiskõlbmatu ka väga väikese aksiaalkoormuse puhul, kuna aksiaalkoormuse olemasolul põrkavad kuulid veermisel pidevalt vastu renni servi ja vigastuvad seetõttu õige ruttu. Seejärel on eelkirjeldatud laager kasutatav seal, kus aksiaalne koormus puudub ja kus on tegemist suurendatud radiaalsete koormustega.

Lubatav pöörete arv ajaühikus on nimetatud laagreile väiksem põhitüübist.

Laagrisõlme pikkuse vähendamise otstarbel on kujundatud üherealised radiaal-kuullaagrid lukustusrõnga soonega välisrõngal (tüüp 50 000 — joon. 7). Lukustusrõnga kasutamine võimaldab laagrikere avade sama kinnitusega läbitöötlemist, vastavalt välisrõngaste istudele, mille tõttu lihtsustub sõlme valmistamise tehnoloogia. On lubatud väike aksiaalne koormus, mida võtab vastu lukustusrõngas.

Sõlmedes, kus iseseisva tihenduse paigutamine on raskendatud või ebaotstarbekohane, samuti sõlmedes, kus juurdepääs laagri määrimiseks ja tehniliseks ülevaatuseks on raskendatud, kasutatakse ühe- või mõlemapoolsete kaitseseibidega (tüüp 60 000 ja 80 000 — joon. 8 ja 9) või vilttihenditega (tüüp 20 000 ja 30 000 — joon. 10 ja 11) varustatud radiaal-kuullaagreid. Mõlemapoolsete seibide olemasolul on laager igakülgselt kaitstud mustumise eest, ühtlasi on võimalik



Joon. 12.

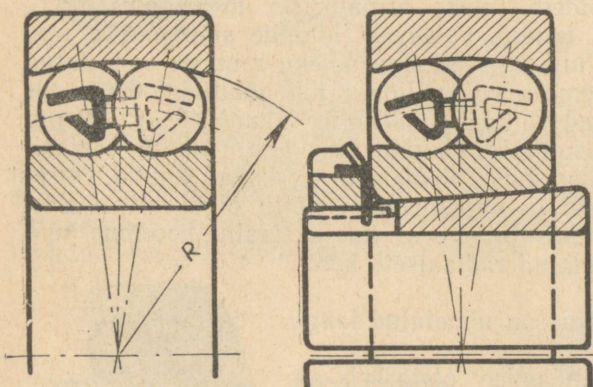
laagreid monteerimise ajal täita määrdega, mis tagab pikemaajalise töötamise, määret lisamata.

Kaitseseibide ja vilttihenditega varustatud laagreile on lubatud väikesed radiaalkoormused. Mõlemapoolsed aksiaalkoormused võivad olla kuni 70% kasutamata radiaalkandevõimest.

Vilttihendiga radiaal-kuullaagreid valmistatakse ilma lukustusrõnga sooneta kui ka soonega.

### b. Kaherealised sfäärilised radiaal-kuullaagrid (iseseaduvad) — tüüp 1000.

Sfäärilised radiaal-kuullaagrid (joon. 12 ja 13) erinevad tavalistest radiaal-kuullaagritest selle poolest, et nende välisrõnga sisepind ei oma renni kuulide juhtimiseks, vaid on kujundatud sfäärilise pinnana tsentriga laagri pöörlemisteljel. Seega ei ole kuulide teekond välisrõnga suhtes kindlalt määratud.



1000  
OCT 6266-39

Joon. 13.

11000  
OCT 7634-39

Joon. 14.

Siserõngas omab kaks paralleelset veereedet, kuhu kuulid on asetatud malekorras. Sfäärilise veerepinna olemasolu tõttu omab antud laager iseseadumise omadused, s. t. laagri normaalne töö on kindlustatud ka siserõnga teatavate kaldasendite korral (piiris 2–3°) välisrõnga suhtes, mis võib olla tingitud kas võlli läbipaindest, ebatäpsest laagri aluse pinna töötlemisest või montaaži vigadest.

Võlli läbipainde suurus kere (välisrõnga) suhtes on piiratud tingimusega, et oleks tagatud kõigi kuulide kontakt sfäärilise veerepinnaga.

Sfäärilised radiaal-kuullaagrid on määratud peamiselt radiaalse koormuse vastuvõtmiseks, kuid võivad samaaegselt olla koormatud ka ühe- või teisesuunalise aksiaalse koormusega, mille suurus ei ületa 20% kasutamata radiaalkandevõimest. Soovitav on siiski aksiaalset koormust vältida, kuna viimase tagajärjel tekib välisrõnga aksiaalne nihkumine laagri aksiaalse lõtku piires, mispuhul koormus ühele kuulireale suureneb, kuna teisele väheneb.

Sfäärilisi radiaal-kuullaagreid võib rakendada erijuhul ka fikseerivate laagritena.

Sfäärilisi radiaal-kuullaagreid kasutatakse: hulgateeliste transmissiooni-võllide toetamiseks, kaheteeliste võllide toetamiseks, kui on ette näha võlli märgatav läbipaindumine välisjõudude mõjul, sõlmedes, kus ei ole kindlustatud laagrialuste silindriliste pindade samateljelisus (näiteks eraldikinnitatud laagrikerede kasutamisel), mitte sama kinnitusega läbitöödeldud avade korral jne.

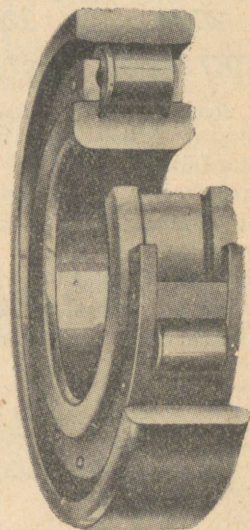
Sfäärilised radiaal-kuullaagrid koosnevad põhiliselt samadest osadest, mis radiaal-kuullaagrid, s. o. sise- ja välisrõngast, kuulikestest ja separaatorist. Separatuur on soovivat kujundada eraldi kummagi kuuliderea jaoks (nagu see esineb antud tüüpi laiade seeriates juures), kuna sel juhul on ühe rea kuulide veeremine olenematu teise rea kuulide veeremisest, mis on eriti oluline, kui võtta arvesse, et mõlema kuulirea veereteed ei ole täpselt samamõõtelised, mille tagajärjel esineb suurem või väiksem kuuliderea suhteline pöörlemine.

Sfäärilise radiaal-kuullaagri tüüpi alaliigiks on sama konstruktsiooniga laager, asetatuna koonilisele pingutuspuksile (tüüp 11 000 — joon. 14). Eelmisest tüübist erineb toodu sellega, et siserõnga ava on kujundatud koonilisusega 1 : 12, mis vastab ka pingutuspuksi välispinna koonilisusele.

Sellist laagrit on võimalik koonilise pingutushülsi abil asetada pikkadele ja siledale võllidele. Laagri kinnitamine vajalikule kohale toimub lõhestatud koonushülsi pingutamise vastava mutri abil laagri sisevõru sisepinna ja võlli pinna vahele. Mutri lukustamiseks kasutatakse vastavat hammastega varustatud seibi.

Kirjeldataud laagri kasutamisel ei ole nõutav võllipinna kõrge töötlemistäpsus (tavaliselt 2. täpsusklass). Ka on sellise laagri montaaž tunduvalt hõlpsam.

Koonilise hülsi pingutamise on võimalik osaliselt reguleerida ka laagri radiaalset lõtku.

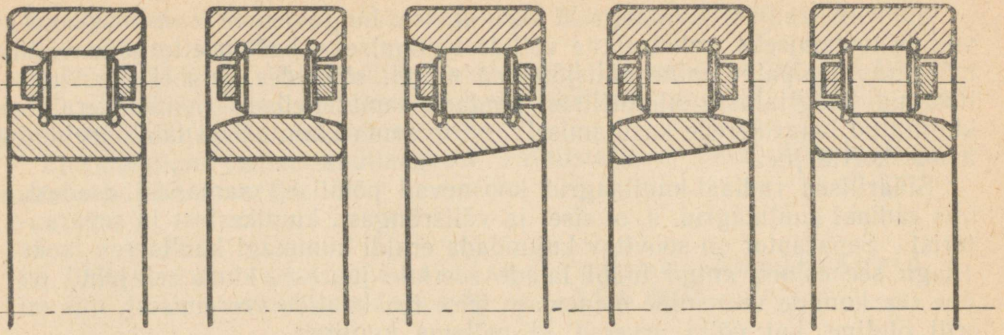


Joon. 15a.

### c. Radiaal-rull-laagrid lühikeste silindriliste rullidega — tüüp 2000.

Radiaal-rull-laagrid (joon. 15—23) lühikeste silindriliste rullidega on määratud ainult radiaalkoormuste vastuvõtmiseks. Võrreldes samagabariidilise üherealise kuullaagriga, omab esitatud rull-laager tunduvalt suurema radiaal-kandevõime ja on palju mugavam montaaži ja demontaaži seiskohalt, kuna laager on kujundatud nii, et kumbki rõngas on eraldi monteeritav, kusjuures üks rõngastest on kujundatud koos rullidega mittelaktivõetava sõlmene.

Kombineeritud koormuste korral, kui osutub vajalikuks radiaal-komponendi vastuvõtmiseks tarvitada rull-laagrit, tuleb igal juhul koormuse aksiaalkomponendi vastuvõtmiseks kasutada teist tüüpi laagreid, lisaks rull-laagreile.



2000

32000

302000

332000

42000

ГОСТ 294-41

ГОСТ 294-41

ГОСТ 294-41

ГОСТ 294-41

ГОСТ 294-41

Joon. 15b.

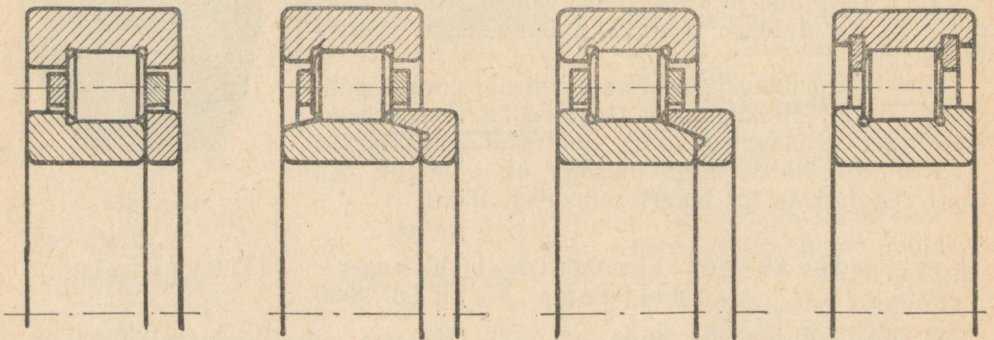
Joon. 16.

Joon. 17.

Joon. 18.

Joon. 19.

Lühikeste silindriliste rullidega radiaal-rull-laagri põhitüüp 2000 omab arvukalt alaliike (joon. 15—23), mis erinevad omavahel põhiliselt rõngaste tugiäärte asukoha, arvu ja siserõnga ava kuju järgi. Nii leiame rull-laagreid, mis ühel oma rõngal ei oma tugiääri (tüüp 2000 — joon. 15, *a* ja *b* ja tüüp 32 000 — joon. 16). Nimetatud laagrid ei ole suutelised takistama võlli aksiaalset nihkumist, seega ei saa neid kasutada ka võlli asendi fikseerimiseks, milleks tuleb rakendada teisi laagritüüpe.



92000

52000

62000

102000

ГОСТ 294-41

ГОСТ 294-41

ГОСТ 294-41

ГОСТ 294-41

Joon. 20.

Joon. 21.

Joon. 22.

Joon. 23.

Alaliigid 42 000 (joon. 19) ja 52 000 (joon. 21) fikseerivad võlli asendit ainult ühes suunas. Alaliigid 62 000 (joon. 22) ja 92 000 (joon. 20) on võimelised fikseerima võlli asendit mõlemas suunas, tänu ühe rõnga külge kinnitatud tugiseibi olemasolule.

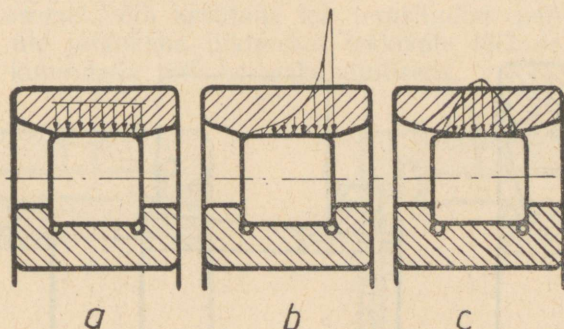
Alaliik 102 000 (joon. 23) on kujundatud ilma separaatorita ja suurema rullide arvuga, kusjuures välisrõngas on varustatud kahe sulgseibiga, mille tõttu laager on lahtivõetamatu. Tähendatud laagrit kasutatakse suurte radiaalkoormustel ja väikestel pööretel.

Alaliikidel 302 000 (joon. 17) ja 332 000 (joon. 18) on siserõnga ava valmistatud koonilisena (1 : 12) ja laagri kinnitamiseks kasutatakse vastavaid koonilisi pukse, mille pingutamine laagri avasse võimaldab ka laagri radiaalse lõtku osalist vähendamist.

Rull-laagrite separaatorid koosnevad tavaliselt kahest poolest, omavad vastavaid pesasid rullide jaoks ja neid ühendatakse omavahel laagri koostamisel needistuse abil.

Radiaal-rull-laagreid rakendatakse lühikeste ja jäikade võllide toetamiseks, kuna tähendatud laagritüüp ei võimalda mingisugust võlli läbi-paindumist, s. t. laagri rõngaste lüngasendit, kuna selle tagajärjel tekiks koormuse ebaühtlane jaotus rullide kontaktjoonel. Eriti kohased on silindrilised rull-laagrid sõlmedes, kus on tegemist temperatuuri mõjudega, seal kasutatakse neid nn. ujuvate laagritena (vt. hiljem).

Ebaühtlase koormuse vältimiseks sisevõru võimaliku lüngasendi puhul tehakse välisrõnga sisepind sageli veidi kumer (joon. 24), mis võimaldab mõnevõrra iseseadumist.



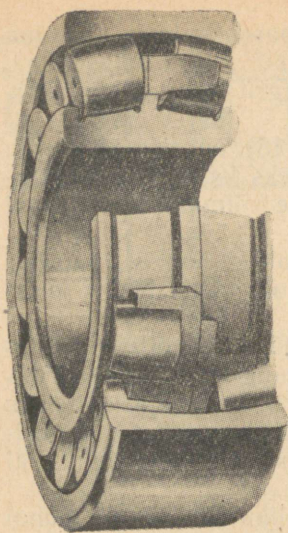
Joon. 24.

Kuna silindriised rull-laagrid on tavaliselt lahtivõetavad, siis on neid otstarbekohane kasutada sõlmedes, kus, montaažitingimustest sõltudes, lahtivõetamatud laagrid ei ole kohased.

#### d. Kaherealised sfäärilised rull-laagrid — tüüp 3000.

Kaherealised sfäärilised rull-laagrid (joon. 25 ja 26) erinevad silindri-listest rull-laagritest põhiliselt selle poolest, et nende välisrõnga sisepind on kujundatud sfääri osana, tsentriga laagri pöörlemise teljel, analoogiliselt sfääriliste kuullaagritega. Sfääri tõttu on ka rullid kujundatud tünni-kujulistena.

Sfäärilised rull-laagrid, võrreldes sfääriliste kuullaagritega, omavad tunduvalt suurema kandevõime ja neid rakendatakse peamiselt radiaal-



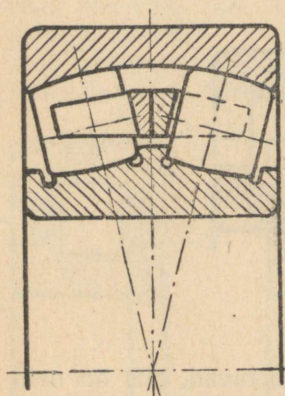
Joon. 25.

koormuste vastuvõtmiseks, kuna aksiaalne kandevõime, mille maksimaalne suurus võib olla kuni 20% kasutamata lubatavast radiaalkoormusest, on väike samadel põhjustel, mis sfäärilistel kuullaagritel.

Sfäärilist rull-laagrit võib kasutada ka fikseeriva laagrina.

Sfäärilise rull-laagri (tüüp 3000) kasutamise ala on sama, mis sfäärilisel kuullaagril, ainukese erinevusega selles, et sfääriline rull-laager on suurema kandevõimega.

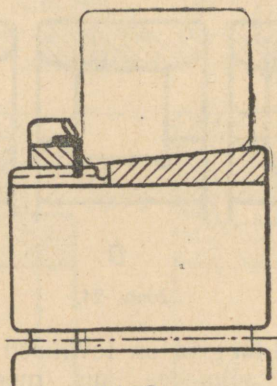
Sfäärilise rull-laagri alaliik (tüüp 13 000 — joon. 27) on kujundatud koonilise avaga (1 : 12) siserõngal ja ta kinnitatakse võlli koonilise pingutuspuksi abil. Nimetatud laagrid on eriti sobivad sõlmedes, kus on vajalik sagedane laagri demontaaž ja montaaž. Sfääriliste rull-laagrite (tüüp 73 000) kinnitamiseks on eriti sobivad koonilised puksid (joon. 28), mis surutakse võlli ja laagriava sisepinna vahele.



3000

OCT 6771-39

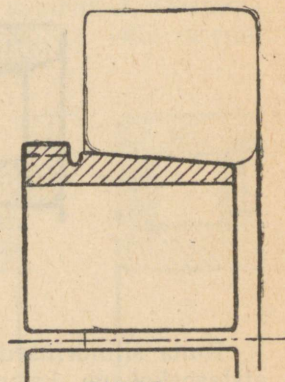
Joon. 26.



13000

OCT 7634-39

Joon. 27.

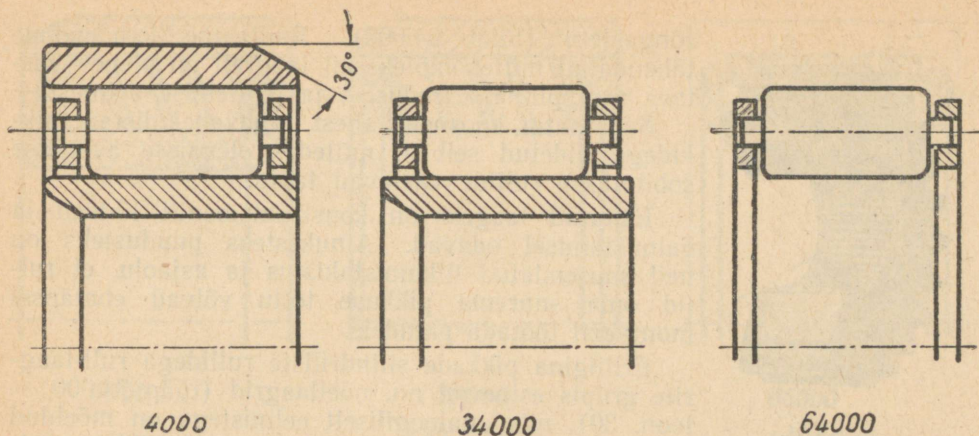


73000

Joon. 28.

#### e. Radiaal-rull-laagrid pikkade silindriliste rullidega — tüüp 4000.

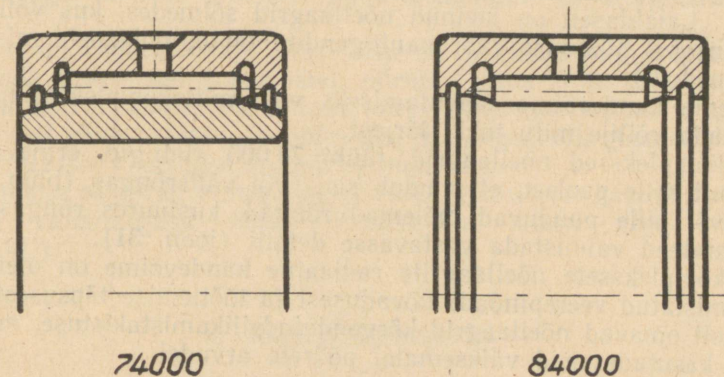
Radiaal-rull-laagrid pikkade silindriliste rullidega (tüüp 4000 — joon. 29) on määratud ainult radiaalkoormuste vastuvõtmiseks. Tänu rullide suuremale pikkusele omavad nad kõrgendatud radiaal-kandevõime,



Joon. 29.

mille tõttu antud laagrit on võimalik valmistada väiksema läbimõõduga, võrreldes teiste laagritüüpidega. Laagrielemendid — sise- ja välisrõngas ning rullid koos separaatoriga — on eraldi monteritavad ja asendatavad.

Välisrõnga asemel võib kasutada ka teraslindist painutatud elastset puksi. Rullide üle jätkukoha liikumisel tekkivate löökide vältimiseks on otstarbekohane kujundada jätk kalasabakujulisena.



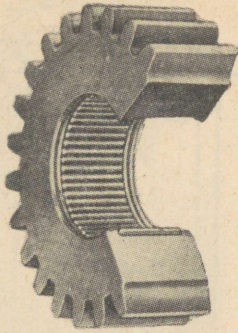
ГОСТ 4679-49

Joon. 30.

Laagri normaalse töö kindlustamiseks on vajalik tagada laagrirõngaste teljelisus.

Radiaal-rull-laagreid pikkade silindriliste <sup>rullidega</sup> völlidega (tüüp 4000) kasutatakse peamiselt väikestel pöörte arvudel ja suurtel radiaalkoormustel, kus on nõutav laagrisõlme väike diametraalne gabariit.

Tähendatud laagri konstruktiivsete variantidena esinevad põhiliselt samad laagrid, ainult ilma välisrõngata (tüüp 34 000) või täiesti ilma



Joon. 31.

rõngasteta (tüüp 64 000). Radiaalne kandevõime tähendatud mittekomplesseil laagreil on olenev vastava veerepinna kõvadusest ja töötlemise astmest.

Separatuur koosneb kahest, omavahel distantstük-kidega liidetud seibist, milledes olevaisse avadesse sobitatakse rullide vastavad tapid.

Esitatud laagrid on konstruktsioonilt lihtsad ja valmistamisel odavad. Ainukesteks puudusteks on neil suurendatud liikumistakistus ja asjaolu, et rullid oma suurema pikkuse tõttu võivad ebatäpsel montaažil töötada paindele.

Eriliigina pikkade silindriliste rullidega rull-laagrite grupis esinevad nn. nõellaagrid (tüüp 74 000 — joon. 30), mis analoogiliselt eelmistega on mõeldud ainult radiaalse koormuse vastuvõtmiseks. Tänu nõel-

rullide väikestele läbimõõtudele (2—5 mm) kujuneb laagri välisläbimõõt, võrreldes teiste laagritüüpidega (ka põhitüüp 4000), sama võlli läbimõõdu juures äärmiselt väikeseks, kuid samal ajal on radiaalne kandevõime suurem.

Separatuurit tähendatud laagrite puhul ei kasutata, vaid nõelrullid asetatakse vabalt rõngaste vahele. Analoogiliselt lühikeste silindriliste rullidega rull-laagreile on rõngad kujundatud servadega kas sise- või välisrõngal. Laagri elemente on võimalik eraldi monteerida.

Nõellaagrit kasutatakse peamiselt sõlmedes, kus diametraalgabariit on piiratud. Laialdaselt on levinud nõellaagrid sõlmedes, kus võll või kere omab võnkuva liikumise (kardaanliigendite tapid, nokkmehhanismid, kolbide sõrmed jt.).

Suurema kandevõime saavutamiseks võib mittekomplesseid nõellaagrit asetada võllile mitu tükki järjest.

Mittekomplesseid nõellaagrit, tüüpi 74 000 alaliigid, erinevad eeltoodust ainult selle poolest, et puudub sise- või välisrõngas (tüüp 84 000 ja 94 000) või jälle puuduvad mõlemad rõngad, kusjuures rõngaste asemel tuleb veereteid valmistada vastavasse detaili (joon. 31).

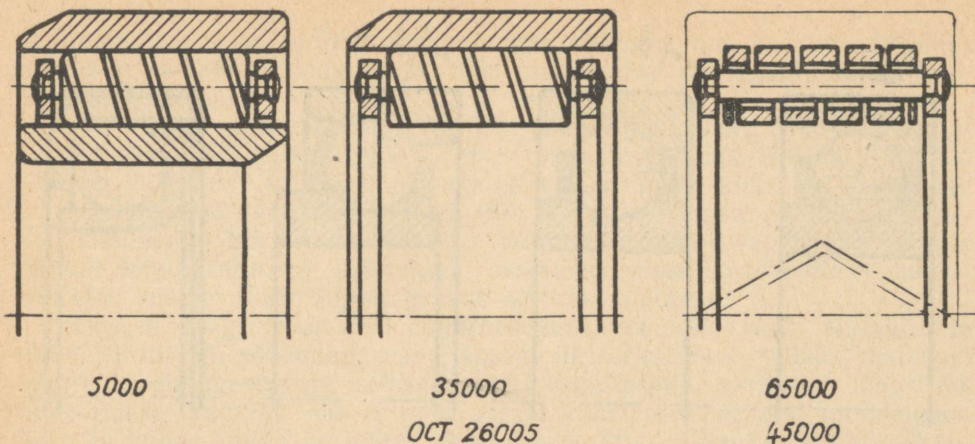
Mittekomplessete nõellaagrite radiaalne kandevõime on olenev detailisse valmistatud veerepindade kõvadusest ja töötlemise täpsusest.

Üldiselt omavad nõellaagrit kõrgendatud liikumistakistuse, mistõttu on soovitatav kasutada neid väiksematel pöörete arvudel.

#### f. Radiaal-keerdrull-laagrid — tüüp 5000.

Keerdrullidega radiaal-rull-laagrid (joon. 32) on sarnased pikkade rullidega rull-laagritega ja omavad põhiliselt samalaadilise kujunduse, kuid on väiksema radiaal-kandevõimega. Erinevusena esinevad siin vaid rullid, mis antud juhul on kujundatud keeratuna ristkülikukujulise löikepinnaga lindist. Pärast termilist töötlemist omavad keerdrullid suure kõvaduse ja elastsuse, mis võimaldab koormata laagrit löögilise koormusega, mis teistele laagritele ei ole soovitatav.

Separatuurid on kujundatud kahest omavahel varrastega ühendatud seibist. Varraste ülesandeks on antud puhul ka rullide juhtimine (pistetuina



Joon. 32.

läbi rullide). Laagri koostamisel on vajalik silmas pidada, et kõrvutasetsevail rullidel oleksid keerud suunalt vastupidised. See tagab rullide ühtlase määrimise ja väldib samuti rullide püüdu nihkuda telje sihis.

Tänu keerdrullide elastsusele on võimalik võlli längasend (kuni  $1/2^\circ$ ), mis ei ole aga üldiselt soovitatav, kuna lisapingete tagajärjel rullide iga väheneb.

Vähendatud radiaal-kandevõime tõttu on eelkirjeldatud laagreid soovitatav kasutada keskmistel koormustel, piiratud gabariitide ja väikeste pöörete arvude korral, kus ei ole nõutav kõrge pöörlemistäpsus. Kasutatakse neid tavaliselt vähevastutavates sõlmedes, kus keerdrulli geomeetriline kuju võib tööprotsessis koormuse tagajärjel muutuda.

Alaliikidena esinevad antud laagritüübid ilma siserõngata (tüüp 35 000), lõhestatud välisrõngaga (tüüp 45 000) ja täiesti ilma rõngasteta (tüüp 65 000).

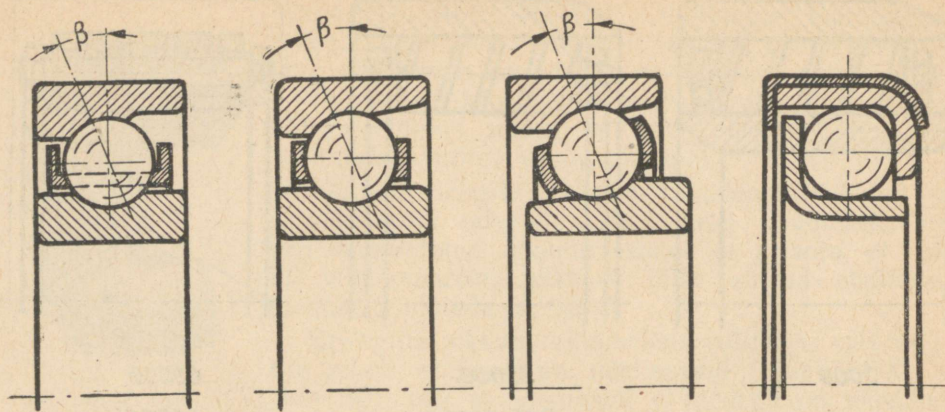
## 2. Radiaal-tugilaagrid.

### a. Radiaal-tugikuullaagrid — tüüp 6000.

Radiaal-tugikuullaagrid, nagu varem tähendatud, on ette nähtud peamiselt kombineeritud ja aksiaalkoormuste (ühesuunaliste) vastuvõtmiseks.

Radiaal-tugilaagrite prototüübiks võib lugeda magneetodes kasutatavat radiaal-tugilaagrit (tüüp 6000 — joon. 33). Tähendatud laager omab siserõngana tavalisele kuul-laagrile sarnase rõnga, kuna välisrõngas on kujundatud ühepoolse veereteega — seega on välisrõngas eraldatav.

Radiaal-tugikuullaagreid tüüp 6000 esineb siseläbimõõduga kuni 20 mm. Masinaehituses on enamrakendatavamad radiaal-tugikuullaagrite tüübid 36 000 ja 46 000 (joon. 34). Nimetatud laagrid omavad varemtooduga



6000

36000 - 46000

26000

96000

ГОТ 7028-39

ГОТ 831-41

Joon. 33.

Joon. 34.

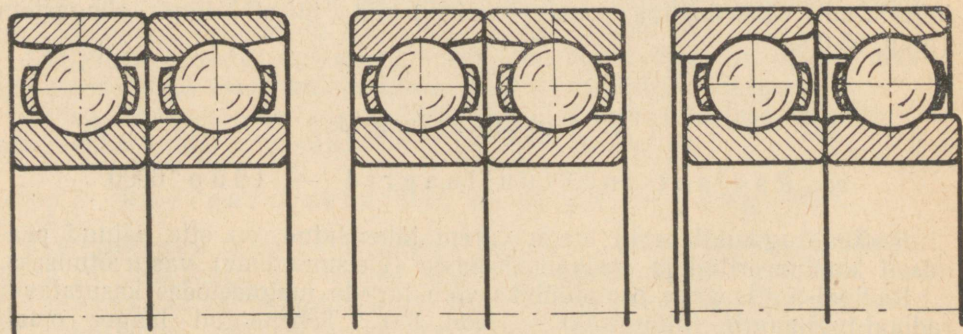
Joon. 35.

Joon. 36.

analoogilise kujunduse, kuid erinevad arvutusliku kontaktnurga  $\beta$  (joon. 34) suurus, s. o. nurga suuruses kuulide tsentreid läbiva tasapinna ja sirge vahel, mis läbib kuuli kokkupuutepunkti veereteega. Nii on tühbil 36 000 nurga  $\beta$  suurus  $12^\circ$  ja tühbil 46 000 —  $26^\circ$ . Kontaktnurga suurenedes suureneb laagri aksiaalne kandevõime radiaalse kandevõime vähenemise arvel.

Tüüpi 42 000 pole soovitatav kasutada ainult radiaalkoormuste juures.

Kuna esitatud laagritüüpidel on aksiaalse lötku suurus reguleeritav, võib neid laagreid kasutada suurtel pöörete arvudel.



236000 - 246000

336000 - 346000

436000 - 446000

ГОТ 832-41

Joon. 37.

Joon. 38.

Joon. 39.

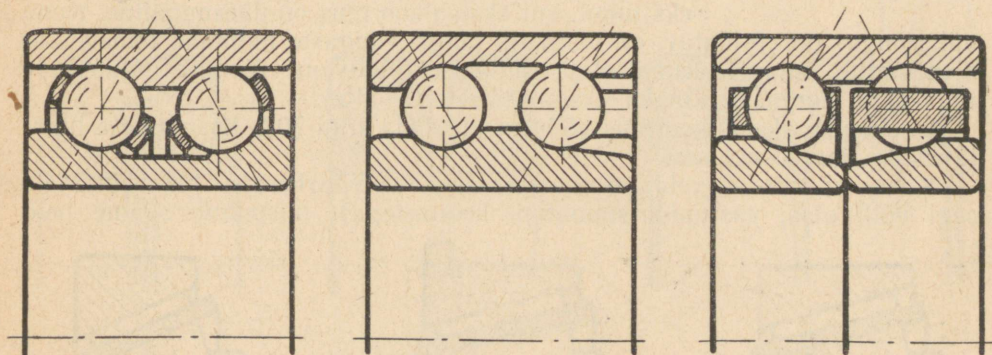
Enamlevinud on radiaal-tugikuullaagri alaliigid, mis koosnevad kahest tavalisest radiaal-tugilaagrist ja mida nimetatakse poolitatud radiaal-tugilaagriks „duplex”.

Neist võiks märkida tüüpi 236 000 (246 000 — joon. 37), kus vastakuti on asetatud välisrõngaste laiema otspinnad, tüüpi 336 000 (346 000 — joon. 38), kus vastakuti on asetatud välisrõngaste kitsamad otspinnad, ja tüüpi 436 000 (446 000 — joon. 39), kus välisrõngad asetsevad vastakuti kitsama ja laiema otspinnaga. Viimatitähendatud laagritüüp on ette nähtud eelpingestusega sobitatuna aksiaalkoormuste vastuvõtuks suurtel pööretel, kus tavalised tugilaagrid ei ole rakendatavad.

„Duplex”-laagreid on eriti otstarbekohane rakendada võlli aksiaalse ja radiaalse mängu vähendamiseks (täpseks fikseerimiseks), selleks vastavaid laagreid eelpingestusega sobitades (eelpingestusega sobitatud laagriteks nimetatakse laagreid, mis ei oma pärast kohalemonteerimist mingisugust lõtku ja milles kuulid on teatud eelkoormuse all). Laagrite teatav eelpingestus suurendab ka laagritekomplekti radiaalset või aksiaalset kandevõimet, suurendab sõlme jäikust, pöörlemistäpsust ja iga.

Alaliik tüüp 26 000 (joon. 35) esitab mõlema eraldatava ja nihutatud rõngaga radiaal-tugilaagrit.

Tüüp 96 000 (joon. 36) esitab lihtsustatud radiaal-tugikuullaagrit, mis leiab kasutamist vähekoormatud ja vähevastutusrikkastes sõlmedes.



56000

76000

86000

ГОСТ 4252-48

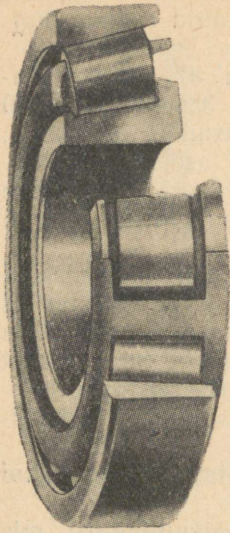
Joon. 40.

Joon. 41.

Joon. 42.

b. Kaherealised radiaal-tugikuullaagrid —  
tüübid 56 000 ja 76 000.

Kaherealised radiaal-tugikuullaagrid on ette nähtud suurte radiaal-aktsiaal- (mõlemasuunalised) või kombineeritud koormuste vastuvõtmiseks. Valmistatakse eelpingestatud sobitusega, mistõttu nimetatud laagrid on



Joon. 43.

sobivad eriti suurt jäikust nõudvais sõlmedes suurte pööretel. Nad kindlustavad võlli lõtkuvaba fikseerimise.

Tüüpide 56 000 (joon. 40) ja 76 000 (joon. 41) põhiliseks erinevuseks on kontaktjoone suund kuulide ja veerepindade vahel. Kontaktjoone nurk on mõlemal 26°.

Esitatud laagrid omavad suurema radiaal-kandevõime, kuna kuulide arv on kummaski reas suurem kui üherealisel radiaal-kuullaagril.

Eelpingestuse reguleerimist võimaldavad kaherealised radiaal-tugikuullaagrid on kujundatud kahe siserõngaga; neid esindab tüüp 86 000 (joon. 42).

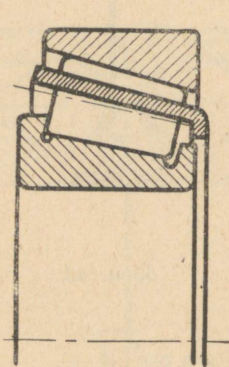
Võimalik aksiaalkoormuse suurus kõigil esitatud laagritel on kuni 80% kasutamata radiaalkandevõimest.

c. Koonilised radiaal-tugirulllaagrid — tüüp 7000.

Koonilised radiaal-tugikuul-laagrid (joon. 43 ja 44) on ette nähtud kombineeritud koormuse vastuvõtmiseks juhul, kui aksiaalkoormus on ühesuunaline. Kuna välisrõngas on eraldatav, on võimalik laagri rõngaste montaaž teineteisest olenematult. Laagri aksiaalset ja radiaalset lõtku on võimalik reguleerida nii sõlme montaažil kui ka eksploatatsiooni vältel.

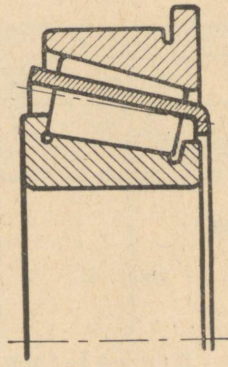
Ühepoolne aksiaalkoormus võib moodustada kuni 70% kasutamata lubatavast radiaalkoormusest.

Koonilisi rull-laagrit on soovitat asetada paarikaupa (üks kummassegi võlli otsa, vastupidi suunatud koonustega), mispuhul saame neid



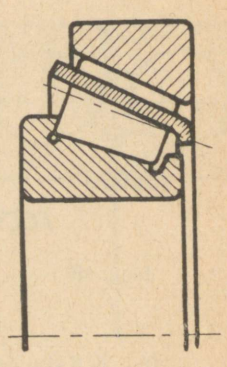
7000  
ГОСТ 333-41

Joon. 44.



67000  
ГОСТ 3169-46

Joon. 45.



27000  
ОСТ 26074

Joon. 46.

koormata ka radiaalkoormusega. Rakendada tähendatud laagreid ainuüksi aksiaalkoormuse vastuvõtmiseks pole soovitatav.

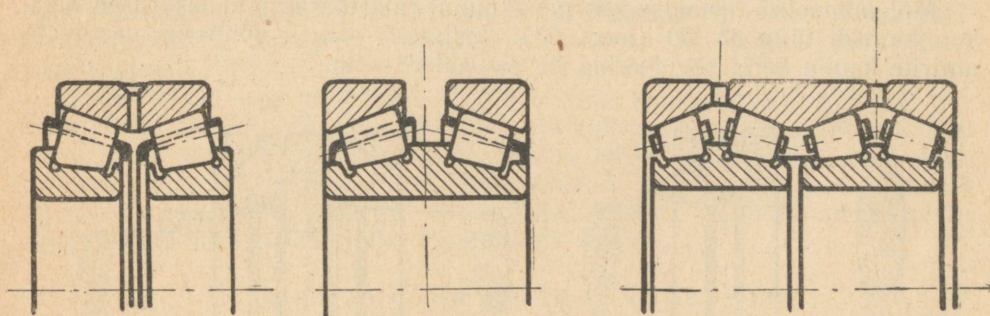
Koonilised rull-laagrid kindlustavad võlli aksiaalse nihkumatuse (lõtk laagri aksiaalse lõtku piires).

Kuna koonilisel rull-laagril siserõnga längasend välisrõnga suhtes pole lubatav, kasutatakse nimetatud laagreid peamiselt jäikade kahetoeliste võllide toetamiseks suuremate aksiaalkoormuste olemasolul.

Alaliikidena esinevad kooniliste rull-laagrite (tüüp 7000) grupis koonilised rull-laagrid tugiäärikutega välisrõngal — tüüp 67 000 (joon. 45). Nimetatud laagrit kasutatakse juhul, kui osutub vajalikuks laagrisõlme pikkuse vähendamine. Üldiselt lihtsustub selle laagri kasutamisel ka laagri-aluste avade valmistamine (läbitöötlemise võimalus).

Suuremate aksiaal- ja radiaalkoormuste olemasolul rakendatakse suurendatud kontaktnurgaga ( $\beta = 26^\circ$ ) koonilisi rull-laagreid tüüp 27 000 (joon. 46).

Suurte radiaalkoormuste ja väiksemate mõlemasuunaliste aksiaalkoormuste korral kasutatakse mitmerealisi koonilisi rull-laagreid. Tüübid 37 000 (joon. 47) ja 47 000 (joon. 48) omavad radiaalkandevõimet kuni 180% vastavate üherealiste laagrite radiaalkandevõimest, sealjuures võivad mõlemapoolsed aksiaalkoormused ulatuda kuni 40%-ni kasutamata lubatavast radiaalkoormusest.



**37000**

Joon. 47.

**47000**

Joon. 48.

**77000**

Joon. 49.

Neljarealsed koonilised rull-laagrid, tüüp 77 000 (joon. 49), omavad radiaalkandevõimet kuni 350% üherealise laagri radiaalkandevõimest, ja võimalik mõlemapoolne aksiaalkoormus võib küündida kuni 20%-ni kasutamata lubatavast radiaalkoormusest. Mitmerealised koonilised rull-laagrid leiavad peamist rakendamist metallurgiatööstuse raskeis seadmes.

### 3. Tugi-radiaallaagrid.

Tugi-radiaallaagrid on analoogilised radiaal-tugikuullaagritega, erinedes viimastest vaid kontaktnurga suuruse poolest, mis antud juhul on  $\beta = 40^\circ$ . Suurendatud kontaktnurga tõttu on nad ette nähtud sõlmedesse,

kus domineerivaks koormuseks on aksiaalne koormus. Radiaalne koormus võib küündida kuni 30% kasutamata lubatavast aksiaalkoormusest, viimase samaaegsel mõjumisel.

Tugi-radiaallaagrite põhitüübina esineb üherealine tugi-radiaallaager tüüp 66 000. Kombineerituna kahest üherealisest tugi-radiaallaagrist, on nn. „duplex”-laagrid esindatud tüüpidega 266 000, 366 000 ja 466 000 (analooilised joonistel 37—39 esitatutega).

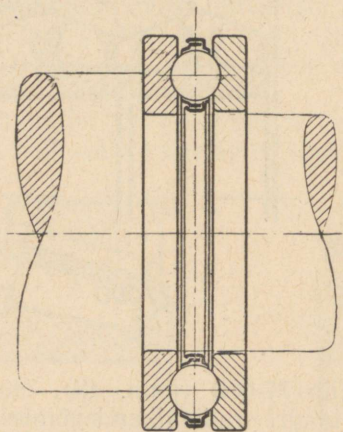
#### 4. Tugilaagrid.

##### 1. Tugi-kuullaagrid — tüüp 8000.

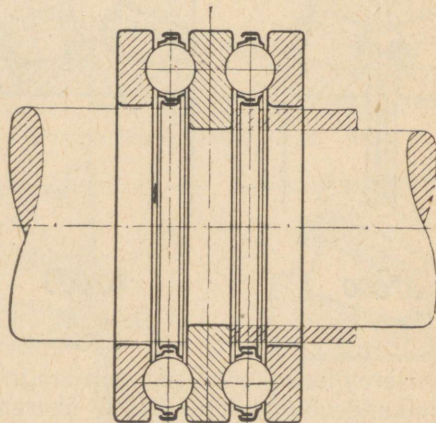
Tugi-kuullaagrid on määratud ainult aksiaalse koormuse vastuvõtmi-seks. Nad töötavad rahuldavalt võrdlemisi väikestel pöörete arvudel, kuna suurtel pöörlemiskiirustel tekkiva tsentrifugaaljõu tõttu on kuulid üle koor-matud ja töötavad suurendatud hõõrdumisega.

Tugi-kuullaagri põhitüüp 8000 (joon. 50) koosneb kahest rõngast, kuu-lidest ja separaatorist. Kuna esitatud laager on ühekordne, siis on ta või-meline vastu võtma ainult ühepoolset aksiaalset koormust. Võlli liikumist radiaalsuunas ta ei takista. Laagri normaalse töö kindlustamiseks ei tohi laagri rõngaste vahel esineda mingisugust längasendit.

Mõlemapoolse aksiaalse koormuse puhul rakendatakse kahekordsed tugi-kuullaagrid, tüüp 38 000 (joon. 51), kusjuures esineb võimalus vastavate mutrite kaudu kerel reguleerida ka aksiaalset lõtku.

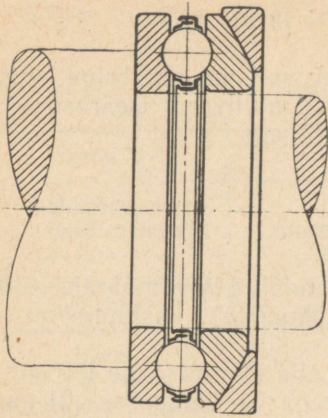


8000  
Joon. 50.



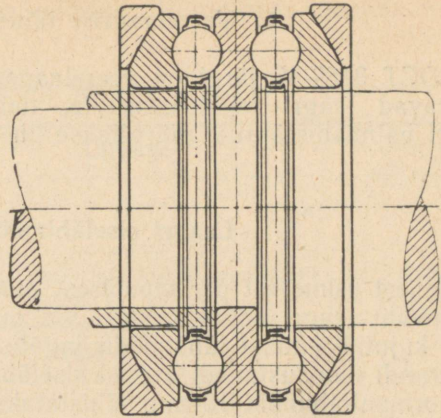
38000  
Joon. 51.

Võimalike montaaži- ja töötlemissvigade kompenseerimiseks leiavad rakendamist tugi-kuullaagrid sfääriliste tugivõrudega, tüübid 18 000 (joon. 52) ja 48 000 (joon. 53). Võllide läbipaindumisest tingitud längu sfäärilised tugivõrud ei kompenseeri, seega ei oma laager tööperioodil ise-seadumise omadusi.



18000

Joon. 52.



48000

Joon. 53.

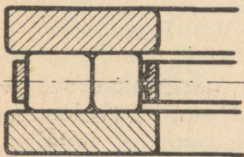
Tootmistehnoloogia ja töötlemistäpsuse suurenemisest tingituna on kaasajal sfäärilise tugirõngaga tugi-kuullaagrite kasutamine vähenenud.

Tugi-kuullaagreid kasutatakse suuremate aksiaalkoormuste vastuvõtmi- seks väiksematel pööretel ja eelistatult vertikaalseil võllidel. Kuna tugi- kuullaager võlli radiaalset liikumist ei takista, siis kasutatakse viimast koos radiaallaagritega.

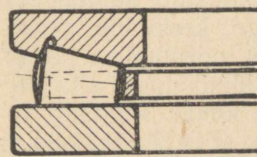
Kahekordsed tugi-kuullaagrid, omades küll kahe-suunalist tööviisi, töö- tavad siiski puudulikult, kuna koormamata kuuliderida nihkub tekkiva aksi- aalse lötku tagajärjel tsentrifugaaljõudude mõjul radiaalselt, mille tõttu tekib kuulide ja veerete vahel suurendatud hõõrdumine ja tööpindade intensiivne kulumine. Seega tuleb kahekordse tugi-kuullaagrite juures märgatavaid aksiaalseid lötku võimalikult vältida.

## 2. Tugi-rull-laagrid — tüüp 9000.

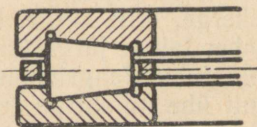
Tugi-rull-laagreid kasutatakse suurte ja eriti suurte ühepoolsete aksiaal- koormuste vastuvõtmiseks väikestel pöörete arvudel. Tugi-rull-laagreid leiame silindriliste rullidega, tüüp 9000, ja kooniliste rullidega, tüüp 19000 ja 9019000 (joon. 54).



9000



19000



9019000

ГОСТ 5380-50

Joon. 54.

## 5. Veerelaagrite tähistus ГOCT-i järgi.

ГOCT 3189-46 järgi on veerelaager tähistatav seitsme numbriga, mis määravad laagri mõõted, seeria, tüübi ja konstruktiivsed iseärasused; laagri valmistustäpsust märgitakse ühe või kahe tähega.

### Laagri siseläbimõõdu märkimine.

Kahest esimesest parempoolsest numbrist kujundatud arv määrab võlli läbimõõdu laagri kohal (laagri või puksi siseläbimõõdu), kusjuures arv-tähis kujutab endast läbimõõdu jagatist 5-ga.

Erandi moodustavad laagrid siseläbimõõduga alla 20 mm ja üle 495 mm.

Normaalläbimõõt 10 mm tähistatakse numbritega 00, 12 mm — 01-ga, 15 mm — 0,2-ga, 17 mm — 03-ga. Siseläbimõõtude puhul kuni 9 mm (kaasa arvatud) kirjutatakse läbimõõt faktilise suurusena paremalt esimese numbrina, teise numbriga märgitakse sel puhul seeria ja kolmandaks numbriks 0. Magneeto laagrite (tüüp 6000) siseläbimõõt märgitakse faktilise suurusena kahe parempoolse numbriga.

Laagritel siseläbimõõduga rohkem kui 495 mm antakse tingtähis murruna, mille nimetaja kujutab tegelikku läbimõõtu ja lugeja tavalisel viisil seeriat, tüüpi ja konstruktiivseid erinevusi.

Mittestandardse siseläbimõõdu korral, s. t. kus siseläbimõõt ei ole jaguv 5-ga või kujutab endast mittetäisarvu, tähistatakse siseläbimõõtu järgmiselt: siseläbimõõdul 20 kuni 495 mm antakse 5-ga jagatise ligikaudne väärtus ja asetatakse paremalt kolmandale kohale number 9; vahemikus 10 kuni 20 mm antakse läbimõõt lähima normaalläbimõõdu tähisega, kusjuures paremalt kolmandale kohale jääb samuti number 9; mitte täisarvuliste siseläbimõõtude puhul alla 10 mm antakse ligikaudne täisarvuline läbimõõt, seejuures kirjutatakse teisele kohale paremalt number 4 või 5 ja kolmandale 0.

### Laagri seeria märkimine.

Laagri seeria määravad eritabeli järgi kolmas ja seitsmes number paremalt. Siinjuures iseloomustab kolmas number laagrit välisläbimõõdu (ülikerge, eriti kerge, kerge, keskmine, raske ja määramatu) ja seitsmes number laiuse järgi (kitsas, normaalne, lai, eriti lai). Erandi moodustavad antud juhul laagrid siseläbimõõduga alla 10 mm; siin märgitakse seeria ainult ühe numbriga teisel kohal. Radiaal- ja sfäärilised kuullaagrid siseläbimõõduga kuni 10 mm (ГOCT 6121-39 ja 6266-39) omavad tavalise tähistuse.

Mittestandardse välisläbimõõdu või laiusega laagrite puhul (määramatu seeria) märgitakse kolmandale kohale 7 või 8. Määramatu seeriaga laagrid siseläbimõõduga alla 10 mm märgitakse numbritega 6 või 7 teisel kohal ja 0 kolmandal kohal.

Seeria tähistus FOCT-i kohaselt on esitatud alljärgnevas tabelis.

Veerelaagrite seeria tähistus

Seeria	Ülikerge							
Välisläbimõõdu seeria (3. number paremalt)	8				9			
Laiuse seeria (7. number paremalt)	kitsas 7	normaalne 1	lai 2	eriti lai 3 või 4	kitsas 7	normaalne 1	lai 2	eriti lai 3, 4, 5 või 6
Seeria	Eriti kerge							
Välisläbimõõdu seeria (3. number paremalt)	1				7			
Laiuse seeria (7. number paremalt)	kitsas 7	normaalne 0	lai 2	eriti lai 3, 4, 5 või 6	kitsas 7	normaalne 1	lai 2	eriti lai 3
Seeria	Kerge				Keskmine			
Välisläbimõõdu seeria (3. number paremalt)	2 või 5*				3 või 6*			
Laiuse seeria (7. number paremalt)	kitsas 0	normaalne 1	lai 0	eriti lai 3	kitsas 0	normaalne 1	lai 0	eriti lai 3
Seeria	Raske				Määramatu			
Välisläbimõõdu seeria (3. number paremalt)	4				7 või 8			
Laiuse seeria (7. number paremalt)	kitsas 0	lai 2		määramatu 0				
Seeria	Mittenormaalised siseläbimõõdud				Väikegabriitsed laagrid			
Välisläbimõõdu seeria (3. number paremalt)	9				0			
Laiuse seeria (7. number paremalt)	määramatu 0				mitmesugune 0			

Märkus: 1. Tugilaagritel tähistab 5 kolmandal kohal, kui seitsmendal kohal on 0, eriti rasket seeriat.

2. Numbrid 5 ja 6 märgitud tähekesega, iseloomustavad seeriat läbimõõdu ja laiuse järgi.

3. Toodud tabeli kohaselt tähistatakse määramatu seeria ja mittenormaalset siseläbimõõduga laagrid mitte rohkem kui kuue numbriga.

## Laagri tüübi märkimine.

Laagri tüüp märgitakse neljanda numbriga paremalt järgmiselt:

üherealised radiaal-kuullaagrid . . . . .	0,
kaherealised (sfäärilised) kuullaagrid . . . . .	1,
radiaal-rull-laagrid lühikeste silindriliste rullidega . . . . .	2,
kaherealised sfäärilised rull-laagrid . . . . .	3,
radiaal-rull-laagrid pikkade silindriliste rullidega . . . . .	4,
radiaal-keerdrull-laagrid . . . . .	5,
radiaal-tugikuullaagrid . . . . .	6,
koonilised radiaal-tugirull-laagrid . . . . .	7,
tugi-kuullaagrid . . . . .	8,
tugi-rull-laagrid . . . . .	9.

## Laagri konstruktiivsete erinevuste märkimine.

Laagri konstruktiivsed erinevused märgitakse viienda või viienda ja kuuenda numbriga. Konstruktiivsete erinevuste tähistused on määratud veerelaagrite klassifikatsioonis (ГОСТ 3395-46), näiteks ääriste olemasolu või puudumine sise- või välisvõrul, tugiseibi, kaitseseibi, vilttihendi olemasolu, arvutusliku kontaktnurga suurus radiaal-tugi- või tugi-radiallaagreis jne.

## Laagri täpsuse märkimine.

Kui ei ole tegemist normaalse täpsusega laagriga, siis laagri numbrilise tähise ees antakse iseloomustus valmistuse täpsuse kohta (ГОСТ 520-45) ühe või kahe tähega järgmiselt:

normaalne . . . . .	H	(ei märgita)
kõrgendatud . . . . .	Π	
eriti kõrgendatud . . . . .	ΒΠ	
kõrge . . . . .	B	
eriti kõrge . . . . .	AB	
pretsiisne . . . . .	A	
eriti pretsiisne . . . . .	CA	
ülipretsiisne . . . . .	C	

Tähendatud täpsusklasside järgi valmistatakse laagreid alljärgnevalt:

1. Täpsusklass C ja CA:

üherealised radiaal-kuullaagrid (tüüp 0000),  
radiaal-tugikuullaagrid (tüüp 36 000, 236 000, 336 000, 436 000), radiaal-rull-laagrid lühikeste silindriliste rullidega (tüüp 2000 ja 32 000).

2. Täpsusklass A ja AB:

kõik punktis 1 tähendatud laagrid ja peale nende kaherealised sfäärilised kuullaagrid (tüüp 1000) siseläbimõeduga kuni 10 mm,  
tugi-kuullaagrid (tüüp 8000),

magneeto laagrid (tüüp 6000) siseläbimõeduga kuni 10 mm, koonilised radiaal-tugirull-laagrid tugiäärikuga välisvõrul (tüüp 67 000).

3. Täpsusklass B, BII ja II:  
kõik punktis 1 ja 2 tähendatud laagrid ja peale nende magneeto laagrid (tüüp 6000) kõigis mõõteis, kaherealised radiaal-tugikuullaagrid (tüüp 56 000).

4. Täpsusklass H:  
kõik laagri tüübid välja arvatud vähendatud täpsusega lihtsustatud tüübid.

Tingtähistuses jäetakse esimesest väärtusega numbrist vasakul asetsevad nullid kirjutamata.

Millist veerelaagrit kujutab siis näiteks tähis 60213? Neljas number paremalt (0) ütleb, et tegemist on radiaal-kuullaagriga. Viies number (6) on määratud klassifikatsiooni käsitlevas standardis ühe kaitseseibiga üherealise radiaal-kuullaagri tähistamiseks. Kolmas number paremalt (2) märgib eritabeli kohaselt laagri seeriat — käesoleval juhul — kerget. Seitsmes number paremalt, mis pidi määrama laagri suhtelise laiuse, on jäetud kirjutamata. See tähendab, et ta osutus 0-ks ja tegemist on kitsa laagriga. Esimene ja teine number paremalt, korrutatud 5-ga, annavad laagri siseläbimõõdu, s. o. 65 mm. Tähisele 60213 vastab „üherealine kaitseseibiga radiaal-kuullaager kergest kitsast seeriast” (ГОСТ 26022). Võrdluseks olgu märgitud, et sama tüüpi ja läbimõõtu laager, kuid keskmisest kitsast seeriast (tähis 60313) omab 130 mm-lise välisläbimõõdu ja 33 mm-lise laiuse; kahe kaitseseibiga samasuguseid laagreid tähistatakse vastavalt 80213 ja 80313.

Tähis 332409 tähistab aga lühikeste silindriliste rullidega radiaallaagrit (2 neljandal kohal paremalt), mille sisevõrul puuduvad äärised (3 viiendal kohal) ja mille ava omab koonilisust (3 kuuendal kohal); laager on raskest seeriast (4 kolmandal kohal), kannab suhtelise laiuse iseloomustamiseks nimetust „kitsas” (ära jäetud 0 seitsmendal kohal paremalt) ja on läbimõõduga 45 mm ( $5 \times 9 = 45$ ).

## 6. Veerelaagrite materjalid ja tootmise tehnoloogia.

Veerelaagrite üksikosade valmistamiseks kasutatakse peamiselt kulumiskindlaid, suure süsinikusisaldusega kroommangaanteraseid.

NSV Liidus valmistatakse kuul- ja rull-laagrite elemendid teraseist grupist IIIX, millede iseloomustus on esitatud tabelis 1.

Tabel 1.

Veerelaagrite materjalid

Terase mark	Süsinik C %	Mangaan Mn %	Räni Si %	Kroom Cr %	Väävel S %	Fosfor P %
					mitte üle	
IIIX-6	1,05—1,15	0,2—0,4	0,15—0,35	0,4—0,7	0,02	0,027
IIIX-9	1,0 —1,1	0,2—0,4	0,15—0,35	0,9—1,2	0,02	0,027
IIIX-15	0,95—1,1	0,2—0,4	0,15—0,35	1,3—1,65	0,02	0,027
IIIX-15CT	0,95—1,1	0,9—1,2	0,4 —0,65	1,3—1,65	0,02	0,027

Märkus: Uheski terasemargis ei tohi niklisisaldus ületada 0,3%, vasesisaldus 0,25% ja nikli- ja vasesisaldus kokku 0,5%.

Teras väljastatakse varbadena, kangidena või lattidena, lõõmutatult või ilma. Külmalt tõmmatud teras väljastatakse ainult lõõmutatult.

Tehnilised tingimused tähendatud teraste kohta on määratud normiga GOCT 801-47.

Teraseid ИХХ-15 ja ИХХ-15СГ kasutatakse peamiselt rõngaste valmistamiseks, kusjuures ИХХ-15СГ on määratud suuregabariidilise rõngaste valmistamiseks.

Veerekehad (kuulid ja rullid) valmistatakse teraseist ИХХ-6 — varva läbimõduga kuni 10 mm, ИХХ-9 — varva läbimõduga 10—18 mm ja ИХХ-15 — varva läbimõduga üle 18 mm.

Noellaagrite stantsitud välisrõngad valmistatakse vähese süsinikusisaldusega külmaltsitatud teraseist, mark 08 ja 10 (paksuse suhtes kõrgendatud täpsusega teraslint — GOCT 503-41). Rõngad tsüaneeritakse pärast valmistamist sügavuseni 0,07—0,09 mm, kõvaduseni  $H_{RC} = 61—65$ .

Veerelaagrite rõngaste valmistamine toimub kuumalt sepistamise, pressimise ja valtsimise teel, millele järgneb töötlemine mehaanilistel lõikepindidel. Väiksemate laagrite veererõngad valmistatakse kas otseselt treimise teel täisvaralisest materjalist või ka tõmmatud torudest.

Pärast mehaanilist töötlemist järgneb pooltoodete karastamine kõvaduseni  $H_{RC} = 62—64$ . Karastamiseks ette nähtud rõngad kuumutatakse elektri- või gaasiahjudes kuni temperatuurini 820—840°, hoitakse teatud ajavahemikul püsivas karastamisest kõrgemas temperatuuris ja pärast seda järsku jahutatakse.

Pretsissioon-laagrite rõngaste geomeetrilise kuju stabiliseerimiseks järgneb viimastele veel töötlemine külraga.

Termilisele töötlemisele järgneb rõngaste mõõdete täpsustamine lihvimise teel, kus kõigepealt lihvitakse rõnga otspinnad, siis silindrilised välispinnad, silindrilised sisepinnad ja lõpuks veerepinnad.

Pärast pindade lihvimist rõngad demagnetiseeritakse. Suure vastutusega laagrite rõngaid kontrollitakse võimalike mõrade ja defektide avastamiseks veel söövitamisega.

Rõngaste mehaaniline töötlemine lõpeb veerepindade peegelpinnaks poleerimisega.

Rõngaid kontrollitakse pärast lõplikku töötlemist valmistustäpsuse seisukohast vastavalt aparaatidel minimeetritega ja sorteeritakse täpsuse piires  $2\mu$ .

Kuulide algkuju saavutatakse kuumalt või külmaltsimise teel horisontaalseil ekstsenterpressidel. Viimasel ajal on rakendatud ka kuulikeste valtsimist.

Järgneb edasise mehaanilise töötlemise hõlbustamiseks pooltoodete lõõmutamine ja seejärel ruppimine erilistel ruppimismasinatel, kus kuulikestele antakse nende põhiline algkuju.

Enne termilise töötlemise algust toimub kuulide eellihvimine. Kuulide termiline töötlemine peab kindlustama kuulidele vajaliku pinnakõvaduse ja eemaldama kuuli pinnalt stantsimisel tekkinud sisepinged. Termiline töötlemine toimub elektriahjudes, oksüdeerimise vältimiseks ilma õhu juurdepääsuta.

Karastatud kuulikesi lõõmutatakse õlivannis temperatuuril  $120^{\circ}$ — $130^{\circ}$ . Kuulide pinnakõvadus on  $H_{RC} = 64$ — $66$ , mis on suurem rõngaste pinnakõvadusest (vastavalt ГОСТ 3722-47).

Karastamisele järgneb kuulide kvaliteedi kontroll.

Kuulide pinna viimistlemine toimub lihvimise ja poleerimise teel. Lihvimine toimub malmist ketaste vahel lihvimispastaga. Poleerimiseks kasutatakse viini lupja. Kuulikeste peegelpind saavutatakse poleerimise teel horisontaalseis puitrumleis pehmest nahast lõkudega.

Pärast kuulide lõplikku töötlemist järgneb pinnapuhtuse kontroll ja kuulide sorteerimine vastavalt sorteerimismasinail, täpsusega kuni  $2\mu$ . Pretsissioonlaagrite kuulide sorteerimise täpsus, olenevalt vajadusest, toimub piires  $0,2\mu$ — $0,5\mu$ .

Koonusrullide valmistamine on tööoperatsioonidelt põhiliselt analoogiline kuulide valmistamisega. Pärast termiliselt töödeldud pooltoote otspindade lihvimist toimub koonuspinna lihvimine. Eellihvimisele järgneb koonusrulli otspindade (kas tasapinnaliste või sfääriliste) ja siis koonuspinna lõplik lihvimine.

Koonusrullide lõplik töötlemine toimub laping-protsessiga, millele järgneb rullide sorteerimine erimasinail.

Silindriliste rullide valmistamise menetlus oleneb põhiliselt rulli kujust. Toodetakse lühikesi silindrilisi rulle (pretsissioonrullid), silindrilisi pikki rulle, silindrilisi pikki rulle otstappidega või läbipuuritud avadega, soonisrulle ja sfäärilisi (tunnikujulisi) rulle.

Silindrilised täisrullid pooltootena valmistatakse vastava läbimõõduga varvast treipingil lõikamise teel. Pärast rullide pooltoodete termilist töötlemist pöörlevates elektriühjades järgneb rullide vastavate pindade lihvimine ja poleerimine analoogiliselt koonusrullidega.

Hoopis erinevalt toimub keerdrullide valmistamine. Teraslindist IIX-10 keeratakse erilisel masinal silindriline spiraal, mis lõigatakse ketassaega mõne meetri pikkusteks tükkideks. Tähendatud spiraalid lihvitakse ja töödeldakse treipingil mehaaniliselt, kus üheaegselt lõigatakse rullid vastavais pikkustes ja faasitakse otspinnad. Pärast mehaanilist töötlemist toimub rullide termiline töötlemine. Lõõmutatud rullide pinna kõvadus on  $H_{RC} = 50$ — $55$ .

Sfääriliste rullide valmistamine erineb eelkirjeldatust ainult oma keerukuse poolest, kuna põhioperatsioonid on analoogilised silindriliste rullide valmistamisega.

Separaatrite valmistamine, milleks kasutatakse peamiselt lintterast, toimub kaasajal võimsail mitmespindlilistel pressidel, kus on võimalik sooritada üheaegselt mitu tööoperatsiooni.

Pronksist, vasest, duralumiiniumist, tekstoliidist ja pressitud puidust separaatrite valmistamine toimub vastavais pressvormides. Avad kuulide paigutamiseks valmistatakse puurimise või freesimise teel.

Eelmainitud separaatorid võivad olla kujundatud kas tervikuna või poolitatuna telje risttasapinnas, kusjuures pooled liidetakse neetimisega.

Laagrite koostamine toimub vastavalt laagri tüübile. Pärast veerekehade asetamist rõngaste vahele, mis toimub käsitsi, kontrollitakse laagri

vaba, takistusteta veeremist. Kui laagri veeremine toimub raskelt, võetakse veerekehad uuesti välja ja pannakse uus suurema läbimõõduga välisrõngas või väiksema läbimõõduga siserõngas. Liigselt vaba laagri veeremise puhul toimub vastupidine laagri rõngaste valik.

Pärast laagri komplekteerimist asetatakse kohale separaatori pooled ja needitakse vastaval pressil kokku.

Pärast laagri lõplikku valmimist laagri kontrollitakse, pestakse petrooleumis või bensiinis (väikese õlisisaldusega) ja määratakse anti-korrodeeriva määrdega, mille sulamistemperatuur on  $80^{\circ}$ — $90^{\circ}$  C. Määritud laagrid pakitakse niiskusekindlalt (parafiinitud paberis) karpidesse.

## II. VEERELAAGRITE ARVUTAMISE ALUSED.

Veerelaagrite arvutamise kaasaegsete aluste põhjendajaiks on oma uurimistöodega nõukogude teadlased V. Treuer, B. Tsõpkin, N. Spitsõn jt. Kujunenud arvutusmeetod võimaldab määrata laagrielementide vajalikud mõõded ja arvutamise teel laagri kandevõime ja kasutamise ea, mis on eriti oluline tingimustekohase laagri valikul.

Veerelaagrite teoreetilise arvutuse hoogsa arengu aluseks tuleb lugeda kahe, punkti või joone kaudu kokkupuutuva kõva elastse keha pingete ja deformatsioonide probleemi lahendust Herz'i poolt. Viimase töö võimaldas määrata koormuse ja deformatsioonipinnakese suuruse vahelise olenevuse, fikseerides samuti vahekorra tekkinud elastse deformatsiooni ja mõjuva jõu vahel (kehadé lähenemine) ning jõu ja tekkiva survepinge vahel.

Nimetatud probleemi lahenduse lähtepunktidenä oletati, et a) mõlemad kokkupuutuvad kehad on isotroopsed, b) kokkupuutepind, võrreldes kehade pinnaga, on suhteliselt väike, c) mõjuv koormus on suunalt risti kokkupuutepinnaga ja d) kontaktpinnas tekkiv pinge ei ületa kokkupuutuvate materjalide elastsuspiiri.

Veerelaagrite seisukohalt on esimene tingimus enam-vähem täidetud, arvestades laagrielementide materjalina karastatud kroomterast. Ka teine tingimus on täidetud, kuna kontaktpinna suurus, mille piiiriks on  $1/400$  kuuli pindalast, ettenähtud piiiri tegelikult ei ületa. Vastasel korral pole arvutuse teostamine üldtähendatud meetodiga lubatav.

Kolmas tingimus on täidetud osaliselt, kuna pindade deformeerimisel tekivad ka põikjõud.

Ka neljas tingimus on üldiselt täidetud, kuna laagri töö ei ole võimalik materjali elastsuspiirist üle minnes.

Kuna veerelaager ei kujuta endast mitte staatilist süsteemi, vaid tema elemendid on tööolukorras koormatud pidevalt muutuvate jõududega, mis teatava perioodi vältel omavad maksimaalse ja minimaalse suuruse, siis on laagri arvutuse põhiliseks ülesandeks määrata kindlaks vahelduva koormuse tingimustes töötavate laagrielementide iga. Viimast iseloomustab pingetsükli arv vastaval koormusel. Kuna materjali väsimus avaldub kõigepealt kohtades, kus on tegemist suurimate pingetega, siis tuleb õigete tulemuste saamiseks erilist tähelepanu pöörata koha määramisele,

kus tähendatud suurimad pinged esinevad, ja arvutus ka nendele and-  
metel läbi viia.

Ilmselt on selge, ja seda on tõendanud ka arvukad katsed, et mida  
suurem on pinge, seda väiksem on võimalik pingetsüklite arv materjali  
väsimiseni. Kui märkida tähega  $\sigma$  pinge suurus mingisuguses veerepinna  
punktis ja tähega  $u$  korduvate pingetsüklite arv antud punktis kuni mater-  
jali väsimustunnuste avaldumiseni, siis võime seose maksimaalse pinge ja  
pingetsüklite arvu vahel avaldada vahekorraga  $u = f(\sigma)$ .

Kuna laagrielementide juures on tegemist liitpingetega, siis on lubatav  
maksimaalne pinge igal juhul mitu korda väiksem staatilisel koormus-  
el lubatavast suurimast pingest.

### 1. Pinge ja deformatsiooni suurus kahe kõva elastse keha kontaktpinnal.

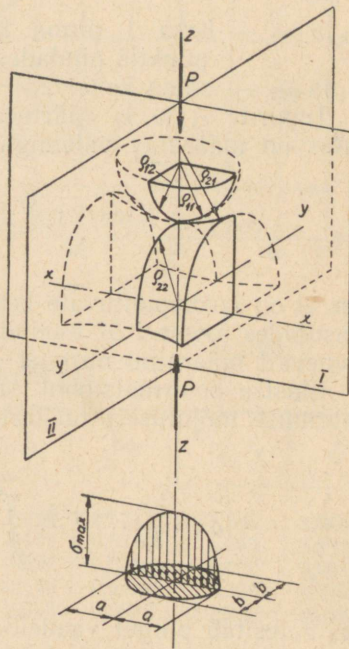
Punkt või joon, millel kaks keha ilma  
koormuseta kokku puutuvad, muutub koormuse  
mõjumisel teatava suurusega pin-  
naks, kusjuures pinna kõverus, võrreldes  
esialgse kõverusega (koormuseta olukor-  
ras), on muutunud. Survepinge on tekki-  
nud kontaktpinnakese kontuuril null ja  
kasvab kontuuri tsentri poole, kus ta omab  
maksimaalse väärtuse. Katsetega on tehtud  
kindlaks, et antud juhul tekib ohtlik pinge  
siiski kontaktpinna kontuuril tõmbepinge  
näol; surve tõttu suurenenud elastsus-  
piiri tagajärjel tekivad kontuuril mõrad  
happa metalli puhul või jääv deformatsioon  
plastilise metalli korral.

Kontaktpinnakese projektsioon on kuul-  
laagreil ellipsi kujuline, mille pooltelgede  
suurus on olenev kokkupuutuvate kehade  
pindade kõverusest, kehade materjalide  
elastsusest ja survejõust  $P$  (joon. 55).

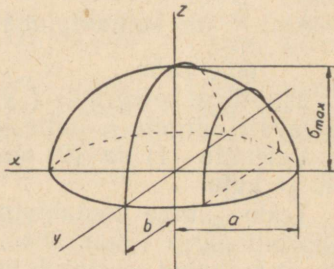
Pooltelgede suurus on määratav järg-  
miste valemitega:

$$a = \nu_1 \sqrt[3]{\frac{3P(\varrho_1 + \varrho_2)}{8(\varrho_{11} + \varrho_{22} + \varrho_{12} + \varrho_{21})}}, \quad (1)$$

$$b = \nu_2 \sqrt[3]{\frac{3P(\varrho_1 + \varrho_2)}{8(\varrho_{11} + \varrho_{22} + \varrho_{12} + \varrho_{21})}}, \quad (2)$$



Joon. 55.



Joon. 56.

kus  $a$  on ellipsi pikem pooltelg cm;  
 $b$  — ellipsi lühem pooltelg cm;  
 $P$  — normaaljõud, millega on kehad vastakuti surutud;  
 $\vartheta_1$  ja  $\vartheta_2$  — kehade elastsustegurid, mis olenevad materjali elastsusmoodulist ja on määratavad valemiga

$$\vartheta = \frac{4(m^2 - 1)}{Em^2}.$$

Siin on  $E$  materjali elastsusmoodul,  $m$  — Poisson'i teguri pöördväärtus; võttes  $E = 2,1 \cdot 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> ja  $m = 3$ , saame

$$\vartheta = \frac{32}{9E};$$

$q_{11}$  ja  $q_{12}$  — keha 1 pinna kõverusraadiuste pöördväärtused kokkupuutepunktis pindades I ja II,

$q_{21}$  ja  $q_{22}$  — sama kehal 2.

Tegurite  $\nu_1$  ja  $\nu_2$  väärtused määratakse abinurga  $\tau$  kaudu, mille koosinus on määratav valemiga

$$\cos \tau = \frac{\sqrt{(q_{11} - q_{12})^2 + 2(q_{11} - q_{12})(q_{21} - q_{22}) \cos 2\omega + (q_{21} - q_{22})^2}}{q_{11} + q_{12} + q_{21} + q_{22}}, \quad (3)$$

kus  $\omega$  on kokkupuutuvate kehade pealõigete vaheline nurk (tavaliselt 90°). Kasutades joonisel 57 toodud graafikut, leiame  $\nu_1$  ja  $\nu_2$  arvulised suurused, olenevalt määratud nurgast  $\tau$  ( $\nu_1$  ja  $\nu_2$  on samuti antud tabelis 2).

Elastse deformatsiooni suurus  $\delta$  (kokkupuutuvate kehade lähenemine koormuse mõjutusel) määratakse valemiga

$$\delta = \frac{3P}{8\pi} \cdot \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{a} \int_0^{\infty} \frac{dz_1}{\sqrt{(1 + k^2 z_1^2)(1 + z_1^2)}} = \frac{3P}{8\pi} \cdot \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{a} \cdot J, \quad (4)$$

kus  $z_1$  esitab pinget vaadeldavas punktis ja on mõõdetav normaali lõiguna kontaktpinna projektsiooni ja pingete poolellipsoidi vahel (joon. 56);

$k = \frac{b}{a}$  on kontaktpinna projektsiooni ellipsi lühema ja pikema pooltelje suhe.

Elliptilise integraali  $J$  valemis (4) on arvuline suurus antud tabelis 2 vastavalt nurgale  $\tau$ , mille koosinus on määratav valemiga (3).

Valemite (1) ja (2) abil määratakse kontaktpinna projektsiooni suurus ja kaju.

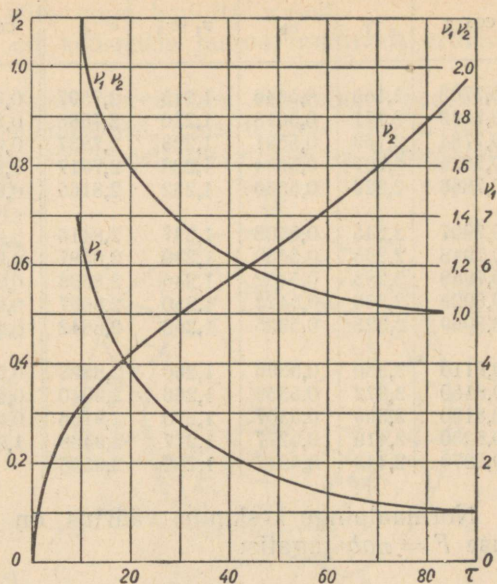
Tekkiv pinget kontaktpinnas jaotub deformeeritud pinna ulatusel poolellipsoidi järgi (joon. 56). Koordinaatide teljestik on antud juhul valitud nii, et tasapind  $xy$  ühtub kontaktpinna projektsiooni tasapinnaga, kusjuures  $x$ -teljele on kantud ellipsi pikem pooltelg  $a$  ja  $y$ -teljele lühem pool-

telg  $b$ , kuna  $z$ -teljega, mis on suunalt risti  $xy$ -tasapinnaga, on määratud normaalpinged. Nime-  
tatud poolellipsoidi nimetatakse  
ka normaalpingete ellipsoidiks  
ja tema kuju määratakse vale-  
miga

$$Z = \frac{3P}{2\pi ab} \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}. \quad (5)$$

Kui  $x = 0$  ja  $y = 0$ , saame maksimaalse normaalpinge väärtuse kontaktpinnal; see väärtus ühtib  $z$ -teljega.

$$\sigma_{max} = \frac{3P}{2\pi ab}. \quad (6)$$



Joon. 57.

Tabel 2.

$\nu_1, \nu_2; \nu_1 \cdot \nu_2$  ja  $J$  tähendused, olenevalt  $\cos \tau$

$\cos \tau$	$\nu_1$	$\nu_2$	$\nu_1 \cdot \nu_2$	$J$	$\cos \tau$	$\nu_1$	$\nu_2$	$\nu_1 \cdot \nu_2$	$J$
0,0000	1,000	1,0000	1,000	1,5700	0,8310	2,469	0,5217	1,288	2,9645
0,0466	1,032	1,9696	1,001	1,6200	0,8350	2,494	0,5186	1,293	2,9722
0,1075	1,076	0,9318	1,003	1,6882	0,8389	2,521	0,5155	1,300	3,0047
0,1974	1,148	0,8791	1,008	1,7887	0,8428	2,548	0,5124	1,306	3,0125
0,2545	1,198	0,8472	1,015	1,8509	0,8468	2,576	0,5093	1,312	3,0202
0,3204	1,262	0,8114	1,025	1,9330	0,8507	2,605	0,5061	1,318	3,0507
0,3954	1,345	0,7717	1,038	2,0436	0,8545	2,635	0,5029	1,325	3,0545
0,4795	1,456	0,7278	1,060	2,1610	0,8584	2,666	0,4996	1,332	3,0808
0,5342	1,540	0,6992	1,078	2,2462	0,8623	2,698	0,4963	1,338	3,1098
0,5819	1,607	0,6791	1,092	2,3048	0,8661	2,731	0,4930	1,346	3,1125
0,6113	1,684	0,6580	1,108	2,3945	0,8699	2,765	0,4897	1,354	3,1373
0,6521	1,775	0,6359	1,128	2,4584	0,8737	2,800	0,4863	1,362	3,1615
0,6716	1,826	0,6245	1,140	2,5071	0,8774	2,837	0,4828	1,370	3,1851
0,6920	1,882	0,6127	1,153	2,5599	0,8811	2,874	0,4794	1,378	3,2046
0,7126	1,943	0,6006	1,168	2,5956	0,8849	2,914	0,4759	1,388	3,2270
0,7332	2,011	0,5881	1,182	2,6659	0,8885	2,954	0,4723	1,395	3,2452
0,7538	2,087	0,5752	1,200	2,7191	0,8922	2,996	0,4687	1,404	3,2670
0,7579	2,103	0,5726	1,204	2,7248	0,8958	3,040	0,4650	1,416	3,2833
0,7620	2,119	0,5699	1,208	2,7389	0,8994	3,085	0,4613	1,423	3,2995
0,7661	2,136	0,5672	1,210	2,7473	0,9030	3,132	0,4576	1,432	3,3322

Tabel 2 järg.

$\cos \tau$	$\nu_1$	$\nu_2$	$\nu_1 \cdot \nu_2$	$J$	$\cos \tau$	$\nu_1$	$\nu_2$	$\nu_1 \cdot \nu_2$	$J$
0,7702	2,153	0,5646	1,215	2,7597	0,9065	3,181	0,4538	1,444	3,3468
0,7743	2,171	0,5618	1,220	2,7685	0,9100	3,233	0,4499	1,455	3,3775
0,7784	2,189	0,5591	1,223	2,7837	0,9134	3,286	0,4460	1,466	3,3906
0,7825	2,207	0,5564	1,228	2,7917	0,9269	3,526	0,4297	1,515	3,5131
0,7866	2,226	0,5536	1,232	2,8166	0,9428	3,899	0,4076	1,588	3,6656
0,7907	2,245	0,5508	1,237	2,8416	0,9458	3,986	0,4029	1,606	3,6907
0,7948	2,265	0,5480	1,240	2,8587	0,9488	4,079	0,3981	1,623	3,7220
0,7988	2,286	0,5452	1,246	2,8633	0,9517	4,178	0,3932	1,643	3,7657
0,8029	2,306	0,5423	1,250	2,8697	0,9574	4,395	0,3830	1,682	3,8424
0,8069	2,328	0,5395	1,256	2,8842	0,9705	5,091	0,3551	1,808	4,0583
0,8110	2,350	0,5366	1,260	2,8898	0,9818	6,159	0,3223	1,985	4,3440
0,8150	2,372	0,5336	1,266	2,9040	0,9909	8,062	0,2814	2,268	4,7492
0,8190	2,395	0,5307	1,270	2,9136	0,9973	12,789	0,2232	2,855	5,4415
0,8230	2,419	0,5277	1,277	2,9468	1,0000	$\infty$	0,0000	—	—
0,8270	2,443	0,5247	1,282	2,9558					

Normaalpinge keskmine väärtus on survejõu  $P$  ja kontaktpinna suurus  $F = \pi ab$  jagatis:

$$\sigma_k = \frac{P}{\pi ab}. \quad (7)$$

Väljendades valemis (6) ellipsi pooltelgede  $a$  ja  $b$  suurused vastavate kehade kõverusraadiuste ja elastsustegurite kaudu, saame üldise valemi  $\sigma_{max}$  määramiseks:

$$\sigma_{max} = \frac{0,92}{\nu_1 \nu_2} \sqrt[3]{P \left( \frac{\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}}{\vartheta_1 + \vartheta_2} \right)^2}. \quad (8)$$

Eeltoodud valemite (1), (2), (3), (4) ja (8) alusel on võimalik määrata ükskõik millise kõverusega kehade kokkusurumisel tekkiva kontaktpinna suurust ja kuju, elastse deformatsiooni suurust ja maksimaalset kontaktpinget.

## 2. Väliskoormuse jaotumine veerekehade vahel.

Maksimaalse kontaktpinge määramiseks on vajalik kõigepealt teada väliskoormuse jaotust üksikute veerekehade vahel.

Tugi-kuullaagris võime teoreetiliselt eeldada ühtlast koormuse jaotumist kõikide kuulide vahel, seega

$$P = \frac{A}{z}, \quad (9)$$

kus  $A$  on aksiaalne väliskoormus,

$z$  — kuulide arv,

$P$  — ühe kuuli koormus.

Kuna praktikas võib siiski esineda mõningaid kõrvalekalduumisi mõõteis, arvestatakse kandvaina ainult 80% kogu kuulide arvust.

Radiaal- ja radiaal-tugilaagreis on koormuse jaotus tunduvalt erinev ja täiesti ebahütlane.

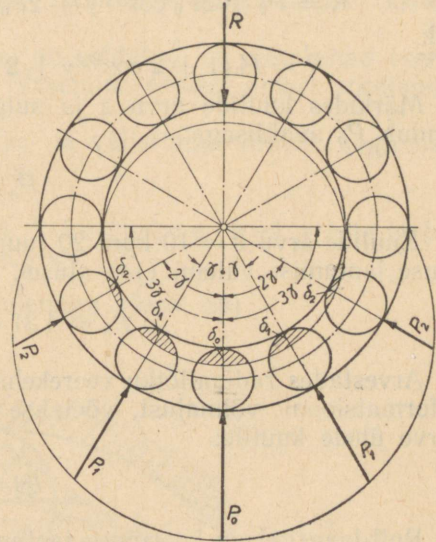
Koormuse jaotumise seadusepärasuse teoreetisel lahendusel radiaal-kuullaagrite puhul on lähtutud seisukohtadest, mis teatava piirini lihtsustavad olukorra teoreetilist väljendust. Nimelt oletatakse, et koormatud laagri elementide vahel puudub radiaalne lõtk ja laagri rõngad ei muuda oma geomeetrilist kuju, kusjuures deformatsioon esineb ainult kuulide ja rõngaste kontaktpinnal. Deformatsiooni suuruse määramisel on lähtutud valemist (4).

Radiaalkoormuse  $R$  mõjul on laagri siserõngas nihkunud vertikaalselt allapoole  $\delta_0$  võrra (joon. 58), mille suurus valemi (4) alusel

$$\delta_0 = \text{const} \cdot P_0^{2/3} \quad (10)$$

Valemist (10) lähtudes saame teistes punktides radiaalsuunalise deformatsiooni suurusteks:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \delta_0 \cos \gamma = \text{const} \cdot P_1^{2/3}; \\ \delta_2 &= \delta_0 \cos 2\gamma = \text{const} \cdot P_2^{2/3}; \\ \delta_n &= \delta_0 \cos n\gamma = \text{const} \cdot P_n^{2/3}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$



Joon. 58.

Tasakaalu tingimuse kohaselt peab jõudude  $P_0$  kuni  $P_n$  vertikaalprojektsioonide summa võrduma radiaalkoormusega  $R$ , seega

$$R = P_0 + 2P_1 \cos \gamma + 2P_2 \cos 2\gamma + \dots + 2P_n \cos n\gamma. \quad (12)$$

Valemite (10) ja (11) alusel saame, et

$$\begin{aligned} \frac{\delta_0}{\delta_1} &= \frac{\delta_0}{\delta_0 \cos \gamma} = \frac{\text{const} \cdot P_0^{2/3}}{\text{const} \cdot P_1^{2/3}}, \\ \frac{\delta_0}{\delta_2} &= \frac{\delta_0}{\delta_0 \cos 2\gamma} = \frac{\text{const} \cdot P_0^{2/3}}{\text{const} \cdot P_2^{2/3}}, \\ &\dots \\ \frac{\delta_0}{\delta_n} &= \frac{\delta_0}{\delta_0 \cos n\gamma} = \frac{\text{const} \cdot P_0^{2/3}}{\text{const} \cdot P_n^{2/3}}, \end{aligned}$$

või

$$P_0^{2/3} = \frac{P_1^{2/3}}{\cos \gamma} = \frac{P_2^{2/3}}{\cos 2\gamma} = \dots = \frac{P_n^{2/3}}{\cos n\gamma}. \quad (13)$$



### 3. Veerelaagri kinemaatika ja pingetsüklite arv.

Veerelaagrite elementide kinemaatiliste vahekordade kaudu võime arvutada laagri ühe pöörde vältel esinevate pingetsüklite arvu, mille abil on võimalik leida korduvate pingetsüklite sageduse ajaühikus vastavalt laagri pöörete arvule.

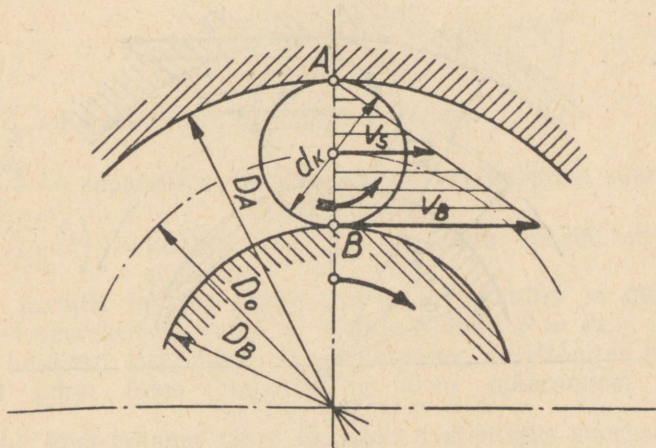
Peale nimetatut on veerelaagri elementide kinemaatilised faktorid teatava piirini veerepindade ja separaatori kulumise intensiivsuse kriteeriumiks.

Kinemaatiliste vahekordade leidmisel on eeldatud, et veerekehad veerevad ilma libisemiseta, kuigi tegelikult libisemine esineb, ainult võrdlemisi väikestes piirides.

Probleem ei lahendu ühesuguselt sise- ja välisrõnga suhtes, nagu näitab seda järgnev matemaatiline analüüs.

- a. Veerelaagri elementide liikumine, kui pöörleb siserõngas.

Punkti  $B$  ringkiirus on määratav valemiga (joon. 59)



Joon. 59.

$$V_B = \pi D_B n_B, \quad (20)$$

kus  $n_B$  on siserõnga pöörete arv ajaühikus,

$V_B$  — kontaktpunkti  $B$  kiirus.

Kuna antud juhul punkt  $A$  on paigal, siis kuuli tsentri kiirus on võrdne separaatori ringkiirusega, mis on kaks korda väiksem siserõnga ringkiirusest, s. o.

$$V_0 = \pi D_0 n_s = \frac{V_B}{2}, \quad (21)$$

kus  $n_s$  on separaatori pöörete arv,

$V_0$  — separaatori ringkiirus, mis on võrdne kuuli tsentri kiirusega.

Valemite (20) ja (21) põhjal võime kirjutada, et

$$n_s = n_B \cdot \frac{D_0 - d_k}{2D_0}, \quad (22)$$

kus  $d_k$  on kuuli läbimõõt ja  $D_0 - d_k = D_B$ .

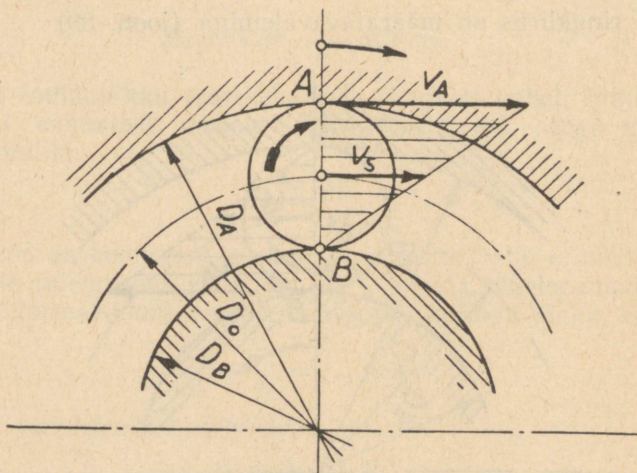
Separatori pöörete arv ajaühikus on määratav ka kuuli pöörete arvu kaudu vastavas ajaühikus:

$$n_s = \frac{\pi d_k n_k}{\pi D_A} = n_k \cdot \frac{d_k}{D_0 + d_k}. \quad (23)$$

Võrrutades valemid (22) ja (23), saame:

$$n_k = n_B \cdot \frac{D_0^2 - d_k^2}{2D_0 d_k}, \quad (24)$$

kus  $n_k$  on kuuli pöörete arv.



Joon, 60.

b. Veerelaagri elementide liikumine juhul, kui pöörleb välisrõngas.

Kasutades eespooltooduga analoogilist meetodikat, saame joonise 60 põhjal, kui  $n_B = 0$ ,

$$n_s = n_A \cdot \frac{D_0 + d_k}{2D_0} \quad (25)$$

ja

$$n_k = n_A \cdot \frac{D_0^2 - d_k^2}{2D_0 d_k}. \quad (26)$$

Nagu nähtub valemist (24) ja (26), ei olene kuuli pöörete arv ümber oma telje sellest, kas pöörleb sise- või välisrõngas. Separaatori nurkkiiruse valemite (22) ja (25) alusel on aga erinev ja on pöörleva siserõnga puhul natuke väiksem kui pool siserõnga nurkkiirusest ja pöörleva välisrõnga korral natuke suurem kui pool välisrõnga nurkkiirusest. Seega pöördub separaator ühe sise- või välisrõnga pöörde vältel vähem või rohkem kui pool pööret.

Edasi määrame korduvate pingetsüklite arvu ühe rõnga pöörde vältel, kusjuures oletame, et puudub radiaalne lõtk veerekehade ja rõngaste vahel. Seega läbib iga punkt veerepinnal kahte tsooni, milledest üks on koormatud ja teine koormamata. Tsoonide ulatuseks võib ligikaudselt arvata  $180^\circ$ .

Kuna kinemaatilised vahekorrad on sise- ja välisrõngal erinevad, vaatleme ka antud juhul koormusi eraldi.

#### S i s e r õ n g a s.

1. j u h t u m: siserõngas pöörleb ja võtab vastu koormuse võlli kaudu, välisrõngas on paigal.

Siserõnga veerepinnal asuv punkt allub survejõududele ainult koormatud piirkonnas. Siserõnga ühe pöörde vältel esinevate korduvate pingetsüklite arvu  $t'_B$  määrame kasutades valemist (22):

$$t'_B = \frac{z}{2} - \left( \frac{D_0 - d_k}{2D_0} \right) \frac{z}{2} = \frac{z}{2} \left( \frac{D_0 + d_k}{2D_0} \right), \quad (27)$$

kus  $\frac{z}{2}$  on kuulide arv koormatud tsoonis,

$\frac{D_0 - d_k}{2D_0}$  — separaatori nurkliikumisele ekvivalentne suurus,

$\frac{z}{2} \cdot \left( \frac{D_0 - d_k}{2D_0} \right)$  — kuulide arv, mis ei kohtu koormatud tsooni läbiva punktiga.

Antud punktis tekkiva pinge suurus on muutuv ja oleneb koormuse jaotumisest veerekehade vahel, s. o.  $P = 0$ , kuni  $P = P_0$ .

2. j u h t u m: siserõngas on paigalseisv, välisrõngas pöörleb.

Antud juhul tuleb pingetsüklite arvu määramisel aluseks võtta valem (25), kust võtame suhte  $\frac{D_0 + d_k}{2D_0}$  ekvivalentseks suuruseks separaatori nurkliikumiseks:

$$t''_B = z \cdot \frac{D_0 + d_k}{2D_0}. \quad (28)$$

Nagu näitavad valemid (27) ja (28), on siserõnga veerepind välisrõnga pöörlemisel koormatud pidevalt maksimaalse koormusega  $P_0$ , kusjuures pingetsüklite sagedus on kahekordistunud.

#### V ä l i s r õ n g a s.

1. j u h t u m: välisrõngas pöörleb ja võtab vastu koormuse kere kaudu, siserõngas on paigalseisv. Kõik punktid välisrõnga veerepinnal töötavad antud juhul ühesugustes tingimustes, s. o. koormus muutub nullist kuni  $P_0$ -ni ja vastupidi.

Analoogiliselt varemtooduga saame:

$$t'_A = \frac{z}{2} - \left( \frac{D_0 + d_k}{2D_0} \right) \frac{z}{2} = \frac{z}{2} \left( \frac{D_0 - d_k}{2D_0} \right). \quad (29)$$

2. juh tum: välisrõngas on paigalseisev, siserõngas pöörleb. Analoogiliselt siserõnga puhul vaadeldud 2. juhuga mõjub maksimaalne koormus välisrõnga veeretee ühele punktile kaks korda suurema sagedusega, s. o.

$$t''_A = z \left( \frac{D_0 - d_k}{2D_0} \right). \quad (30)$$

Võrreldes valemite (27) valemiga (29) ja valemite (28) valemiga (30), võime kokkuvõtlikult öelda, et siserõngas töötab halvemais tingimuses, kuna tema veerepinnal on korduvate pingetsüklite sagedus suurem kui välisrõnga veerepinnal. Siserõnga veerepinnal tekkiv pinge on aga suurem kui välisrõnga veerepinnal, kuna kontaktpinna suurus viimasel on suurem ( $\pi ab_A > \pi ab_B$ ). Sellest tingituna loetakse siserõngast üldiselt vähem vastupidavaks.

Esitatu ilmneb ka praktikas, kus sama laager võrdse eaja juures talub välisrõnga pöörlemisel 10–25% väiksemat koormust (olenevalt laagri tüübist) kui siserõnga pöörlemisel (sama pöörete arvuga).

Tegelikust olukorrast võetud arvulise näitena vaatleme laagrit, mille  $D_0 = 70$  mm,  $d_k = 11,9$  mm,  $z = 10$  ja  $n = 1000$  p/min. Pöörete ja korduvate pingetsüklite arvud kummagi rõnga kohta on toodud alljärgnevas tabelis 3.

Tabel 3.

	Pöörete arv minutis				Pingetsüklite arv minutis	
	siserõngas	välisrõngas	separaator	kuul	siserõngas	välisrõngas
Pöörleb siserõngas	1000	0	415	2855	2,9	4,15
Pöörleb välisrõngas	0	1000	585	2855	5,8	2,075

#### 4. Laagri iga ja töövõimelisus.

Nagu varem tähendatud, on võimalik pingetsüklite arv kuni materjali väsimuseni teatavas funktsionaalses seoses mõjuva pingega.

Arvukate katsete najal on tuletatud seos pinge ja korduvate pingetsüklite arvu vahel, mis väljendub järgmise empiirilise avaldisega:

$$\sigma = \frac{A}{u^{\nu} S}. \quad (31)$$

kus  $\sigma$  on laagri enamkoormatud elemendi keskmine pinge (tavaliselt pinge siserõnga veerepinnas);

$u$  — korduvate pingetsüklite arv kuni materjali väsimuseni;

$A$  ja  $S$  — konstandid, mis olenevad laagrielementide materjali omadustest, geomeetrisest kujust, pinna töötlemise astmest ja reast teistest teguritest, millede arvestamine eraldi pole mõeldav.

Kui asendada valemis (31) pinge valemiga (8), mis omab seose laagri mõjuva koormusega  $Q$ , ja  $u$  asendada laagri eaga tundides ning pöörete arvuga

$$u = \frac{z}{2} \left( \frac{D_0 + d_k}{2} \right) 60 n \cdot h, \quad (32)$$

saame mõjuva koormuse  $Q$ , pöörete arvu ja töötundide vahel järgmise seose:

$$Q = \frac{C}{(nh)^{3/5}}, \quad (33)$$

kus  $C$  on laagri võimelisuse tegur, mis iseloomustab antud tüüpi ja antud mõõdetega laagri kandevõimet.

Tegelikult võib  $C$ -d iseloomustada ka tingkoormusena [kg], mida antud laagri on suuteline taluma ühe tunni vältel siserõnga ühe pöörde juures minutis.  $C$  on funktsionaalses seoses veerekeha läbimõõduga, veerepinna kõverusraadiusega, siserõnga veerepinna läbimõõduga, laagrielementide materjalide elastsusmoodulitega, veerekehade (kuulid, rullid) arvuga, veerekehade survenurgaga ja varentoodud suurustega  $A$  ja  $S$ .  $A$  ja  $S$  on arvuliselt määratavad ainult õige arvukate laboratoorsete katsete tulemusena.

NSV Liidu praktikas võetakse  $S \approx 10$  ja valem (33) omaks järgmise arvutusliku kuju:

$$Q = \frac{C}{(nh)^{0,3}}. \quad (34)$$

ГОСТ-i järgi võetakse  $C$  määramisel aluseks viimase proportsionaalsus veerekehade arvuga  $z^{1-\frac{3}{5}} = z^{1-0,3} = z^{0,7}$  ja veerekehade läbimõõduga  $d$  ja pikkusega  $l$  ning väljendatakse tegur  $C$  erinevalt kuul- ja rull-laagreile valemitega:

$$C_{kuul} = K_1 z^{0,7} d_k^2 \varphi \cos \beta_1, \quad (35)$$

$$C_{rull} = K_2 z^{0,7} d_r l \cos \beta_2, \quad (36)$$

kus  $K_1$  ja  $K_2$  on katseliselt määratud suurused;

$\beta_1$  ja  $\beta_2$  — kuulide ja rullide kontaktnurgad;

$\varphi$  — kuuli läbimõõdu mõju arvestav tegur.

Lähemad andmed üksikute tegurite suuruste kohta on esitatud tabelis 8.

### III. PÕHILISED JUHENDID VEERELAAGRITE ISTUDE VALIKUKS.

Veerelaagri normaalne töö oleneb suurel määral laagri istudest võllil ja keres.

Veerelaagri istude valikul võllile ja keresse tuleb arvestada kõigepealt laagri töötamise tingimusi, mis põhiliselt on määratud rõngaste koormuse

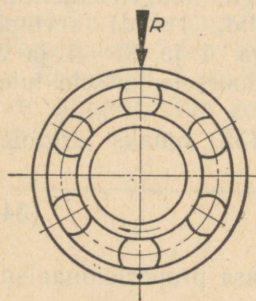
iseloomuga. Koormuse iseloom rõngastel sõltub aga sellest, kas vaadeldav rõngas sellele mõjuva radiaalkoormuse suhtes on paigalpäisiv või pöörleb.

Peale tähendatu oleneb istude valik väliskoormuse mõjumise iseloomust, pöörete arvust, laagri tüübist, laagri elementide tööpindade vahelisest lõtkust, laagrisõlme koostamise ja lahtivõtmise tingimustest, võlli või kere materjali kõvadusest ja laagrialuste pindade töötlemise täpsusest.

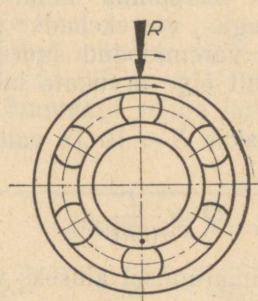
Kuul- ja rull-laagrite istud määratakse võllidele ja keredesse laagri-rõngast põhidetailina võttes ja nimelt: võllidele — augusüsteemi järgi, keredesse — võllisüsteemi järgi. Normaali- ja kõrgendatud täpsusega kuul- ning rull-laagrite (ГОСТ 520-45) istud võllidele ja keredesse on ette nähtud normiga ГОСТ 3325-46.

Rõngaste koormamisel eristatakse istude valikul järgmisi koormuste liike:

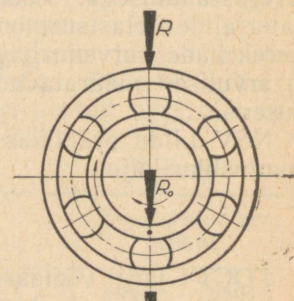
**kohalik koormus** — kus veeretee tööpinna piiratud alal ja sellele vastaval montaažipinnal võtab rõngas vastu alalise püsiva suunaga radiaalkoormuse  $R$  (joon. 61). Siinjuures ei ole oluline, kumb rõngastest on pöörlev, kas sisemine või välimine, kuna siserõnga pöörlemisel omab kohaliku koormuse välisrõngas ja välisrõnga pöörlemisel sisemine.



Joon. 61.



Joon. 62.



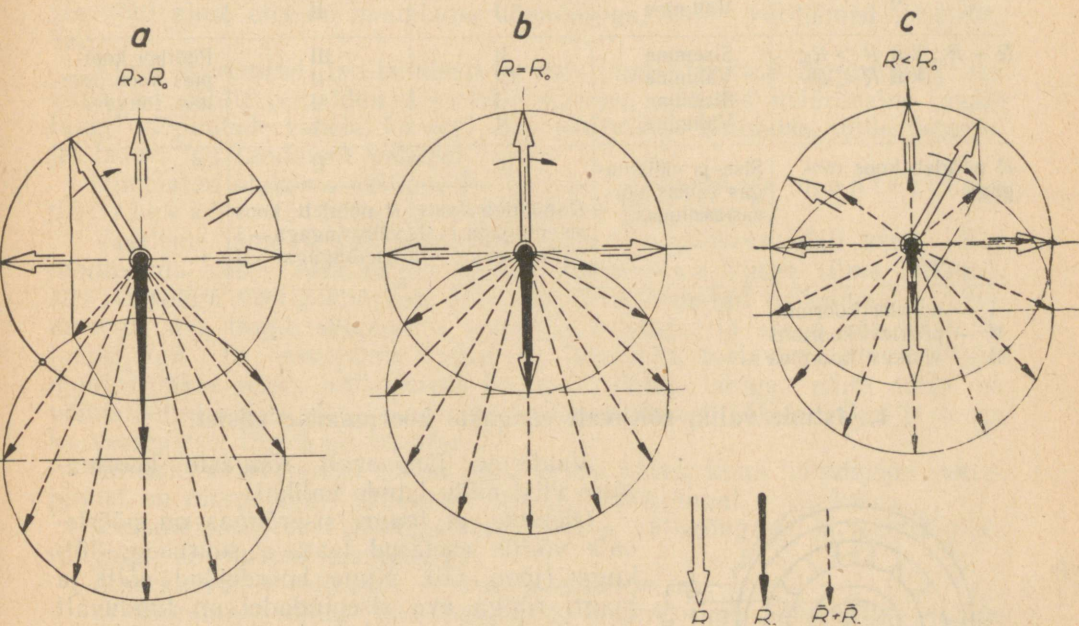
Joon. 63.

**pöörlev koormus** — laagritl vastuvõetava püsiva koormuse mõju all olevad kuulid või rullid veerevad kogu veeretee ringi ulatuses. Vastavalt sellele mõjub koormus kogu ringi ulatuses ka laagri montaažipinnale. Niisugune laagri koormamine esineb radiaalkoormuse  $R_0$  juures, mis pöörleb vaadeldava rõnga suhtes (joon. 62).

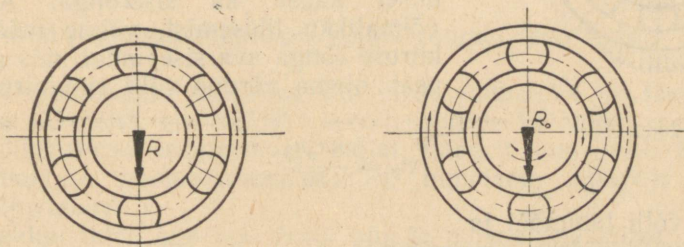
Eeltoodud koormuse liigid on põhiliselt analoogilised, erinedes selle poolest, kumb rõngastest võtab vastu kohaliku koormuse — kas seisev või pöörlev.

**võnkuv koormus** — püsiva suunaga koormus  $R$  esineb koos pöörleva koormusega  $R_0$  (joon. 63). Antud olukorras on võimalikud kolm juhtu, kus:  $R > R_0$ ,  $R = R_0$  või  $R < R_0$ .

Kui  $R > R_0$ , kõigub koormuste resultant  $R + R_0$  ja  $R - R_0$  vahel, kusjuures seisev rõngas on koormatud võnkuva koormusega piirides  $A$  kuni  $B$  (joon. 64, *a*). Analoogiline juhus esineb ka siis, kui  $R = R_0$  (joon. 64, *b*), kus koormuste resultant kõigub piirides  $R + R_0$  ja  $R - R_0 = 0$  vahel. Kolmandal juhul, kus  $R < R_0$ , on seisev rõngas koormatud kogu ringi ulatuses võnkuva koormusega  $R_0 + R$  kuni  $R_0 - R$  (joon. 64, *c*).



Joon. 64.



Joon. 65.

Võib esineda ka juhtum, kus ainult püsiva koormuse  $R$  esinedes on üks või teine rõngas koormatud pöörleva koormusega. See esineb tavaliselt siis, kui mõlemad rõngad on pöörlevad sama- või vastassuunaliselt (joon. 65).

Ülevaate andmiseks laagri rõngaste koormusviisidest, sõltuvalt töötamistingimustest, on kokkuvõtte toodud tabelis 4.

Tabel 4.

Veerelaagrite koormusviisid

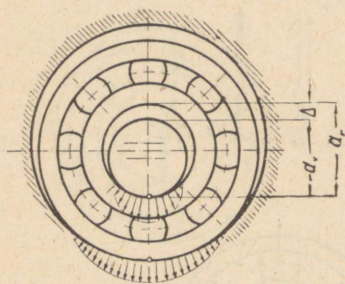
Töötamistingimused		Koormusviis		Märkused
Vastuvõetavad koormused	Pöörlev rõngas	Siserõngas	Välisrõngas	
$R$	Sisemine Välimine	II I	I II	
$R + R_0$ , kui $R > R_0$ kui $R < R_0$	Sisemine Välimine Sisemine Välimine	II III I II	III II II I	Pöörlev koormus koos pöörleva rõngaga
$R$ pöörleb koos rõngaga	Sise- ja välisrõngas samas või vastassuunas	II $R$ pöörleb koos siserõngaga — I välisrõngaga — II	II $R$ pöörleb koos välisrõngaga — I siserõngaga — II	

I — kohalik koormus  
II — pöörlev koormus  
III — võnkuv koormus

### 1. Istude valik, sõltuvalt rõngaste koormamise viisist.

Vaatleme järgnevalt rõngaste koormamise viisi mõju istude valikul.

Oletame, et laagri siserõngas on pöörlevale võllile asetatud teatava suurusega lõtkuga (joon. 66). Kuna hõõrdejõud võlli ja laagri rõnga ava sisepinnal on tunduvalt suuremad kui veerekehade ja veerepindade vahel, siis võll, olles koormatud, võtab pöörlemisel kaasa ka siserõnga. Arvestamata võimalikku libisemist, võime määrata ringkiiruse rõnga ava sisepinnal, mis antud juhul peab olema võrdne võlli ringkiirusega, s. o.



Joon. 66.

$$v_v = \frac{\pi d_v n_v}{60},$$

kus  $d_v$  on võlli läbimõõt ja  
 $n_v$  — võlli pöörete arv minutis.

Kuna laagri siserõnga ava läbimõõt on suurem võlli läbimõödust

( $d = d_v + A$ ), siis kujuneb rõnga pöörete arv  $n_r$  antud ringkiiruse  $v_v$  juures erinevaks võlli pöörete arvust ja nimelt:

$$n_r = \frac{v_v \cdot 60}{\pi(d_v + A)} = n_v \frac{d_v}{d_v + A}. \quad (37)$$

Vahekorra (37) näeme, et laagri siserõngas, mis on monteeritud võllile lõtkuga, jääb võlli pöörlemisel võllist maha, kusjuures tekib veeremine võlli pinna ja laagri ava pinna vahel (mõningal määral ka libisemine). Näiteks võlli läbimõõdu  $d_v = 50$  mm, lõtku  $= 0,015$  mm ja  $n_v = 5000$  p/min juures jääb siserõngas 1,5 pöörde võrra minutis võllist maha.

Esitatust näeme, et siserõnga istamisel pöörlevale võllile ka suhteliselt väikese lõtkuga toob kaasa montaažipindade suhtelise veeremise, mille juures võlli pind, mis on madalama kõvadusega, kulub võrdlemisi intensiivselt.

Kuna veeremisel (valtsimisel) esineb pinna kihiline lagunemine, siis kutsuvad võllilt eemaldunud metalliosakesed, sattudes määrdeaine kaudu laagri tööpindade vahele, ka seal esile intensiivse kulumise, mille tagajärjel laagri iga tunduvalt väheneb.

Nimetatud olukorra vältimiseks peab siserõnga monteerima pöörlevale võllile mitteliikuva istuga.

Vaatleme nüüd seisva välisrõnga olukorda pöörleva võlli korral. Kui monteerida seisev välisrõngas kesse mitteliikuva istuga (ilma lõtkuta), siis on rõnga veerepinna üks osa pidevalt koormatud maksimaalse koormusega, mis tingib veerepinna kohaliku kulumise ja seega vähendab ka laagri iga. Et veerepinna kohaliku kulumist teatava piirini vältida, monteeritakse seisev välisrõngas kesse liikuva istuga, mille tõttu on võimaldatud laagri rõnga aeglane pöördumine keres löökide mõjul ja seega ka veerepinna täielikum kasutamine.

Intensiivset veeremist antud juhul ei ole karta, kuna hõõrdejõud veerepinnal on märgatavalt väiksemad kui montaažipinnal.

Vastandjuhul, kus on tegemist pöörleva välisrõngaga ja seisva siserõngaga, on olukord analoogiline.

Aluseks võttes eeltoodut, tuleme järeldusele, et

a) koormuse suhtes pöörleva rõnga monteerime liikumatute istude järgi,

b) koormuse suhtes liikumatu rõnga monteerime liikuvate istude järgi ja

c) määramatu koormusesuunaga laagri rõngad monteerime ülemineku istude järgi.

Seisva rõnga monteerimine liug-istu järgi võimaldab ka laagri rõnga teljesuunalist liikumist, mis väldib veerelementide kiilumise veerepindade vahel võlli pikenemisel temperatuuri mõjul. Laagrit, mis omab võlli teljesuunalise liikuvuse montaažipinna suhtes, nimetame edaspidi liikuvaks laagriks („ujuvlaager”).

Istude valikul tuleb aga igal juhul püsida mõõdukuse piires. Monteerides laagrirõnga liiga suure pinguga, võib rõnga radiaalse deformatsiooni

tagajärjel laagri radiaalne lõtk väheneda nullini, ka võib laagri rõngas puruneda juba monteerimisel pingete ületamise tagajärjel.

Liiga suured lõtkud aga vähendavad laagrisõlme jäikust ja võimaldavad korrosiooni tekkimist kontaktpindadel.

## 2. Istude valik, sõltuvalt laagri töötamistingimustest.

Väliskoormuse tagajärjel montaažipinnad teataval määral deformeeruvad, mille tulemusena ping rõnga ja montaažipinna vahel väheneb. Pingu vähenemine on seda suurem, mida löögilisem on koormus, kuna sel juhul väheneb montaažipindadel esinevate ebatasasuste muljumise tõttu tihedus liikumatute istude korral ja suureneb lõtk liikuvatel istudel.

Seega, mida suurem on koormus, eriti aga löögiliste koormuste puhul, seda tihedamalt peavad olema sobitatud rõngad ja seda kõrgem peab olema montaažipindade puhtus (lihvimine).

Vajaliku, minimaalse pingu, sõltuvalt radiaalkoormuse suuruselt, pöörleva koormusega koormatud sisemisele laagrirõngale määrame valemiga (prof. Treuer)

$$H_{min} \approx \frac{1,3RN}{10^4(b-2r)}, \quad (38)$$

kus  $R$  on suurim radiaalkoormus kg,

$b$  — laagri siserõnga laius mm,

$r$  — rõnga faasi raadius mm,

$N = 1 : \left[ 1 - \left( \frac{d}{d_0} \right)^2 \right] =$  kergel seerial 2,78, keskmisel — 2,27,  
raskel — 1,96,

$d$  — rõnga ava läbimõõt mm,

$d_0$  — siserõnga redutseeritud välisläbimõõt mm.  $d_0$  määrab siserõnga välisläbimõõdu, kui rõnga ristlõige on asendatud ristkülikujulise profiiliga sama siseläbimõõdu ja laiuse juures;

$$d_0 \approx d + \frac{D-d}{4},$$

kus  $D$  on laagri välisrõnga välisläbimõõt.

Kui suurel radiaalkoormusel tööolukorras esineb ka temperatuuri tõus, tuleb istu valikul lähtuda tegelikust töötemperatuurist.

Valemi (38) kaudu arvatatud  $H_{min}$  järgi valitakse tabelist sobiv ist.

Pöörete arvu suurenemisel suureneb ka mõningal määral hõõrdetaktistus laagri pöörlemisel, mis mõjutab peamiselt laagri seisva rõnga liikuvust. Seisva rõnga intensiivse pöördumise vältimiseks valitakse suurtel pöörete arvudel istud liikuvate istude klassist väiksema lõtkuga, soovivad tihe- ja liugistud.

### 3. Laagri veerepindade ja veerekehade vahelise radiaalse lõtku vähenemine, olenevalt valitud istust.

Veerepindade ja veerekehade vahelise radiaalse lõtku ülesandeks on kindlustada ratsionaalne koormuse jaotus üksikute veerekehade vahel, vähendada maksimaalselt laagri tööolukorras tekkida võivaid vibratsioone, piirata võlli või kere liikuvust radiaal- ja aksiaalsuunas (kuullaagrid), vähendada laagri pöörlemisel tekkinud müra.

Olenevalt laagri olukorras eristatakse kolme liiki radiaalset lõtku ja nimelt : alglõtk  $e_a$  — radiaalne lõtk laagri vabas olekus, montaažlõtk  $e_m$  — radiaalne lõtk pärast laagri monteerimist võllile (kerre) ja töö lõtk  $e_t$  — tööolukorras oleva koormatud laagri radiaalne lõtk. Kõik tähendatud lõtkud on radiaallaagrite juures üksteisega seotud ja vastavalt laagri tüübile normitud. Reguleeritavatel laagritüüpidel on nii radiaalne kui ka aksiaalne lõtk seatav laagri montaažil.

Radiaal-kuullaagreid suurendatud alglõtkuga kasutatakse ka nn. eelpingestatud laagreina, kus nii radiaalne kui ka aksiaalne lõtk on vähendatud miinimumini ühe rõnga aksiaalse nihutamise teel (joon. 67).

Monteerides laagri rõnga võllile (keresse) mitteliikuva istu järgi (näiteks press-istud), tekib veerepinna läbimõõdu muutus — siserõngal läbimõõt suureneb ja välisrõngal väheneb. Selle tulemusena väheneb ka alglõtk ja omandab montaažlõtku suuruse. Normidekohase montaažlõtku säilitamiseks ei tohi rõnga veerepinna läbimõõt pärast rõnga võllile pressimist suurenda üle lubatava piiri  $\Delta d_2 = e_a - e_m$ .  $\Delta d_2$  suurus ettenähtud pingu juures on määratav valemiga

$$\Delta d_2 = SH \frac{d}{d + 5,85(1 - S^2)}, \quad (39)$$

kus  $d$  on siserõnga ava läbimõõt,

$H$  — efektiivne pingu suurus, mis on ca 80% teoreetilisest,

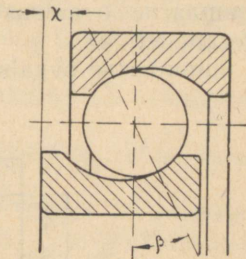
$S = \frac{d}{d_0}$ , kus  $d_0$  on rõnga redutseeritud välisläbimõõt.

### 4. Võllide ja kereavade töötlemise puhtus ja lubatud kõrvalekaldumised laagrite istukohtades.

Võllide ja kereavade, samuti aga ka laagri enese montaažipindadel esinevad ebapuhtused, mis on jäänud pärast mehaanilist töötlemist, muljutakse või lõigatakse maha laagri monteerimisel (eriti press-istude korral), mille tulemusena pingu tegelik suurus, võrreldes nimisuurusega, väheneb.

Pingu suuruse vähenemine võib olla tingitud ka kõrvalekaldumistest montaažipindade õigest geomeetrisest kujust (ovaalsus, koonilisus).

Praktikas esineb pingu vähenemine tähendatud juhtudel 10—15%.

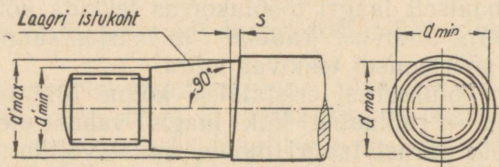


Joon. 67.

Võllide ja kereavade montaažipindade töötlemispuhtus peab vastama ГOCT 2789-45-le.

Istukohtade kõrvalekaldumised õigest geomeetrisest kujust võivad esineda alljärgnevais piires:

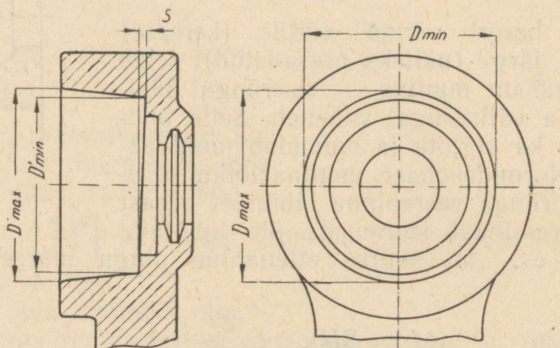
summaarne ovaalsus ja koonilisus võllil (joon. 68):



Joon. 68.

$(d_{max} - d_{min}) + (d'_{max} - d'_{min}) \leq 1/2$  võlli läbimõõdu tolerantsist, täpsusklassidesse A ja C kuuluvate laagrite istukohtadel võib võllide summaarne ovaalsus ja koonilisus ulatuda kuni  $1/4$ -ni võlli läbimõõdu tolerantsist;

summaarne ovaalsus ja koonilisus kere aval (joon. 69):



Joon. 69.

$(D_{max} - d_{min}) + (D'_{max} - D'_{min}) \leq 1/2$  ava läbimõõdu tolerantsist, täpsusklassidesse A ja C kuuluvate laagrite istukohtadel — kuni  $1/4$  kereava läbimõõdu tolerantsist.

Võlli ääriku viskumine võib esineda tabelis 5 toodud piires.

Tabel 5.

Võlli ääriku viskumine

Võlli läbimõõt mm	Ääriku viskumine S mm mitte üle (joon. 68)
kuni 80	0,004
80—120	0,006
120—180	0,008
180—250	0,010
250—400	0,012

Kere ava ääriku viskumine määratakse laagri välisläbimõõdu järgi ja võetakse ava läbimõõdu 10 mm kohta  $S \leq 0,005$  mm.

## 5. Veerelaagrite istude valikust ГOCT-i järgi.

ГОСТ 3325-46 järgi, mis on koostatud paljuaastaste uurimuste ja visa töö tulemusena, monteeritakse pöörlevad rõngad mitteliikuvate istude ja paigalseisvad rõngad üleminevate istude (kus on võimalikud ka väikesed lõtkud) järgi.

Määramata suunaga koormuste puhul saavad mõlemad rõngad üleminevate istude taolised istud.

Seoses sellega kasutatakse siserõnga ühendamisel pöörleva võlliga (jõudude suhtes) umb-(Г), kinnis-(Т) ja ping-(H) istusid; paigalseisva võlli ja pöörleva kere puhul liug-(С) ja liikeistusid (Д). Seejuures kasutatakse umb-istu raskete, löögiliste koormuste või eriti raskete rahulikkude koormuste korral; kinnis-istu — raskete rahulikkude koormuste ja ping-istu — normaalkoormuste puhul. Tihe-istu (И) võib kasutada siis, kui suurema pinguga istud pole soovitatavad materjali vähese tugevuse tõttu või muudel põhjustel.

Paigalseisva võlli juures kasutatakse liug-istu raskete ja liikuv-istu kergete koormuste puhul.

Välisrõngas pöörlevas laagrikestas saab võlli süsteemis oleva press-istu P7-ISA ja üleminevad-istud Г, Т ja H.

Välisrõngas monteeritakse seisvasse laagrikeresse raske ja normaalkoormuse või ka suure pöörete arvu korral И-istu, normaalkoormuse ja väiksema kiiruse või kerge koormuse puhul aga С-istu järgi. Väikeste kiiruste ja koormuste puhul kasutatakse C<sub>3</sub>-istu, eriti poolitatud laagri kerede juures.

Määramata sihiga koormusel, kui mõlemad detailid on koormuse suhtes umbkaudu ühesugustes tingimustes, soovitatakse valida võllile И- ja С-istud ja laagrikerale Т- ja H-istud.

Pöörlevalt koormatud radiaal-, tugi-kuul- ja radiaal-tugirull-laagrite mittereguleeritavatele rõngastele valitakse kerēs liikumatud istud H, Т, Г või P7-ISA.

Pöörlevalt koormatud reguleeritavaile rõngastele (üldiselt mittesoovitav laagrisõlme konstruktsioon) valitakse И<sub>1</sub>-ist. Kokkupuutuvate osade materjal peab seejuures omama kõrgendatud kõvadust. Võllil kõvendatakse karastamise teel laagri istukoht või karastatakse kogu võll. Keresse paigutatakse eriline karastatud puks.

Istu pinnal otseselt mitteliikuvale, kohalikult koormatud mittereguleeritavaile ja reguleeritavaile rõngastele valitakse väikestel aksiaalkoormustel И-ist ja suurtel aksiaalkoormustel H-ist.

Kohalikult koormatud reguleeritavaile rõngastele valitakse väikeste aksiaalkoormuste puhul istud С ja И ning suurtel aksiaalkoormustel ist И<sub>1</sub>.

Kõigi tüüpide tugi-kuul- ja tugi-rull-laagrite kinnised rõngad paigutatakse võllile istuga И, kusjuures lahtised rõngad keres omavad radiaalse lõtku 0,2 mm suuruses.

Tabelis 6 ja 7 on esitatud mõningaid näiteid istude valikust võllile ja keresse.

Tabel 6.

## Istude valiku näiteid võllile

Istude valikut tingivate asjaolude üldine iseloomustus			Masinate ja laagrisõlmede nimetused	Läbimõõdud				Istud
Kas võll pöörleb või ei pöörle	Siserõnga koormus	Töötamise režiim ja täiendavad märkused		Radiaal-laagrid		Radiaal-tugi-laagrid		
				kuul-laag-rid	rull-laag-rid	kuul-laag-rid	rull-laag-rid	
				mm				
Ei pöörle	Kohalik	Kerge või normaalne	Väikestele koormustele ette nähtud lintransporditööriide, konveierite ja rippuvate köisteede rullid				D	
		Normaalne või raske nihkumine mööda võlli on võimalik	Autode ja traktorite esinings tagarattad, vagonetide, lennukite jms. rattad					C
Pöörleb	Pöörleb	Kerge või normaalne	Elektriseadmed, tsentrifuugid, vahetatavad väike- sed hammasrattad, turbo- kompressorid, tsentrifugaal- pumbad, ventilaatorid	kuni 18	kuni 40	—	—	Π või Π <sub>1</sub>
				—	—	kuni 100	—	Π või H <sub>1</sub>
				üle 18	kuni 100	—	—	H või H <sub>1</sub>
				—	—	üle 100	kuni 100	H
				—	kuni 250	—	—	T <sub>1</sub>
		—	—	—	kuni 250	T		
		Normaalne või raske	Elektrimootorid, võimsusega kuni 100 kW, tööpin- gid, turbiinid, vändameh- hanismi laagrid, autode ja traktorite käigukastid, me- tallilõikepinkide spindlid	kuni 100	kuni 40	kuni 18	—	H või H <sub>1</sub>
				—	—	kuni 100	kuni 40	H
				üle 100	kuni 180	—	—	T või T <sub>1</sub>
				—	—	üle 100	kuni 180	T
—	kuni 250			—	—	Γ <sub>1</sub>		
—	—	—	kuni 250	Γ				
Raske (löökkoo- mus)	Raudtee- ja trammivagu- nite võllide puksid, moo- torite väntvõllid, elektri- mootorid, võimsusega üle 100 kW, kraanade rattad, pöörmeringide rullikud	Kõikide läbimõõtudega laagrid				Γ		
Raske	Raudtee ja trammivagu- nite võllide puksid	Kõikide läbimõõtudega kokkutõmmatavatel puksidel asetsevad laagrid				B <sub>3</sub>		
Normaalne	Transmissioonivõllid	Kõikide läbimõõtudega koonilistel puksidel asetsevad laagrid				B <sub>4</sub>		

Istude valiku näited kuul- ja rull-laagrite paigutamiseks keredesse  
(malm- või terasvalust keredesse)

Istude valikut tingivate asjaolude üldine iseloomustus			Masinate ja laagrisõlmede nimetused	Istud
Kas pöörleb völli või kere	Välisrõnga koormus	Töötamise režiim ja täiendavad märkused		
Pöörleb völli	Pöörlev	Raske, õhukese-seinaliste kerede juures	Lennukite rattad, autode ja traktorite esirattad koonilistel rull-laagritel, kraanade rattad	P7-ISA
		Raske või normaalne	Rullteede (rollgangide) rullid, autode ja traktorite rattad kuul-laagritel, kompressorite väntvölli laagrid	
		Normaalne	Lintransportööride rullid, pingutusrullid (leniksid)	T
		Raske või normaalne	Treipinkide spindlite laagrid	T või T <sub>1</sub>
Pöörleb völli	Kohalik	Raske või normaalne (nihkumine mööda völli pole võimalik)	Käigukastide ja autode ning traktorite koonilised rull-laagrid	H
	Kohalik või vönkuv	Raske või normaalne	Lihvipinkide spindlite eesmisel laagrid, mootorite väntvölli raamlaagrid	H <sub>1</sub>
	Kohalik	Normaalne	Tsentrifugaalpumbad, ventilaatorid, tsentrifuugid, raudtee- ja trammivagunite völli puksid	Π
		Normaalne	Metallilõikepinkide ja puidutöötlemispinkide spindlite laagrid	Π <sub>1</sub>
		Normaalne või raske	Enamik üldises masinaehituses kasutatavaid laagreid	C
		Normaalne või kerge (koostvõetavad kered)	Transmisioonid	C <sub>3</sub>

#### IV. VEERELAAGRITE VALIK.

Veerelaagrite tüübi ja mõõdete valikuks peab olema teada:

- a) laagriole mõjuva koormuse suurus ja siht (radiaalne, aksiaalne või kombineeritud),
- b) koormuse iseloom (pidev, vahelduv, löögiline, vibreeriv),
- c) laagri pöörleva rõnga pöörete arv,
- d) laagri ökonoomiliselt otstarbekohane töötamise iga tundides,
- e) masina sõlme konstruktiivsete iseärasuste poolt laagriole seatavad nõuded, näiteks vajadus kindlustada laagri iseseaduvust võlli läbipaindel, laagri asetamise võimalus kas otse võllile või koonilisele puksile, laagri montaaži võimalus selle monteeritud olekus või rõngaste eraldi monteermise võimalus, sõlmede detailide nihkumise võimalus temperatuuride kõikumisel, laagrite järelepingutamise võimalus jne.

Lähtudes nüüd konkreetseist eksploatatsioonitingimustest, määrame kõigepealt kindlaks nõutava laagri tüübi ja seejärel mõjuva koormuse ja valitud ea kaudu otstarbekohased laagri mõõded.

Laagri eaks arvatakse aega tundides, mille kestel vähemalt 90% katsetatavaist laagritest ei avalda töötamisel materjali väsimuse tunnuseid. Materjali väsimuse alguse iseloomustavaks tunnuseks on metalli väljamuljumine laagri tööpinna väikeste punktide või kihistuse näol.

Kindla konstruktsiooniga, mõõdetega ja materjali kvaliteediga laagrite iga oleneb laagriole mõjuvate jõudude suurusel, sihist ja iseloomust, pöörete arvust ja sellest, kas pöörleb välis- või sisevõru, eeldades seejuures laagrite kvaliteetset montaaži ja tingimustekohast määrimist.

Laagriole mõjuva koormuse iseloomu, välisrõnga pöörlemise, aksiaaljõudude ja temperatuuri mõju laagri easse arvestatakse laagri valiku teostamisel sel teel, et arvutuse aluseks võetakse tegelikult mõjuva koormuse asemel suuruselt ja suunalt püsiv radiaalne tingkoormus  $Q$ , mille juures oodatav laagri iga on ühesuurune eaga antud konkreetseil tingimusil.

Laagri ea  $h$ , tingkoormuse  $Q$  ja laagri rõnga pöörete arvu  $n$  vahetõr on avaldatav empiirilise valemiga (35) või seosega

$$Q(nh)^{0,3} = C, \quad (40)$$

kus  $C$  on laagri töövõimelisuse tegur.

Pöörete arvu juures  $n = 1$  kuni 10 arvutatakse pöörete arvuga  $n = 10$ .

Nagu näitab valem, on laagri iga suurel määral sõltuv koormuse muutumisest, näiteks koormuse suurenedes kaks korda väheneb laagri iga kümme korda.

Valemi (40) otstarbekust on tõestanud arvukad NSV Liidu vastavais käitistes ja uurimisasutustes (ЭНИИПП) tehtud katsed.

Töövõimelisuse teguri  $C$  suurus antakse tavaliselt kataloogides. Viimaste puudumisel võib  $C$ , samuti  $Q$  piirväärtuse arvutamiseks kasutada tabelis 8 toodud empiirilisi valemid, juhul kui tegelik pöörete arv  $n$  ei ületa antud laagriole lubatud pöörete arvu. Tabelis toodud valemid on rakendatavad ainult normaalse täpsusega ja tavalise separaatori konstruktsiooniga veerelaagrite põhitüüpidele.

Tabel 8.

Valemeid veerelaagrite töövõimelisuse teguri  $C$  ja staatilise koormuse  $Q_{st}$  määramiseks

Laagri tüüp	OCT või ГОСТ	$C$	$Q_{st}$ kg	Pöörete arv $n_p \leq 10\,000$
Üherealine radiaal-kuullaager	OCT 6121-39	$60z^{0,7}d_k^2\varphi$	$0,85zd_k^2$	$\frac{750\,000}{d+D}$
Üherealine sfääriline radiaal-kuullaager	—	$35z^{0,7}d_k^2\varphi$	$0,45zd_k^2$	"
Kaherealine sfääriline radiaal-kuullaager	OCT 6266-39	$60z^{0,7}d_k^2\varphi \cos \beta$	$0,72zd_k^2 \cos \beta$	"
Üherealine radiaal-tugi-kuullaager	ГОСТ 831-41	$60zd_k^2\varphi \cos \beta$	$0,5zd_k \cos \beta$	"
Kaherealine radiaal-tugi-kuullaager	ГОСТ 4252-48	$90z^{0,7}d_k^2\varphi \cos \beta$	$1,3zd_k^2 \cos \beta$	$\frac{500\,000}{d+D}$
Ühe- ja kahekordsed tugi-kuullaagrid	OCT 7219-39 7221-39	$80z^{0,7}d_k\varphi$	$3,3zd_k^2$	$\frac{200\,000}{d+D}$
Silindriliste rullidega rull-laagrid, kui rulli pikkuse ja läbimõõdu suhe on	1—1,25	$60z^{0,7}d_r l_r$	$1,6zd_r l_r$	$\frac{750\,000}{d+D}$
	1,25—2	ГОСТ 294-41	$55z^{0,7}d_r l_r$	$\frac{650\,000}{d+D}$
	2—3		$50z^{0,7}d_r l_r$	$\frac{550\,000}{d+D}$
Kaherealised sfäärilised rull-laagrid	OCT 6771-39	$90z^{0,7}d_r l_r \cos \beta$	$3zd_r l_r \cos \beta$	Seeria 3500 ja 3600 $\frac{450\,000}{d+D}$ ja teised $\frac{300\,000}{d+D}$
Nõellaagrid	ГОСТ 4657-49	$250D_1^{0,7}l_r$	$3D_1 l_r$	$\frac{75\,000}{d}$
Keerd- ja pikkade rullidega rull-laagrid	OCT 26005	10 kuni $30z^{0,7}d_r l_r$	$0,8zd_r l_r$	$\frac{400\,000}{d+D}$
Üherealised koonilised rull-laagrid	ГОСТ 333-41	$55z^{0,7}d_r l_r \cos \beta$	$1,6zd_r l_r \cos \beta$	$\frac{450\,000}{d+D}$
Kooniliste rullidega tugi-laagrid	ГОСТ 5380-50	$100z^{0,7}d_r l_r \cos \beta$	$6zd_r l_r \cos \beta$	—

Laagri pöörete arvu  $n = 0$  või  $n < 1$  juures valitakse laager nn. staatilise koormuse  $Q_{st}$  järgi, mille määramise aluseks on kõige enam koormatud veerekeha ja rõnga tööpinna kontaktpinnakeses jõu mõjumise suunas tekkida võiva deformatsiooni suurus (tabel 8).

Staatilise koormuse suhtes tuleb kontrollida ka selliste masinate ja seadmete laagreid, mis jäävad koormatuks ka masinate seiskamisel pikema ajaks.

Tabelis 8 kasutatud tähised:

$z$  on kuulide või rullide arv ühes reas,

$d_k$  — kuuli läbimõõt mm,

$\varphi$  — tegur, mis arvestab kuuli läbimõõdu mõju,  $\varphi = \frac{1}{1 + 0,02d_k}$ ,

$d$  ja  $D$  — laagri sise- ja välisläbimõõt mm,

$\beta$  — kontaktnurk,

$d_r$  — rulli läbimõõt mm,

$l_r$  — rulli pikkus mm,

$d_r$  — koonilise rulli keskmine läbimõõt mm,

$D_1$  — sisevõru veerepinna läbimõõt mm.

### 1. Radiaallaagrite valik.

Radiaal-kuullaagrite valikuks tuleb varem nimetatud põhimõtte kohaselt määrata radiaalne tingkoormus  $Q$ , arvesse võttes tegelikult laagriile mõjuva koormuse radiaalset ja aksiaalset komponenti.

Tingkoormus  $Q$  ja töövõimelisuse tegur  $C$  leitakse antud juhul empiiriliste valemitega:

$$Q = (R + mA) k_b k_k k_t, \quad (41)$$

$$C = (R + mA) k_b k_k k_t (nh)^{0,3},$$

kus  $m$  on tegur, millega võetakse arvesse radiaal- ja aksiaal jõudude erinev toime laagri eale;  $m$  oleneb laagri tüübist ja mõõdetest,  $m$  väärtused on esitatud tabelis 9,

$R$  — laagri tegelik radiaalkoormus,

$A$  — laagri tegelik aksiaalkoormus,

$k_b$  — tegur, millega arvestatakse koormuse iseloomu laagri ea suhtes;  $k_b$  valitakse teostatud konstruktsioonides analoogilise koormusega töötanud laagrite andmete alusel;  $k_b$  näitlikud suurused on toodud tabelis 10,

$k_k$  — tegur, mis arvestab laagri iga, olenevalt sellest, kas pöörleb sise- või välisrõngas; siserõnga pöörlemisel  $k_k = 1$ , välisrõnga pöörlemisel  $k_k = 1,1$  (sfäärilised laagrid) ja  $k_k = 1,35$  (kõigil teistel juhtudel),

$k_t$  — tegur, mis arvestab laagri iga, olenevalt töötemperatuurist.

$k_t$  väärtused võib valida alljärgnevalt:

töötemperatuur	125°	150°	175°	200°	225°	250°
$k_t$	1,05	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4

$n$  — laagri pöörete arv minutis,

$h$  — laagri iga töötundides.

Silindriliste rullidega radiaal-rull-laagrite valikul arvutatakse radiaalne tingkoormus  $Q$  lähtudes ainult tegelikult mõjuvast radiaalkoormusest. Sel juhul valem  $Q$  määramiseks on:

$$Q = Rk_b k_k k_t. \quad (42)$$

Antud juhul võetakse aksiaalne koormus vastu vaid rõnga juhtäärisega, seega on tegemist verekehade libisemisega tugipinnas, mille tõttu lubatav aksiaalne koormus on väike. Võimaliku aksiaalse koormuse leiame valemiga

$$A \leq F_a z d_r^2 (3,5 - F_v n d_r) \text{ kg}, \quad (43)$$

kus  $n$  on laagri maksimaalne pöörete arv minutis,

$F_a$  — tegur, mis arvestab laagri töötamise tingimusi,  $F_a = 0$  kuni 0,25, olenevalt temperatuurist, määrimisviisist ja koormuse mõjumise kestusest;

$F_v$  — kiiruse tegur,  $F_v = 8,5 \cdot 10^{-5}$  kerge seeria laagreil,

$F_v = 7 \cdot 10^{-5}$  keskmise „ „ „

$F_v = 6 \cdot 10^{-5}$  raske „ „ „

Kui  $z$  ja  $d_r$  ei ole teada, võib standardseile laagreile arvutada lubatava aksiaalse koormuse, lähtudes laagri sise- ja välisläbimõõdust

$$A \leq F_a (D^2 - d^2) [1 - 0,073 F_v n (D - d)]. \quad (44)$$

Tabel 9.

Teguri  $m$  näitlikud suurused

Laagri nimetus	Tüüp ja seeria	Laagri siseläbimõõt $d$ mm	$m$
Uherealised kuullaagrid	200, 300, 400	Kõikidele läbimõõtudele	1,5
Sfäärilised kuullaagrid, kerge seeria	1200 ja 11200	kuni 17	2,5
		20—40	3,5
		45	4,5
Sfäärilised kuullaagrid, keskmine seeria	1300 ja 11300	30	3
Sfäärilised kuullaagrid, lai seeria	1500, 1600, 11500, 11600	Kõikidele läbimõõtudele	2,5
Kaherealised sfäärilised rull-laagrid, kerge seeria	3500 ja 13500	„	4,5
keskm. seeria	3600 ja 13600	„	3,5

Laagri nimetus	Tüüp ja seeria	Laagri siseläbimõõt <i>d</i> mm	<i>m</i>
Oherealised radiaal-tugikuullaagrid	46000	„	0,6
Magneeto-kuullaagrid	6000	„	2
Koonilised rull-laagrid, kerge seeria	7200, 7500	„	1,5
Koonilised rull-laagrid, keskm. seeria	7300, 7600	„	1,8
Koonilised rull-laagrid, suure koonusega	27300	„	0,6

Märkus: *m* oleneb suhtest  $R:A$ . Kui  $R:A > 2$ , tuleb *m* väärtused valida antud tabelist; *m* suureneb 15% võrra, kui  $R:A \approx 2$ , ja 25% võrra, kui  $R:A \approx 1$ ; *m* oleneb ka kontaktnurgast  $\beta$  (vt. valem 46).

Tabel 10.

Teguri  $k_b$  näitlikud suurused

Jrk. nr.	Koormuse iseloom	$k_b$	Masina- ja sõlmed, mis vastavad antud tegurile $k_b$	Märkusi
1	Rahulik koormus, tõuked puuduvad	1	Kerged transmissioonivõllid. Väikesed veepumbad. Varju all töötavad transportöörid. Plokid. Leivavabrikute ja vabrikööride seadmed.	Eeldatakse sujuvalt töötavaid elastseid ajameid (rihm-, kiilrihm-, kett- ja hõõrdajamid), samuti elastsete sidurite olemasolu.
2	Kerged tõuked (koormuse pulseerimine). Lühiaegsed ülekoormused kuni 125% normaal- (arvutus-) koormusest.	1— —1,2	Metalli löikepingid (treipingid, puurpingid, lihvimispingid ja freespingid). Puuvilla, lina ja villa töötlemise masinad. Külmutusseadmed. Masinad klaastoodete tööstusele. Jahuveskid. Aurujõumasinaid. Ventilatorid ja õhupuhurid. Peene sorditerase valtpinkide rullkäigud ja elevaatorid. Töökoja sisetransport.	Eeldatakse iga tüüpi ajameid nende soodsa eksploatatsiooni- režiimi juures, vändamehhanismide puudumist, järsu ja tunduva koormuse suurendamise võimatust.
3	Mõõdukad tõuked. Lühiaegne ülekoormus kuni 150% normaal- (arvutus-) koormusest. Koormuse vibreerimine.	1,3— —1,5	Traktorid. Autod. Reduktorid. Kombainid, tsentrifüügid. Paberimasinaid. Tsentrifugaalmasinaid. Viljapeenestid. Viljapuhastid. Kompressorid. Paberivabrikute pumbad. Väikeste pinkide võllikud. Elektrimootorid. Kraanade vankrid.	Kõik tõugetega töötavad masinad suhteliselt soodsate eksploatatsiooni- režiimide juures.
		1,5— —1,8	Plahvatusmootorid. Hõõvel- ja stoospingid. Kummi- ja trükitööstuse masinaid. Kraanade konksud. Sõelad. Ropsimis- masinaid.	

Jrk. nr.	Koormuse iseloom	$k_b$	Masina- ja sõlmed, mis vastavad antud tegurile $k_b$	Märkusi
4	Tunduvate tugegetega ja vibreerimisega koormus. Lühiaegsed ülekoormused kuni 200% normaal- (arvutus-) koormusest.	1,8— —2,0	Keskmise sorditerase valtspinkide valtsovõllid ja rullkäigud. Kuulveskid. Tagist puhastamise trumlid. Maagipurustid. Savitöötlemismasina-	Pidevalt tunduvate tugegetega töötavad masina-
		2,0— —2,5	Kivipurustid. Rammid. Väiksemad sepi-stamismasina-d. Raudtee veereva koosseisu puksid.	Masina-d raskete edasi-tagasilüükuvate massidega ja dünaamilise eksplua-tatsioonirežiimiga.
5	Koormus tugevate löökidega ja lühiaegsete ülekoormustega kuni 300% normaal- (arvutus-) koormusest. Halvad töötingimused. Kõrgendatud temperatuur. Tihendite ebakindlus. Tolmu, gaaside, merevee jne. sattumine laagrisse.	2,5— —3,0	Rasked sepi-stamismasina-d. Raskete valts- ja bluumingpinkide võllid ja rullkäigud. Käärde rullkäigud. Kiirpuksid raudteemajanduses. Saekaatrid, laevakruvi võlli laagrid, pöörliid (вертлюги). Vee all töötavate seadmete laagrid. Kloori-, sooda-, väävelhappe- jne. tööstuse seadmete laagrid.	Eranditult dünaamilise koormusega töötavad agregaadid ja kõik masina-d, kus laagrid real põhjuseil töötavad eriti ebasoodsates eksplua-tatsioonitingimustes.

Näide. Laagri- mõjub radiaalkoormus  $R = 600$  kg ja aksiaalkoormus  $A = 160$  kg. Võlli läbimõõt  $d = 100$  mm, pöörete arv minutis  $n = 800$ . Koormus on kergelt tõukeline ja vibreeriv; laagrit ümbritseva keskkonna temperatuur võib tõusta kuni  $125^\circ\text{C}$ ; pöörleb laagri välisrõngas. Soovitav laagri iga  $h \approx 10\,000$  tundi. Määrata laagri tüüp ja mõõted.

Kuna laagri- mõjuv aksiaalkoormus on suhteliselt väike ja puudub laagri iseseaduvuse vajadus, valime üherealise radiaal-kuullaagri.

Vastavalt esitatud tingimustele saame:

$$m = 1,5; \quad k_k = 1,35; \quad k_b = 1,2 \quad \text{ja} \quad k_T = 1,05.$$

$$(nh)^3 = (800 \cdot 10\,000)^{0,3} = 117.$$

Vajalik laagri töövoimelisuse tegur

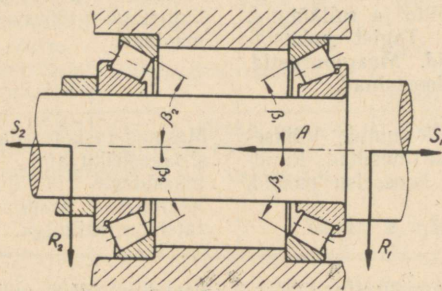
$$C = (600 + 1,5 \cdot 160) \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 117 \approx 167\,000.$$

Leitud töövoimelisusetegurile vastab üherealine radiaal-kuullaager (tüüp 0000), keskmiselt seeria Nr. 320, OCT 6121-39. Laagri mõõted  $d = 100$  mm,  $D = 215$  mm ja  $B = 47$  mm.

Analoogiliselt arvutatakse ka radiaal-rull-laagrid, ainult selle vahega, et aksiaalkoormuse lubatavat suurust kontrollitakse valemiga (44). Kui tegelik aksiaal- koormus ei ületa lubatavat, siis vastab valitud laager antud tingimustele.

## 2. Radiaal-tugi- ja tugilaagrite valik.

Radiaal-tugilaagrites tekib radiaalkoormuse toimel aksiaalne jõud  $S$  (joon. 70), mis osaliselt vabastab need laagrid tegelikult mõjuvast aksiaalkoormusest. Kahe toe puhul monteeritakse need laagrid nii, et võrdsete radiaalkoormuste juures laagris tekivad aksiaalsed komponendid teineteist vastastikku tasakaalustaksid. Neil juhtudel arvutatakse tingkoormus  $Q$  valemi (41) järgi.



Joon. 70.

Ühe radiaal-tugilaagriga sõlmedes, samuti juhul, kui kahe laagri radiaalkoormuse aksiaalsed komponendid vastastikku ei tasakaalustu, peab laagri valikul aksiaalsed komponendid arvesse võtma valemiga

$$Q = Q_r k_k k_b k_T, \quad (45)$$

kus  $Q_r$  on laagritele redutseeritud radiaaljõud, mis on ekvivalentne radiaaljõu  $R$  ja aksiaaljõu  $A$  üheaegse toimega.

Tabelis 11 on toodud valemid radiaal-tugilaagritele  $Q_r$  arvutamiseks, olenevalt laagri tegelikust koormusest  $R$  ja  $A$  ja radiaalkoormuse telje sihis mõjuvast komponentjõust  $S$ .

Tegur  $m$  ja aksiaalne komponentjõud  $S$  määratakse kontaktnurga ja radiaaljõu  $R$  kaudu valemitega

$$\left. \begin{aligned} m &\approx \frac{1}{2,8 \tan \beta}, \\ S &\approx 1,2R \tan \beta. \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

Tugilaagrid valitakse aksiaalse tingkoormuse  $A_t$  kaudu, kusjuures tegur  $k_k = 1$

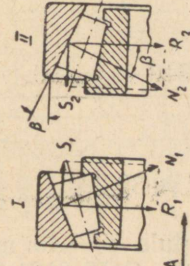
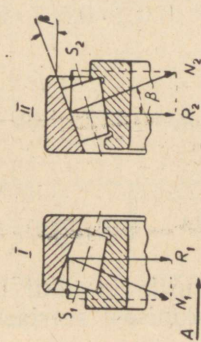
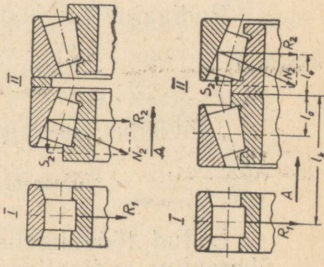
$$\left. \begin{aligned} A_t &= A k_b k_T \\ C &= A k_b k_T (nh)^{0,3}. \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

## 3. Muutliku koormuse ja muutliku pöörete arvuga töötavate laagrite valik.

Muutliku koormuse ja pöörete arvuga töötavate laagrite valik toimub ekvivalentse koormuse  $Q_e$  ja tingpööretearvu  $n_e$  järgi, millede juures eeldatakse, et laagri iga on ekvivalentne laagri töötamise eaga muutliku töörežiimi juures antud konkreetseil tingimustel.

Laagrite arvutus ja valik maksimaalsete (tipp-) koormuste järgi ei ole antud juhul õigustatud, kuna on vasturääkivuses arvutusega materjali väsimusele ja annab üldiselt mittevastuvõetavaid tulemusi.

Radiaal-tingkoormuse  $Q_r$  arvutusvalemid radiaal-tugilaagreile

Laagrite asetuse ja jõudude mõjuvõime skeem	Jõudude vahetorkord		Radiaal-tingkoormus $Q_r$	
			I laagril	II laagril
	$R_2 > R_1$	$S_2 > S_1$	$Q_1 = R_1$	$Q_2 = R_2 + m[A - (S_2 + S_1)]$
	$R_1 > R_2$	$S_1 > S_2$	$Q_1 = R_1$	$Q_2 = R_2 + m[A + (S_1 - S_2)]$
	I laagril on radiaallaager $S_1 = 0$		$Q_1 = R_1$	$Q_2 = R_2 + m(A - S_2)$
	$R_2 > R_1$	$S_2 > S_1$	$Q_1 = R_1 + m[A + (S_2 - S_1)]$	$Q_2 = R_2$
	$R_1 > R_2$	$S_1 > S_2$	$Q_1 = R_1$	$Q_2 = R_2$
	II laagril on radiaallaager $S_2 = 0$		$Q_1 = R_1 + m(A - S_1)$	$Q_2 = R_2 + m[(S_1 - S_2) - A]$

Igasuguse  $A$  ja  $S$  vahetorkorra juures

$$Q_2 = R_2 + m(A - S_2)$$

$$Q_1 = R_1$$

Töötagu laager koormustel  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ , millele vastavad pöörete arvud  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$ , kestusega igal töörežiimil  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  osa üldisest laagri east.

Oletame, et

$$\beta_1 = \frac{n_1}{n_e}; \quad \beta_2 = \frac{n_2}{n_e}; \quad \beta_3 = \frac{n_3}{n_e} \dots; \quad \beta_n = \frac{n_n}{n_e},$$

kus  $n_e$  on tingpöörete arv, millise suuruse võime vabalt valida. Üldiselt võetakse  $n_e$  suuruseks kõige kestmalt esinev arv üldises töörežiimis.

Nendel tingimustel määratakse ekvivalentne koormus  $Q_e$  kõikidele laagritele, välja arvatud keerdrullidega laagrid, valemiga

$$Q_e = \sqrt[3,33]{a_1 \beta_1 Q_1^{3,33} + a_2 \beta_2 Q_2^{3,33} + \dots + a_n \beta_n Q_n^{3,33}}. \quad (48)$$

Tingkoormus, mille juures toimub laagri tegelik valik, on

$$Q = Q_e k_k k_b k_T \quad \text{ja} \quad C = Q_e (n_e h)^{0,3},$$

kui  $k_k, k_b$  ja  $k_T$  väärtused on muutumatud üldises töörežiimis.

N ä i d e. Radiaallaager töötab järgmiste režiimide juures:

$$1) \quad Q = 292 \text{ kg}, \quad n_1 = 642 \text{ p/min.}, \quad a_1 = 0,2;$$

$$2) \quad Q_2 = 270 \text{ kg}, \quad n_2 = 1075 \text{ p/min.}, \quad a_2 = 0,3;$$

$$3) \quad Q_3 = 70 \text{ kg}, \quad n_3 = 2000 \text{ p/min.}, \quad a_3 = 0,5.$$

$$k_k = 1,35 \text{ (pöörleb välimine võru)}, \quad k_b = 1,3, \quad k_T = 1.$$

Valida laager, siseläbimõõduga  $d = 40$  mm, üldise töötamisega  $h = 5000$  töötundi. Valime tingpöörete arvuks kolmanda režiimi pöörete arvu  $n_e = n_3 = 2000$  p/min. kui suurima pöörete arvu, siis

$$\beta_1 = \frac{n_1}{n_e} = \frac{642}{2000} = 0,321; \quad \beta_2 = \frac{n_2}{n_e} = \frac{1075}{2000} = 0,537; \quad \beta_3 = \frac{n_3}{n_e} = 1.$$

Teades nüüd üksikuid  $Q, a$  ja  $\beta$  väärtusi, võime arvutada ekvivalentse koormuse  $Q_e$ :

$$Q_e = \sqrt[3,33]{0,2 \cdot 0,321 \cdot 292^{3,33} + 0,3 \cdot 0,537 \cdot 270^{3,33} + 0,5 \cdot 70^{3,33}} \approx 177 \text{ kg}.$$

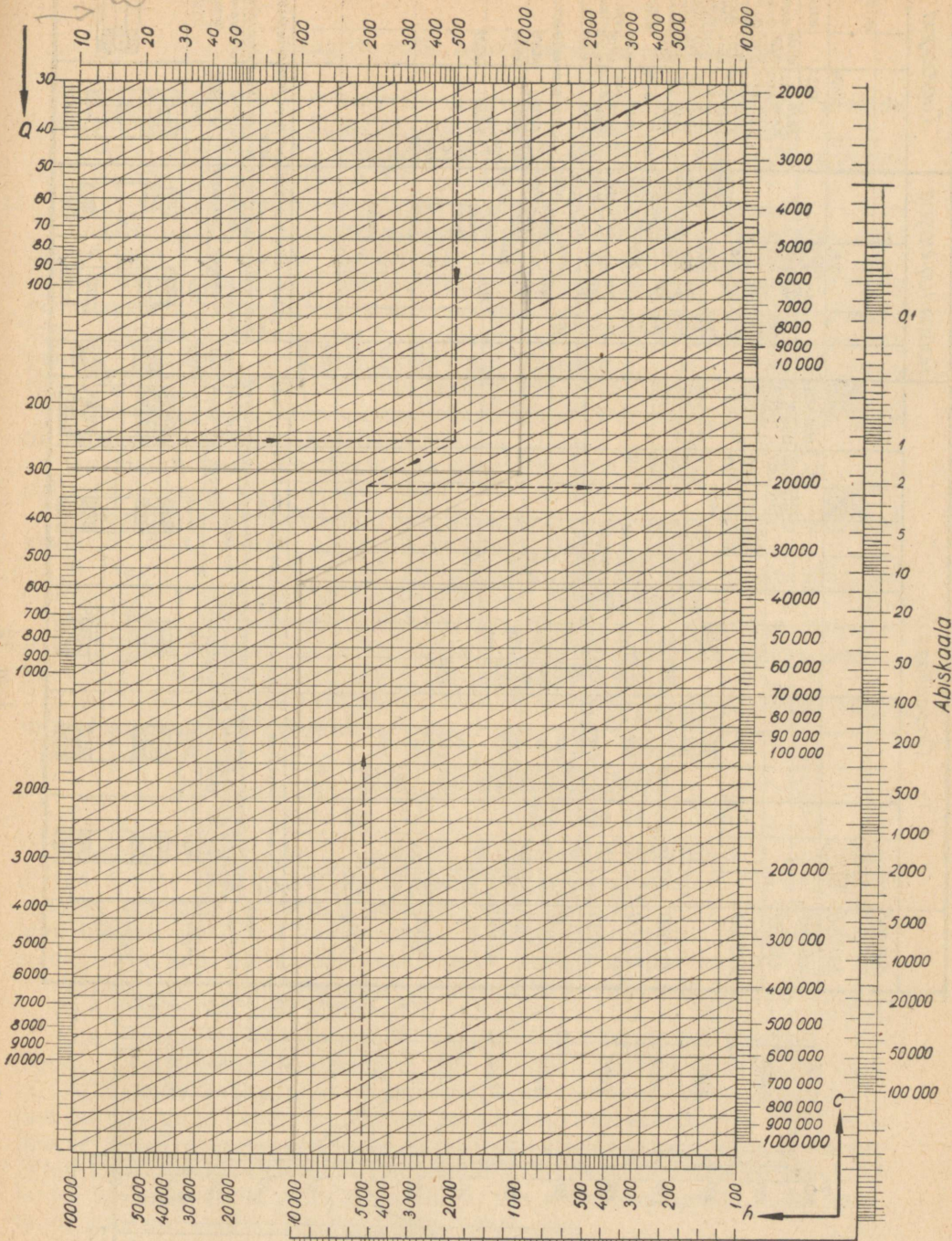
Radiaalne tingkoormus

$$Q = Q_e k_k k_b k_T = 177 \cdot 1,35 \cdot 1,3 = 310 \text{ kg}.$$

Töövõimelisusetegur

$$C = Q_e (n_e h)^{0,3} = 310 (2000 \cdot 5000)^{0,3} \approx 39\,000.$$

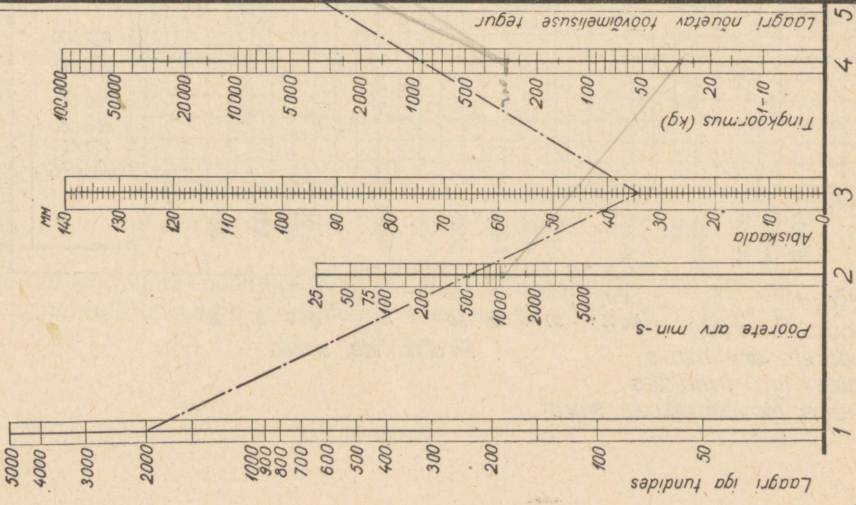
Leitud töövõimelisusetegurile ja võlli läbimõõdule  $d = 40$  mm vastab üherealine radiaallaager keskmisest seeriast Nr. 308, OCT 6121-39.



Tähised:  
 Q-tingkoormus (kg)  
 n-pöörete arv min-s  
 h-laagri iga tundides  
 C-laagri töövõimelisuse tegur

Pratsentide skaala

Joon. 71.



Radiallaagrigrind		Radialtugiagrind		Tugiagrind	
800 000	3626 3626 3622	3526 3526 3522	7624	8324	8420 8416 8412
500 000	3620 3616 3612	3520 3516 3512	7620	8320	8416 8412 8408
400 000	3614 3610 3606	3514 3510 3506	7616	8316	8410 8406 8402
300 000	3608 3604 3600	3508 3504 3500	7612	8312	8404 8400 8396
200 000	3602 3598 3594	3502 3498 3494	7608	8308	8400 8396 8392
100 000	3596 3592 3588	3496 3492 3488	7604	8304	8396 8392 8388
80 000	3590 3586 3582	3490 3486 3482	7600	8300	8390 8386 8382
50 000	3584 3580 3576	3484 3480 3476	7596	8296	8384 8380 8376
40 000	3578 3574 3570	3478 3474 3470	7592	8292	8378 8374 8370
30 000	3572 3568 3564	3472 3468 3464	7588	8288	8372 8368 8364
20 000	3566 3562 3558	3466 3462 3458	7584	8284	8366 8362 8358
10 000	3560 3556 3552	3460 3456 3452	7580	8280	8360 8356 8352
5000	3554 3550 3546	3454 3450 3446	7576	8276	8354 8350 8346
2000	3548 3544 3540	3448 3444 3440	7572	8272	8348 8344 8340
1000	3542 3538 3534	3442 3438 3434	7568	8268	8342 8338 8334
500	3536 3532 3528	3436 3432 3428	7564	8264	8336 8332 8328
200	3530 3526 3522	3430 3426 3422	7560	8260	8330 8326 8322
100	3524 3520 3516	3424 3420 3416	7556	8256	8324 8320 8316
50	3518 3514 3510	3418 3414 3410	7552	8252	8318 8314 8310
25	3512 3508 3504	3412 3408 3404	7548	8248	8312 8308 8304
10	3506 3502 3498	3406 3402 3398	7544	8244	8306 8302 8298
5	3500 3496 3492	3400 3396 3392	7540	8240	8300 8296 8292
2	3494 3490 3486	3394 3390 3386	7536	8236	8294 8290 8286
1	3488 3484 3480	3388 3384 3380	7532	8232	8288 8284 8280

#### 4. Laagrite valik nomogrammide abil.

Laagrite valiku hõlbustamiseks on koostatud rida nomogramme, millede kasutamine on paljudel juhtudel osutunud otstarbekohaseks.

Enamat rakendust on leidnud R. Beiselmanni (joon. 71) ja K. Kuvšini ning N. Spitsõni poolt (joon. 72) koostatud nomogrammid.

Joonisel 71 toodud nomogrammi kasutamine toimub järgmiselt:

Skaaladel  $Q$  ja  $n$  leiame vastavad punktid, milledest püstitame ristjooned kuni lõikumiseni. Lõikepunkt määrab mingisuguse kaldjoone asukohta, mis on paralleelne nomogrammi kaldjoonega, kui see ise ei satu olemasolevale kaldjoonele. Leiame skaalal  $h$  soovitud eale vastava punkti, kust püstitame vertikaaljoone kuni lõikumiseni antud kaldjoonega. Sellest punktist tõmbame horisontaaljoone kuni skaalani  $C$ , kust loeme otsitava töövõimelisuseteguri suuruse, mis peab laagril antud tingimustel olema.

Analoogiliselt  $C$  määramiseks võime leida ka  $h$  või  $Q$ . Koormuse  $Q$  all tuleb mõista radiaal-tingkoormust.

On antud laagri töövõimelisusetegur nii suur, et selle väärtus asub väljaspool skaala  $C$  piire, siis tuleb:

a) koormuse  $Q$  määramisel jagada  $C$  suurus 10-ga ja saadud jagatise kaudu otsida  $Q$  väärtus ning see korrutada 10-ga;

b) laagri ea  $h$  määramisel jagada  $C$  ja  $Q$  väärtused 10-ga ning ea suurus lugeda otse skaalalt ilma igasuguste parandusteta.

Antud nomogramm võimaldab peale selle teostada muutliku töörežiimiga laagrite valikut või nende töötamise ea määramist. Selleks otstarbeks on paremal pool abiskaala ja all protsentide skaala.

Otsitavate suuruste määramine toimub järgmiselt. Olgu antud järgmine laagri muutlik töörežiim:

- 1)  $Q_1 = 500$  kg,  $n_1 = 1000$  p/min,  $a_1 = 0,4$ ;
- 2)  $Q_2 = 1000$  kg,  $n_2 = 750$  p/min,  $a_2 = 0,35$ ;
- 3)  $Q_3 = 2000$  kg,  $n_3 = 100$  p/min,  $a_3 = 0,25$ .

Esimese režiimi jaoks leiame  $Q$  ja  $n$  skaaladelt punktidest  $Q$  ja  $n$  tõmmatud sirgete lõikepunkti, kust läheb läbi mingi kaldsirge. Protsentide skaalalt tõmbame 1. režiimi kestusele vastava arvu kohalt vertikaalsirge kuni lõikumiseni leitud kaldjoonega. Saadud lõikepunktist tõmbame horisontaalsirge kuni abiskaalani, kust loeme mingisuguse abiarvu.

Analoogiliselt määrame abiarvud ka teistele töörežiimidele.

Antud näites on need abiarvud 1-s režiimis 28, 2-s — 150 ja 3-ndas 145.

Edasi leiame nende abiarvude summa ning võtame selle suuruse abiskaalal, kust tõmbame horisontaalsirge kuni lõikumiseni protsentide skaalal 100% kohalt tõmmatud vertikaalsirgega. Saadud lõikepunktist läheb läbi mingisugune kaldsirge. Kui on antud laagri töövõimelisuse tegur, siis, tõmmates sellest punktist skaalal  $C$  horisontaalsirge, saame selle ja varem leitud kaldsirge lõikepunkti, kust tõmmatud vertikaalsirge näitab skaalal  $h$  laagri iga. On antud nõutav laagri-iga, siis võime vastupidist käiku kasutades määrata laagri töövõimelisuse teguri.

Toodud näites on abiarvude summa 323. Antud ea  $h$  (= 5000 töötundi) juures leiame ülaltoodud meetodil, et  $C = 86\ 000$ .

Standardsete veerelaagrite valikul nomogrammi (joon. 72) kohaselt tuleb toimida järgmiselt:

1) laagri valikuks peab olema antud:  $h$ ,  $n$ ,  $R$  ja  $A$ , koormuse iseloom ja laagri töörežiim, laagri tüüp ja selle gabariitmõõted;

2) tuleb leida radiaal-tingkoormus  $Q$ ;

3) nomogrammil skaalal 1 ja skaalal 2 leiame laagri eale ja pöörete arvule vastavad punktid, milledest tõmbame läbi sirgjoone kuni lõikumiseni abiskaalaga 3. Skaalal 3 leitud punktist tõmbame sirgjoone läbi skaalal 4 tingkoormusega  $Q$  määratud punkti kuni lõikumiseni skaalaga 5. Saadud punkt skaalal 5 määrab töövõimelisuse teguri  $C$ . Igale  $C$  väärtusele vastab rida laagritüüpide numbraid, milledest valime antud tingimustele vastavama.

## V. VEERELAAGRI SÖLMEDE KUJUNDAMINE.

### 1. Üldnõuded.

Et kindlustada veerelaagri normaalset tööd ja nõutavat iga, peab masinate ja mehhanismide laagrisõlme kujundamisel aluseks võtma viimaste eksploatatsioonilised tingimused ja spetsiifilised iseärasused.

Laagrisõlme konstruktsioon peab vastama:

1) laagrisõlmele määratud ülesannetele,

2) nõudmistele, mis tulenevad laagrisõlme eksploatatsioonitingimustest (mõjuva koormuse suurus, suund ja mõjumise viis; nõutav laagri iga; pöörete arv, laagrisõlme ümbritseva keskkonna iseloom; temperatuurilised tingimused; erilised nõuded sõlme monteerimisel ja demonteerimisel),

3) masina või mehhanismi üldkujundusele,

4) tehnoloogilistele võimalustele sõlme elementide töötlemiseks.

Esitatud nõuded tingivad võllide ja laagrikerede konstruktsiooni, laagri tüübi ja mõõted, laagri monteerimise ja kinnitamise viisi, sõlme tihenduse ja määrimise viisi ja sõlme detailide valmistamise täpsuse.

Ainult kogu tekkinud küsimuste kompleksi ratsionaalne ja kaasaja teadmiste kohane lahendus võimaldab kujundada normaalselt töötava laagrisõlme.

Laagrisõlme konstrueerimise käik oleks järgmine:

1) Võttes aluseks masina või mehhanismi tervikuna ja lähtudes viimase eksploatatsioonitingimustest, valmistatakse laagrisõlme esialgne visand.

2) Määratakse laagri mõjuvate jõudude suurus, suund ja iseloom.

3) Vastavalt laagri mõjuvale koormusele, pöörete arvule, nõutavale eale, eksploatatsiooni- ja montaažitingimustele ja sõlme konstruktsioonile valitakse antud tingimustele vastav laagri tüüp ja mõõted. Ei ole õige valida laagrit ainult konstruktiivseil kaalutlusil, s. t. anda laagri mõõted, mida dikteerib juba olemasolev konstruktsioon, sest niisugune valik võib sundida kasutama laagrit, mis ei vasta antud nõuetele.

4) Laagri sõlmelt nõutava pöörlemistäpsuse kohaselt määratakse laagri täpsusklass.

5) Valitud laagri tüüp ja mõõted kooskõlastatakse sõlme üldise konstruktiooniga ja valmistamise tehnoloogiaga. Sageli osutub otstarbekohaseks valmistada laagri avad keres ühesuguse läbimõõduga ka erisuguse koormusega laagrite paigutamiseks. Võib esineda olukord, kus astmelise võlli valmistamine on raskendatud. Samuti võivad paljud teised põhjused tingida loobumise antud töötingimustele täpselt vastava laagri mõõdetest, ja laager tuleb valida konstruktiivseil kaalutlusil. Igal juhul peab tähendatud põhjustel valitud laager (laagrid) vastama antud konkreetseile tingimustele.

6) Olenevalt laagrite mõjuvast koormusest, selle iseloomust, laagri täpsusklassist ja laagri monteerimise võimalustest, määratakse laagri kinetusviisi võllile või kerele.

7) Olenevalt laagri pöörete arvust, laagrit ümbritseva keskkonna iseloomust, töötemperatuurist ja laagrisõlme asukohast, määratakse laagri määrimismoodus ja laagrisõlme tihendamise abinõud.

8) Vastavalt ülaltähendatule kujundatakse nüüd laagrisõlme konstruktioon, kusjuures tuleb konstruktiivselt kindlustada sõlme küllaldane jäikus ja tugevus, laagri istupindade (laagrialused pinnad võllil ja keres) samateljelisus, kerge ja hõlbus montaaži- ja demontaaživõimalus ja temperatuuri kõikumiste mõjumatus laagrite tööle.

Kuigi veerelaagrite sortiment on suhteliselt arvukas, on veerelaagrite ratsionaalne valik siiski kaunis raske. Veerelaagri valikul ei tule silmas pidada üksnes antud tingimustele vastavaid konstruktiivseid nõudeid, vaid valik peab olema otstarbekas ka majanduslikust seisukohast. Peame valida niisuguse laagri, mis vastab antud töötingimustele, kindlustab küllaldase ohutuse ja on seejuures odav ja mitte defitsiitne. Ohutuse seisukohast väljudes jaotame masinaid nende otstarbe ja vastatusrikkuse järgi.

Laagri tüübi valikul tuleb meeles pidada, et

1) kuullaagritega saavutame suurema pöörlemistäpsuse kui rull-laagritega, ka võimaldavad esimesed samade mõõdete korral töötamist suurema pöörete arvu juures,

2) rull-laagrid, võrreldes kuullaagritega, omavad samade mõõdete puhul suuremat töövõimelisust ja jäikust võlli paindumise vastu,

3) iseseaduva laagri valikul ühte sõlme ei ole otstarbekohane teist sama võlliga seotud laagrisõlme kujundada mitteiseseaduva laagriga,

4) sfäärilised tugilaagrid (ühe- või kahekordsed) kompenseerivad laagrialuste pindade valmistamisel tekkinud ebatäpsusi, kuid ei ole mitte iseseaduvad tööolukorras, s. o. ei kompenseeri võlli läbipaindest tingitud mõju.

Laagri täpsusklassi valikul tuleb lähtuda nõuetest, mida esitab mehhanism laagrite pöörlemise täpsusele. Üldises masinaehituses kasutatakse tavaliselt laagreid, mis on valmistatud normaalse täpsusklassi kohaselt, kõrgema täpsusklassi kohaselt valmistatud laagrite kasutamine ei õigusta end ei majanduslikult ega ka tehniliselt.

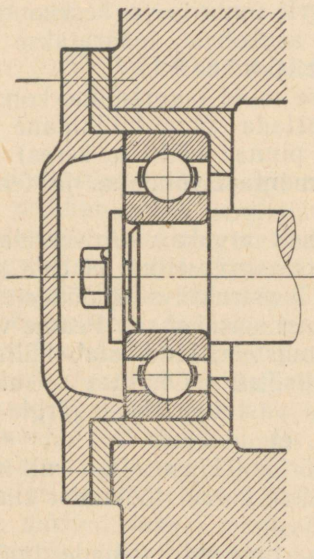
Ainult sel juhul, kui võlli nõutav pöörlemistäpsus ei ole kindlustatud normaalsete laagritega, tuleb valida laagrid, millede valmistamise täpsus vastaks esitatud nõuetele.

Peale normaalsete ja kõrgendatud täpsusega laagrite leiame veel liht-

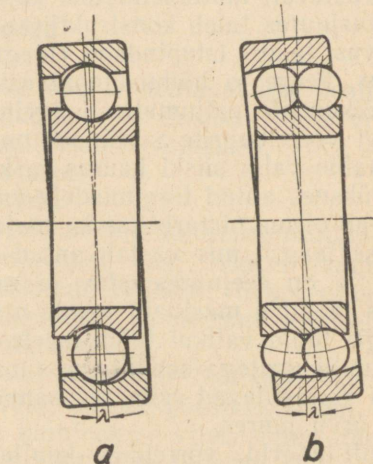
sustatud konstruktsiooniga ja väiksema täpsusega laagreid, mida võime hea eduga kasutada aeglase kiiruse ja väikeste koormuste korral seal, kus pöörlemise täpsus ei ole oluline, näiteks transportööri rullidel, vagoneti puksides, põllutöömehhanismides jms.

Laagrite normaalse töö kindlustamiseks tuleb laagrite kered ja aluskonstruktsioon kujundada küllaldaselt jäikadena, et vältida viimaste geomeetrilise kuju võimalikku muutust mõjuva koormuse tagajärjel. Mitteküllaldasest jäikusest tugikonstruktsioonide puhul tekivad laagreile tööolukorras lisakoormused, mis laagri iga tunduvalt vähendavad.

Kergmetallist ja mittemetallsete laagrikerede korral tuleb ette näha erilised vahemüügid laagri välisvõru kinnitamiseks (joon. 73).



Joon. 73.



Joon. 74.

Tööst tõealepanu tuleb pöörata laagrialuste pindade samateljelisusele, eriti mitme eraldiseisva laagriga toetatud võllide korral. Jättes tähelepanemata konstruktiivsete või tehnoloogiliste vigade tõttu tekkida võiva mitte-samateljelisuse kompensatsiooni võimalused, vähendame laagrite iga viimaste ebanormaalse töö tagajärjel (joon. 74 a).

Abinõudest, mis võimaldavad saavutada laagrialuste pindade samateljelisust, on tähtsamad järgmised:

1) laagrikered tuleb valmistada ühes tükis ja laagrialused pinnad tuleb töödelda ühel tööpingil ühe kinnitusega;

2) üksikult seisvad laagrikered tuleb kinnitada ühisele alusele ja töödelda viimaste laagrialused pinnad samuti ühel tööpingil ühe kinnitusega;

3) üksikult seisvad laagrikered tuleb monteerida nii, et oleks kindlustatud laagrialuste pindade samateljelisus;

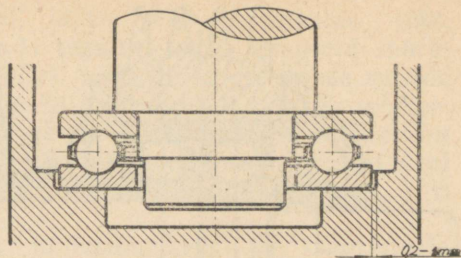
4) kõikide laagrialuste pindade lõplik töötlemine võllil toimugu võlli ühekordse pinki asetamisega.

Võllide võimalike läbipaindumiste kompenseerimiseks võib kasutada iseseaduvaid ehk nn. sfäärilisi laagreid, kuid ka sel juhul peab olema täidetud samateljelisuse tingimus (joon. 74 b), — on lubatav vaid ühe või teise laagri pöördumine  $2-3^\circ$  ulatusel ümber iseseaduva laagri tsentri.

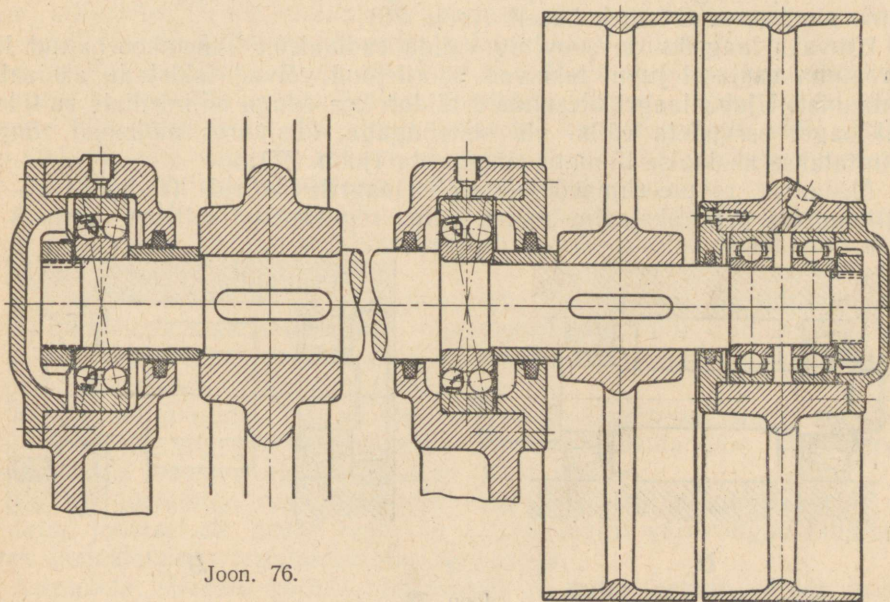
Iseseaduvate laagrite kasutamine ei ole soovitatav juhul, kui laagritele mõjub üheaegselt radiaalne ja märgatav aksiaalne koormus.

Tugilaagritel kindlustatakse samateljelisus sellega, et laagrialune pind seisvale võrude valmistatakse  $0,4-2,0$  mm suurema läbimõõduga (joon. 75).

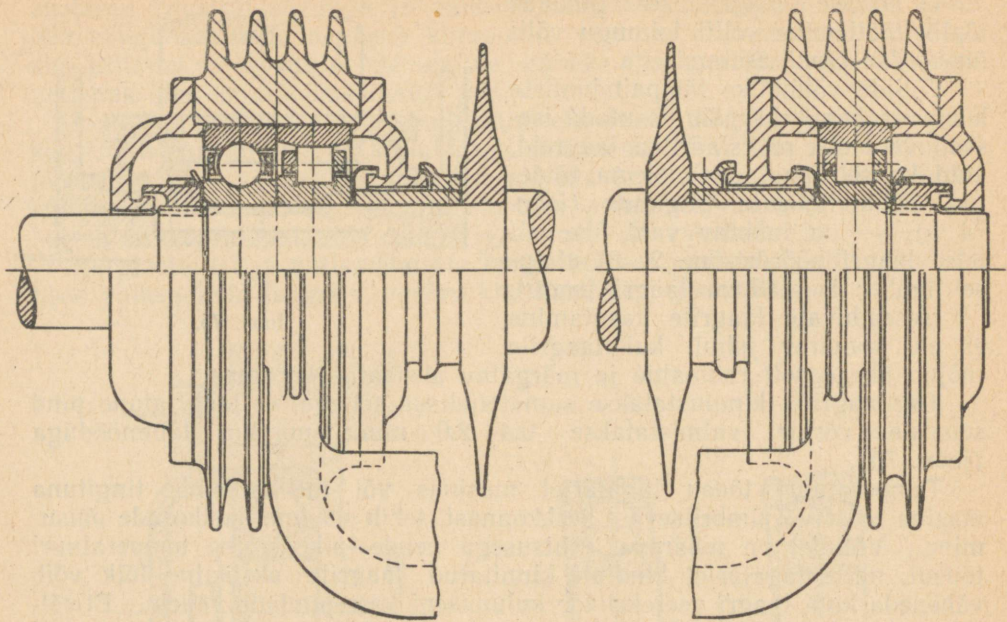
Temperatuuri tõusu tagajärjel masinas või mehhanismis, tingituna masina tööst või ümbritsevast keskkonnast, tekib seadme üksikosade paisumine. Võllidel on määrava tähtsusega nende pikenedamine temperatuuri tõusul, mille tagajärjel kindlalt kinnitatud laagrite aksiaalne lõtk võib väheneda kuni laagri veerekehade kulumiseni veerepindade vahele. Et vältida sel teel tekkida võivaid laagri ülekoormusi, kasutatakse nn. ujuvaid (nihkuvaid) laagreid: üks lager, mis on võimeline vastu võtma ka teatava suurusega aksiaalset koormust, kinnitatakse kindlalt võllile ja laagri kerele, teised laagrid aga omavad laagri keredes aksiaalse liikumisvaba-



Joon. 75.



Joon. 76.

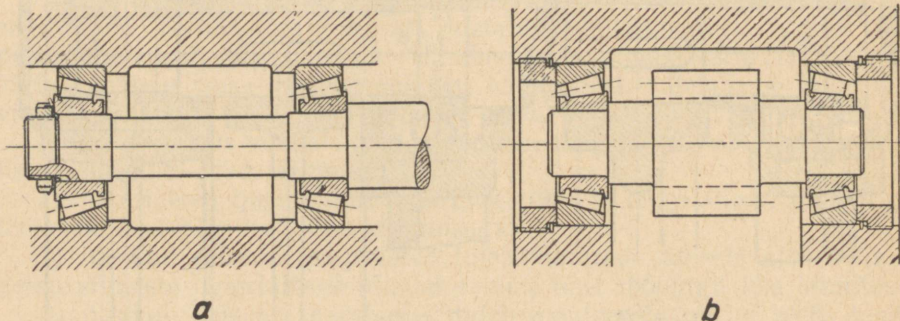


Joon. 77.

duse; olles kindlalt kinnitatud võllile, võimaldavad nad seega „ujuvuse” (nihkumise) laagri keres. Ujuvate laagrite korral valmistatakse laagrialune pind keros C-istu kohaselt (joon. 76).

Ujuvaks laagriks on soovitav valida radiaalselt vähemkoormatud laager, kuna vastasel juhul tekivad hõõrdejõud võivad takistada aksiaalset nihkumist. Ujuva laagri ülesandeid täidab hea eduga silindriliste rullidega rull-laager servadeta välis- või siserõngaga, kusjuures mõlemad rõngad kinnitatakse aksiaalse liikumisvabaduseta (joon. 77).

Aksiaalse reguleerimisvõimalusega laagrite korral (radiaal-tugi- ja rull-laagrid) peab aksiaalne mäng olema reguleeritud sellises suuruses, et



Joon. 78.

teataval kindlal temperatuuri režiimil jääks alles normaalne lõtk. Joonise 78 *a* kohaselt on soovitatav asetada reguleeritavaid laagreid suurte laagritelgedele vahede ja joonise 78 *b* kohaselt väikeste laagritelgedele vahede korral. Laagrite asetuse vastavalt joonisele 78 *b* on üldiselt lubatav sel korral, kui temperatuuri kasv ei ületa lubatavat piiri, s. t. laagri tööolukord on iseloomustatud teatava kindla temperatuurirežiimiga. Antud juhul ei tohi tähele panemata jätta ka vajalikku aksiaalset lõtku tihenduste juures, eriti labürinttihenduse korral.

Laagrite montaaži ja demontaaži hõlbustamiseks ja laagrialuste pindade vigastamise vältimiseks laagrisõlmede koostamisel ja lahtivõtmisel tuleb juba laagrisõlmede projekteerimisel ette näha võimalused laagrite eemaldamiseks ja kohaleasetamiseks.

Laagrialuste pindade servad nii võllil kui kerel peavad olema faasitud.

## 2. Laagrite asetuse skeeme.

Olenevalt võlli toetamise võimalustest, laagreile mõjuvast koormusest, selle suurusest, mõjumise iseloomust ja suunast valitakse vastav laagrite asetuse skeem, mis peab rahuldama antud tingimusi. Laagrite asetuse skeemi lõplikule lahendusele peab eelnema laagri tüüpide ja mõõdete valik ja tuleb määrata kindlaks fikseerivate ja „ujuvate” laagrite asukohad vastavalt varemtoodud põhimõttele.

Joonistel 79—90 on näiteina esitatud mõningad enamkasutatavad laagrite asetuse skeemid.

Kui laagrite kered on omavahel ühendatud, s. o. kui nad on valmistatud seadme kerega ühes tükis, ja on tegemist lühikeste ja jäikade võllidega, kasutatakse võlli radiaalseks toetamiseks tavaliselt kahte radiaalkuullaagrit, millest üks on fikseeriv ja teine liikuv (joon. 79 *a*). Enam kui kahe laagri kasutamine ei ole antud juhul üldiselt soovitatav, kuna üksikuile laagreile ei saa kindlustada ühtlast koormuse jaotust. Mitme laagri kasutamine võib tulla kõne alla ainult juhtudel, kus on vajalik võlli jäikust suurendada, näit. vagunite rataste puksid (joon. 91, 94), valtsid (joon. 83) jne., millega ühtlasi vähendame võlli elastsust.

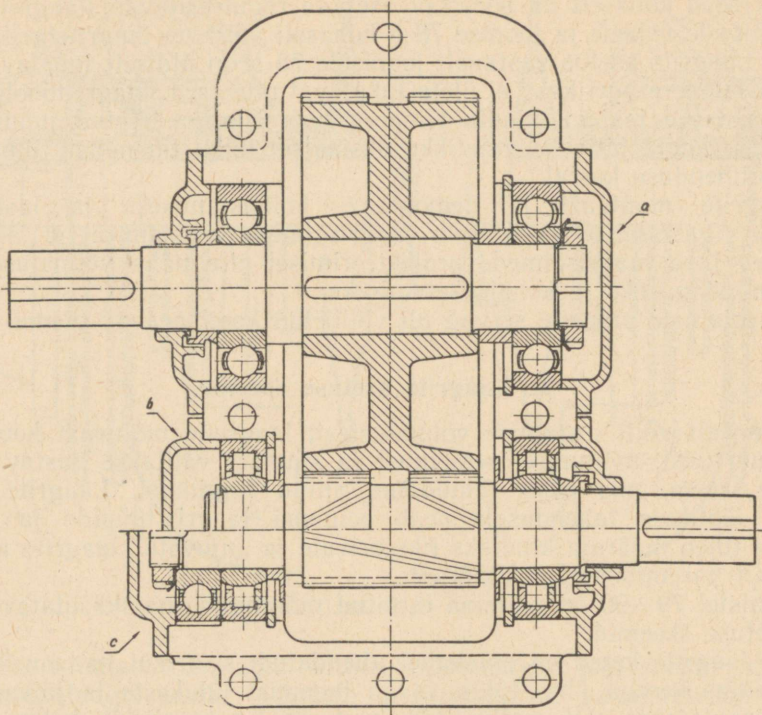
Joonisel 79 *b* on võll asetatud kahele liikuvale laagrile, mis mõningal juhul on vajalik, näiteks noolhammastega hammasajami puhul, kus sellisel tuleb toetada ühte võllidest.

Kui võllile mõjub väike aksiaalkoormus ja viimase vastuvõtmine ei osutu töövõimelisuse seisukohast otstarbekohaseks ühe radiaal-laagriga, võib kasutada eraldi radiaal-kuullaagrit, mis on kohandatud ainult aksiaaljõu vastuvõtmiseks (joon. 79 *c* ja 81).

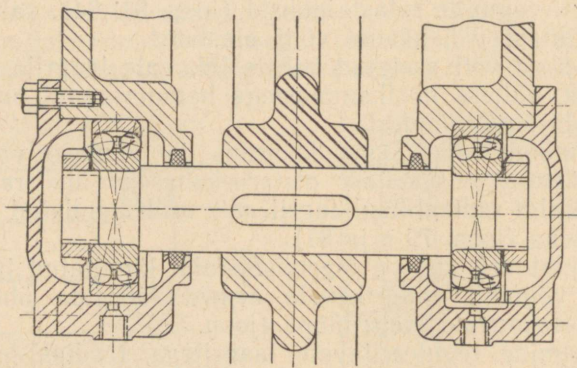
Kõigil neil juhtudel, kus on tegemist eraldi kinnitatud laagri keredega või kus ei ole võimalik laagrikerede avasid töödelda ühe kinnitusega, rakendatakse iseseaduvaid laagritüüpe (joon. 80).

Võllide toetamine reguleeritavate laagritega (radiaal-tugilaagrid) on näidatud joonisel 82. Antud juhul on vajalik laagri välisrõngad kinnitada keres aksiaalsuunas reguleeritavate äärikutega.

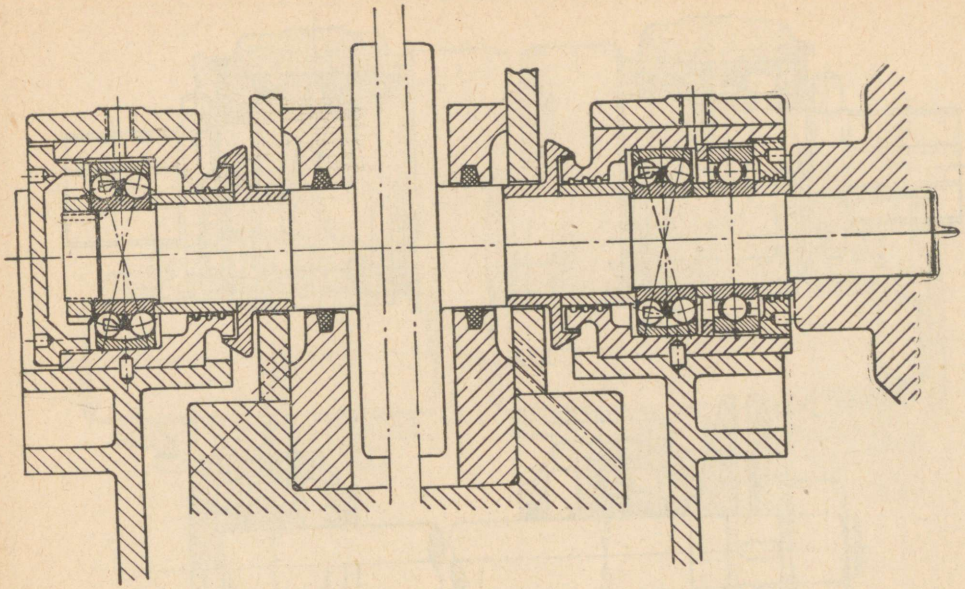
Astmeteta, siledade võllide toetamiseks ja mitmetoeliste võllide juures kasutatakse iseseaduvaid laagreid kooniliste pingutuspuksidega (joon. 84).



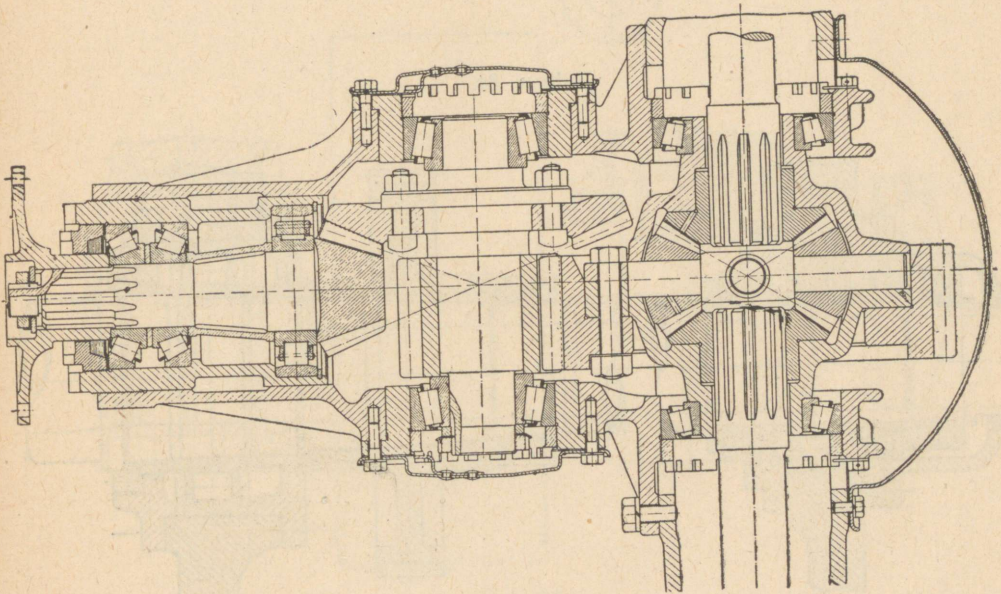
Joon. 79.



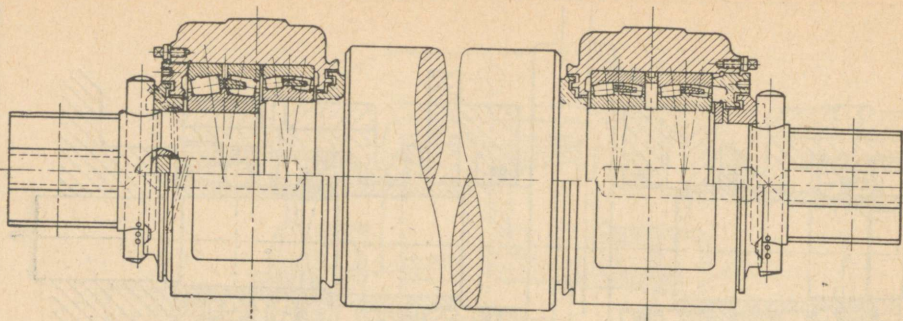
Joon. 80.



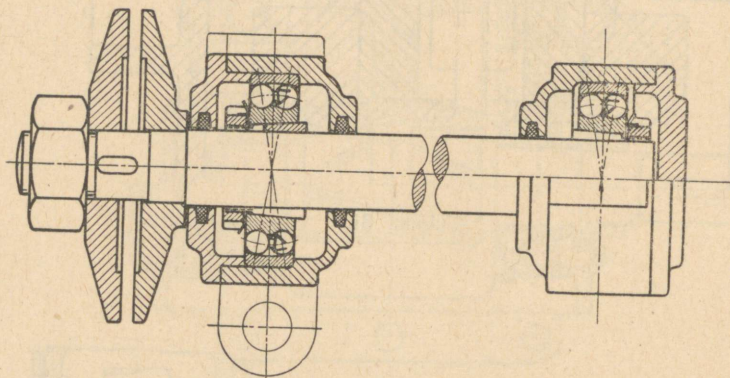
Joon. 81.



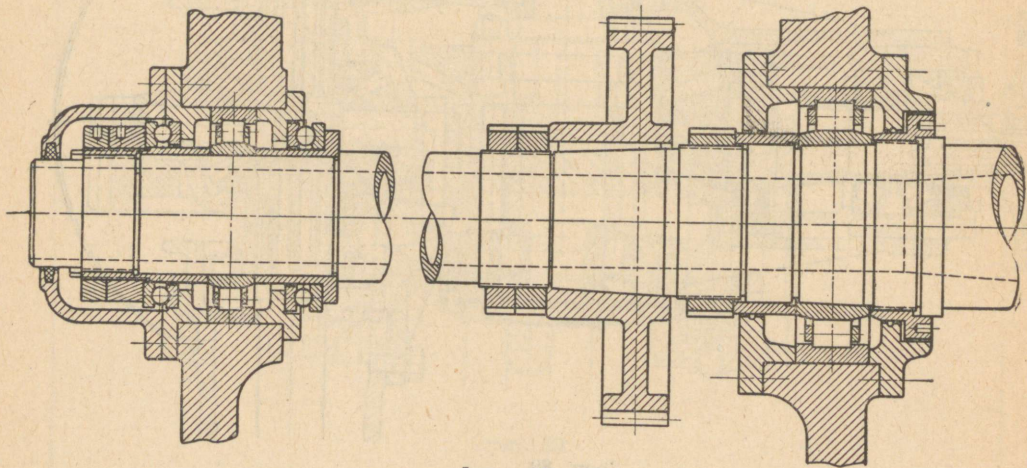
Joon. 82.



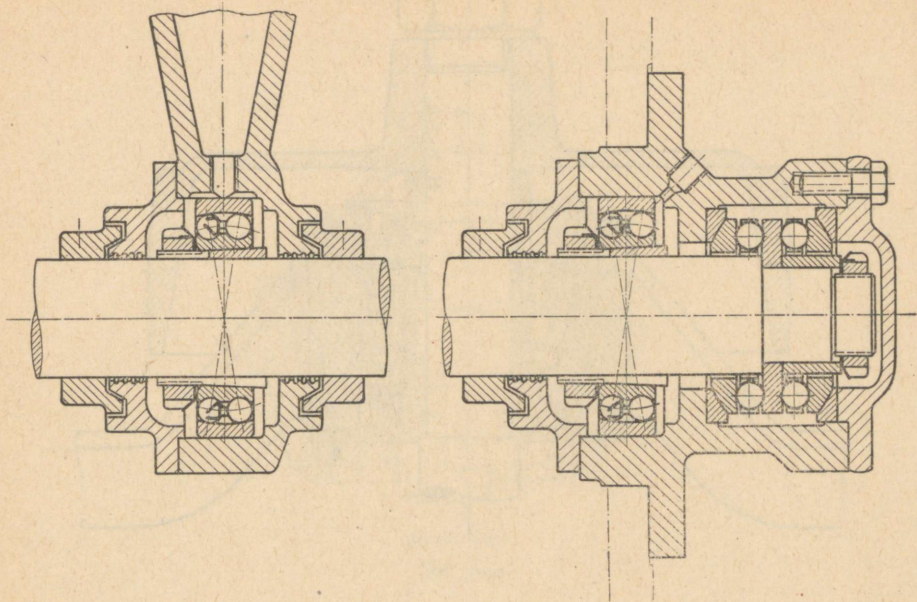
Joon. 83.



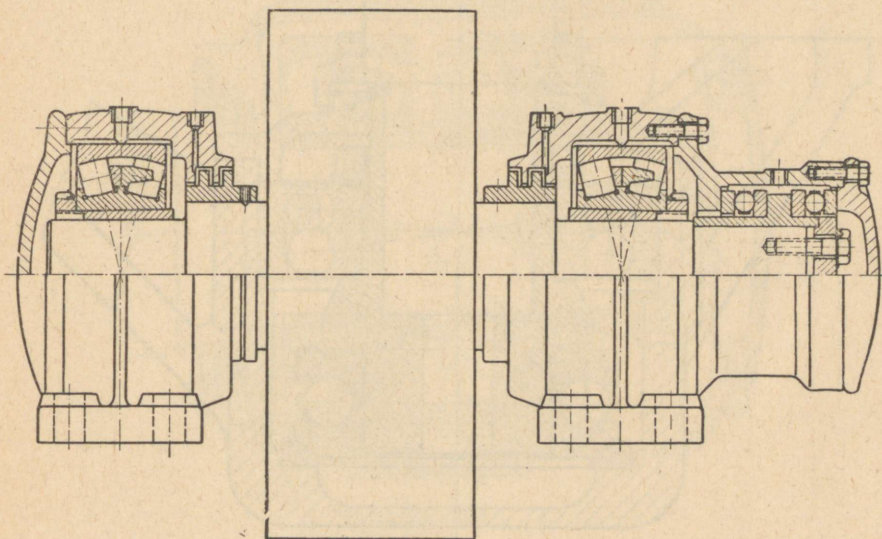
Joon. 84.



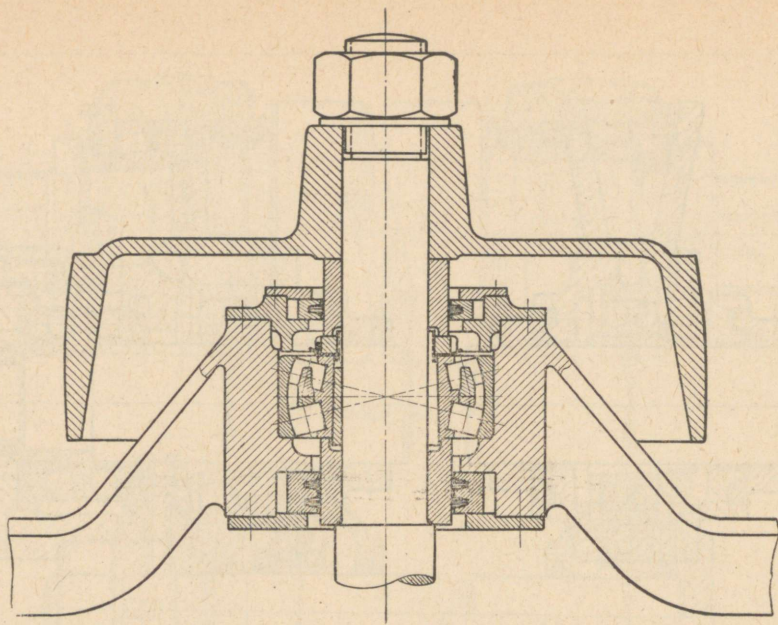
Joon. 85.



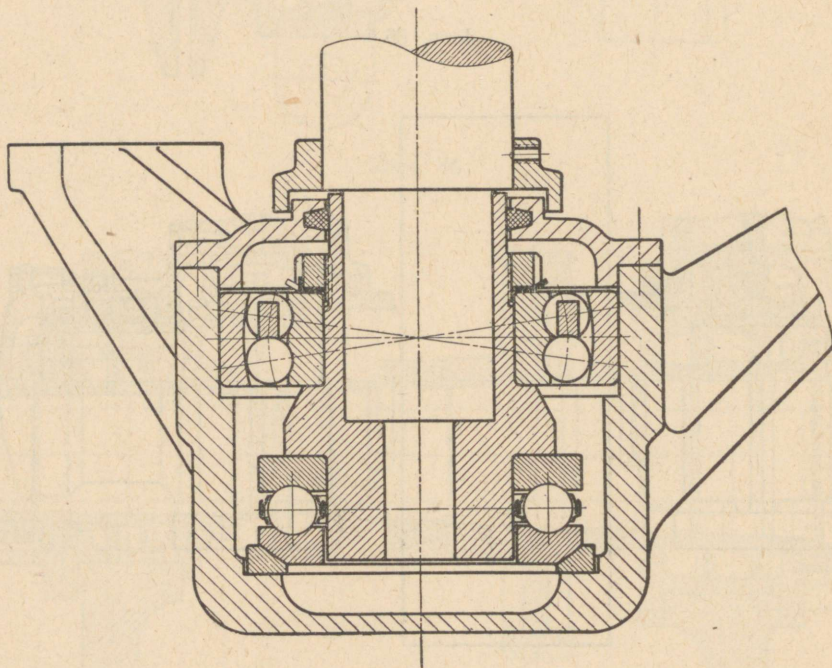
Joon. 86.



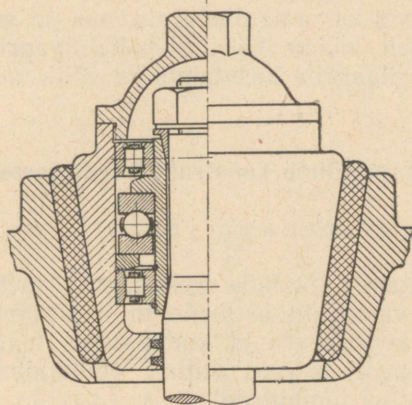
Joon. 87.



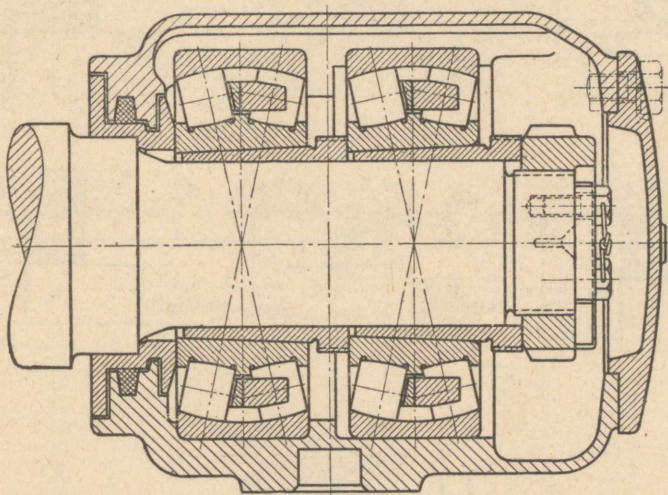
Joon. 88.



Joon. 89.



Joon. 90.



Joon. 91.

Võlle, mis ei tohi omada aksiaalset lõtku, toetatakse radiaalselt tavali- selt liikuvate radiaallaagritega ja kindlustatakse aksiaalne nihkumatus kahekordsete tugilaagritega (joon. 85—87) või suurte pöörete arvude juu- res eelpingestatud radiaal-kuullaagritega.

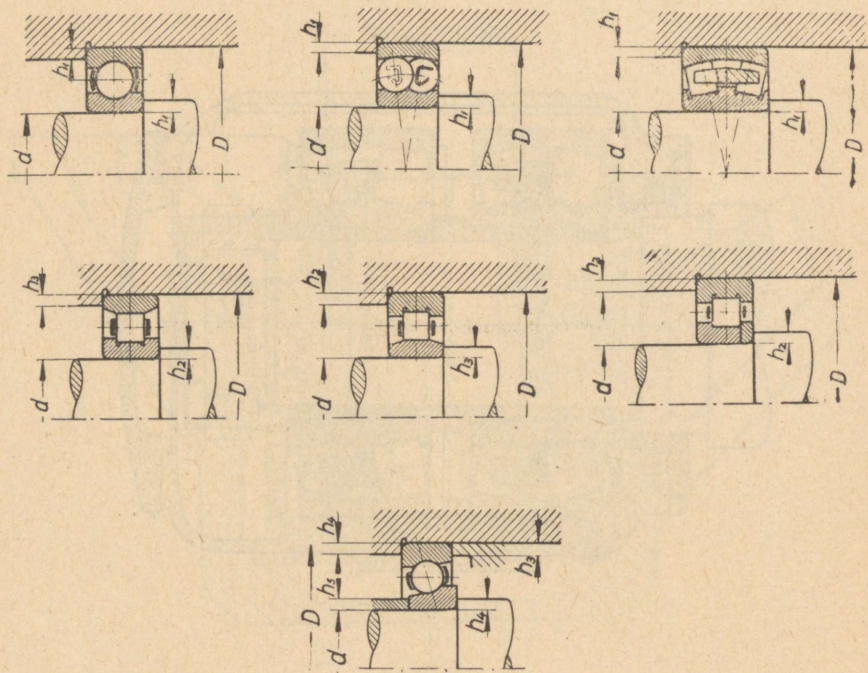
Vertikaalsete võllide aksiaalseks toetamiseks kasutatakse kas tugilaag- reid (joon. 89 ja 90) või ka radiaallaagreid, mis on suutelised vastu võtma aksiaalkoormust. Sageli leiame ka tugi-radiaallaagrite rakendamist, mis- puhul kaob vajadus erilaagrite kasutamiseks võlli radiaalseks toetamiseks.

### 3. Laagrisõlme konstruktiivsed elemendid.

#### a. Laagripesade ja võlli astmed.

Et tagada laagri kaudu jõudude ülekandmist, toetatakse laagri rõngad nii võllil kui ka keres vastavaile astmeile, mille kõrgus peab vastama laagri poolt vastuvõetavale koormusele ja kindlustama laagrite küllaldase tugi- pinna; samal ajal peavad astmed ühtlasi võimaldama kasutada laagrite demontaažiks mehaanilisi tõmbitsaid.

Tabelites 12 ja 13 on esitatud soovitatavad laagripesade ja võlli astmete mõõted radiaal-, radiaal-tugi- ja tugilaagreile.



Joonis tabel 12 juurde.

Tabel 12.

Soovitavad laagripesade ja võlli astmete mõõted radiaal- ja radiaal-tugilaagreile (mõõted mm)

d	Kerge ja kerge lai seeria					Keskmine ja keskmine lai seeria					Raske seeria		
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>
10	2,5	—	—	—	—	2,5	—	—	—	—	—	—	—
12	2,5	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—
15	2,5	—	1,75	3	2	3	—	2	3,5	3,5	—	—	—
17	3	—	1,75	3,5	3	3	—	2,5	4	4	4,5	—	—
20	3	3	2	4	3	3,5	—	2,5	4,5	4	4,5	—	—
25	3	3	2	4,5	3	3,5	4,5	2,5	4,5	4	5	—	—
30	3	3,5	2,5	5	3,5	3,5	5	3	5,5	4	5	7	5
35	3,5	4	2,5	5,5	4	4,5	5,5	3	6	4	5	8	5
40	3,5	5	2,5	6	4	4,5	6	4	7	5	5,5	8,5	5,5
45	3,5	5	2,5	6	4	4,5	6,5	3,5	7,5	5,5	5,5	9	6
50	3,5	5	2,5	6	4	5	7	4	8	6	6,5	9,5	6,5
55	4,5	5,5	3	6,5	4	5	8	4,5	8,5	6	6,5	10	7
60	4,5	6	4	7,5	4,5	6	8,5	5	9	6,5	6,5	11	7
65	4,5	6,5	4	7,5	5	6	9	5	9,5	7,5	6,5	11,5	7,5
70	4,5	6,5	4	8,5	5	6	9,5	5	10,5	7,5	7,5	13	9
75	4,5	6,5	4	8,5	5	6	10	5,5	11	8	7,5	14	9
80	5	7	4	9	5	6	11	5,5	11,5	8,5	7,5	15	9,5
85	5	7,5	5	10	5,5	7	11,5	6,5	12,5	8,5	9,5	15	10
90	5	8,5	5	11	6	7	12	6,5	13,5	9	9,5	16	11
95	6	9	6	12	6,5	7	12,5	7	14,5	9	—	17,5	11,5
100	6	9,5	6	12,5	7	7	14	7,5	16	10,5	—	18	11,5
105	6	10	6	13,5	7,5	7	15	8	16	11	—	18,5	12,5
110	6	11	6	14,5	7,5	7	16	9	17,5	12,5	—	20,5	12,5
120	6	11,5	6	15,5	7,5	7	17	10,5	20,5	12,5	—	22,5	13,5
130	7	12	6	15,5	7,5	9	18	12	—	—	—	25	15
140	7	13	6,5	17,5	8,5	9	19	13	—	—	—	26,5	17
150	7	14,5	7,5	20	9	9	20	13,5	—	—	—	27,5	17,5

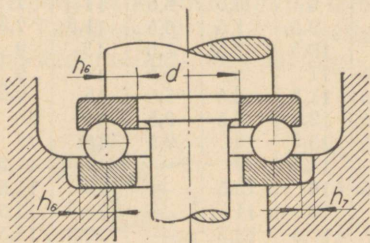
Tabel 13.

Soovitavad laagripesade ja võlli astmete mõõted tugilaagreile (mõõted mm)

d	h <sub>6</sub>			
	eriti kerge seeria	kerge seeria	keskmine seeria	raske seeria
10	4	4,5	—	—
12	4	4,5	—	—
15	4	5	—	—
17	4	5	—	—
20	4	6	—	—
25	5	6	7,5	10
30	5	7,5	10	12,5
35	5	7,5	10	12,5
40	6	7,5	10	15
45	6	7,5	12,5	15
50	6	7,5	12,5	17,5

$d$	$h_6$			
	eriti kerge seeria	kerge seeria	keskmise seeria	raske seeria
55	7,5	10	15	17,5
60	7,5	10	15	20
65	7,5	10	15	22,5
70	7,5	10	15	22,5
75	7,5	10	17,5	22,5
80	7,5	10	17,5	25
85	7,5	12,5	17,5	27,5
90	10	12,5	17,5	27,5
100	10	15	20	30
110	10	15	22,5	32,5
120	10	15	22,5	35
130	12,5	17,5	27,5	37,5
140	12,5	17,5	27,5	37,5
150	12,5	17,5	27,5	40

Märkus:  $h_7$  valida piires 0,2—1 mm.



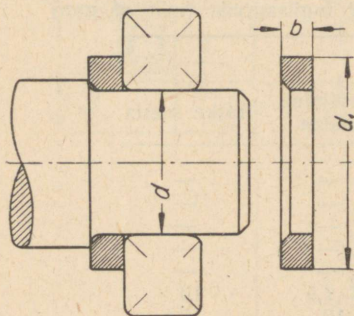
Joonis tabel 13 juurde.

Kui võlli läbimõõt ei võimalda küllaldase kõrgusega astme kujundamist, kasutatakse erilisi tugivõrusid (tabel 14).

Tabel 14.

Tugivõrud (mõõdet mm)

$d$	Kerge seeria		Keskmise seeria		Raske seeria	
	$d_1$	$b$	$d_1$	$b$	$d_1$	$b$
30	36	4	37	4	40	5
35	42	4	44	5	45	6
40	47	4	49	5	51	6
45	52	4	54	5	56	6
50	57	4	60	5	63	8
55	64	5	65	5	68	8
60	70	5	72	6	75	8
65	75	5	78	6	80	8
70	80	5	82	6	85	8
75	85	5	88	6	90	8
80	90	6	95	8	100	10
85	95	6	100	8	105	10
90	100	6	105	8	110	10
95	110	8	110	8	115	10
100	115	8	115	8	120	10
105	120	8	120	8	130	13
110	125	8	130	10	135	13
120	135	8	140	10	145	13



Joonis tabel 14 juurde.

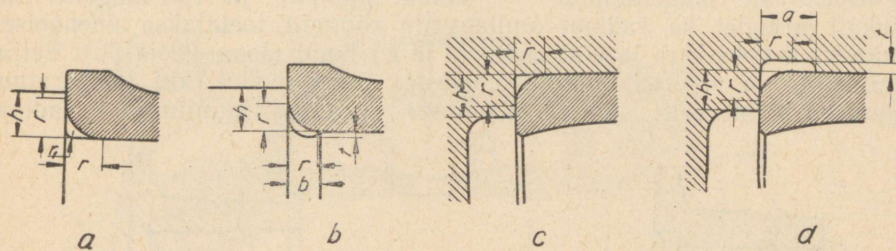
## b. Kere pesade ja völli astmete ümardusraadiused.

Astmeliste völlide korral, nagu teada, omavad astmete ümardusraadiused olulist tähtsust pingete kontsentratsiooni seisukohalt. Astmete ümardusraadiused laagritealuses pinnas on ette määratud laagrirõngaste servade faasi suurusega. Et kindlustada laagri rõnga otspinna täielikku toetumist astme otspinna peab antud juhul astme ümardusraadius olema võrdne või väiksem laagri rõnga faasi minimaalsest koordinaadist (tabel 15).

Küllaldase tugevusvaruga völlide ja kerede puhul, kus pingete kontsentratsioon ristlõigete ülemineku kohtadel ei kujune ohtlikuks, ja kui on nõutav kõrgendatud täpsus (astme lihvitud pinnad), võib ümarduse asemei kasutada soont (tabel 15).

Tabel 15.

Völli astmete ümardusraadiused ja sooned völlil ja keres (mõõted mm)



Laagri võru faas, koordinaat $r$	Astme ümardus	Soon völlil			Soon keres
	$r_{1max}$	$t$	$r_2$	$b$	$a_{max}$
0,5	0,3	—	—	—	1
1,0	0,6	—	—	—	2
1,5	1	0,2	1,3	2	2,5
2,0	1	0,3	1,5	2,4	3
2,5	1,5	0,4	2	3,2	4
3,0	2	0,5	2,5	4	4,5
3,5	2	0,5	2,5	4	5
4,0	2,5	0,5	3	4,7	6
5,0	3	0,5	4	5,9	8
6,0	4	0,6	5	7,4	10
8,0	5	0,6	6	8,6	13
10,0	6	0,6	7	10	16

Vastutusrikastes konstruktsioonides (vagunite teljed, valtspinkide rullid jt.), kus pingete kontsentratsioonide suurus tuleb viia miinimumini, kujundatakse laagri rõnga otspinna toetus erielemendi — tugivõru kaudu (joon. 91), mispuhul võib völli ristlõike ülemineku kujundada vajaliku sujuvusega.

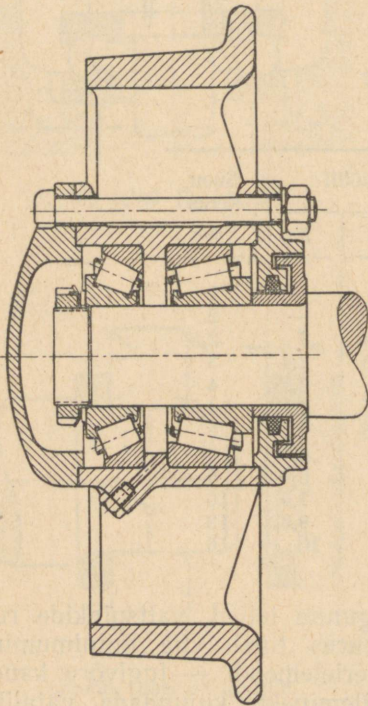
### c. Laagri kinnitamine völli ja keresse.

Aksiaal jõudude korral, eriti vibreerival ja löögilisel koormusel, tuleb laagri rõngaste võimaliku aksiaalse nihkumise vältimiseks viimased kinnitada völli ja keresse.

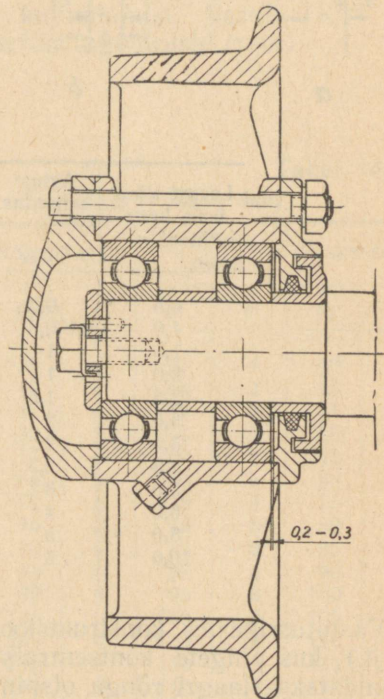
Laagri rõngaste aksiaalne nihkumine võib aset leida ka küllalt suure pinguga istatud laagri rõngaste juures.

Olenevalt laagri ülesannetest, kinnitatakse kas mõlemad rõngad (fikseerivad ja lahtivõetavad „ujuvad” laagrid) või ainult siserõngas („ujuvad” mittelahtivõetavad laagrid). Laagrirõngaste kinnitusviis tuleb valida olenevalt koormuse suurusest, suunast ja iseloomust, pöörete arvust minutis, laagri tüübist, völli asetusest (horisontaalne, vertikaalne), laagrite asetusest völli ja tehnoloogilistest võimalustest sõlme kujundamisel. Kinnitusviis peab olema seda kindlam, mida suurem on laagri koormus ja pöörete arv.

Laagri tüüp mõjutab tunduvalt rõngaste kinnituskonstruktsiooni valikut. Reguleeritavate laagritüüpide — radiaal-tugikuul- ja rull-laagrite ning arvukail juhtudel ka radiaal-kuullaagrite rõngaid toetatakse ühepoolset, kasutades selleks kere ja völli astmeid ja äärikuid (joon. 92 ja 93). Selline kinnitusviis on võimalik ainult lühikeste völli puhul, kui temperatuuri mõjutused ei ole eriti suured. Kasutades esitatud kinnitusviisi radiaal-



Joon. 92.



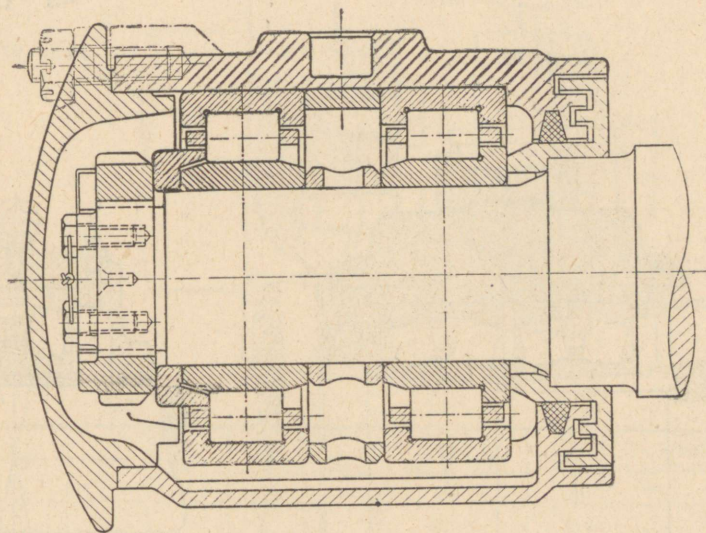
Joon. 93.

kuullaagrite kinnitamiseks, on soovitatav laagrite eelpingestuse vältimiseks ette näha pilu ühe laagri välisrõnga ots- ja tugipinna vahel ( $\delta = 0,2-0,3$  mm, joon. 93).

Analoogilist kinnitusviisi võib kasutada ka silindriliste rullidega rullaagrite rõngaste kinnitamisel juhul, kui on tegemist mitteavatavate või ühepoolselt avatavate laagritega.

Kõigil teistel juhtudel tuleb kinnitada mõlemad laagrirõngad, kasutades selleks nii kere ja võlli astmeid kui ka vastavaid erikonstruktsiooniga kinnituselemente, mutrite, vetruvate seibide, kooniliste muhvide ja võlli otsseibide näol.

Kõige levinumaks laagri rõnga võllile kinnitamise abinõuks on mitmesugused mutrid, kiilud ja tugirõngad (joon. 94—96). Mutri mõõted ja keerme liik valitakse vastavalt mõjuvale koormusele. Kui mutri ülesandeks on peale laagri kinnituse veel ka laagri reguleerimine, tuleb keermeks valida peenkeere ja mutri lukustus kujundada nii, et see võimaldaks täpset laagri reguleerimist.



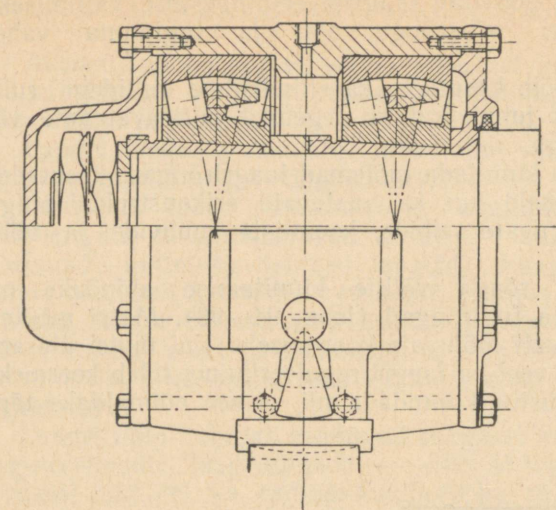
Joon. 94.

Juhul, kui keerme läbimõõt võllil vastab koonilise kinnituspuksi keerme läbimõõdule (OCT 26 001), võib kasutada standardiga OCT 26 002 normitud laagrimutreid ja lukustusseibe (joon. 97).

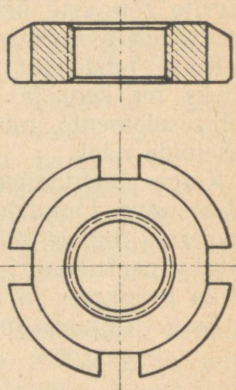
Kui laagri kere sisemõõted ei võimalda mutrite kasutamist, kasutatakse võlli otsseibe, mis võivad olla kas lihtsad tasapinnalised või erijuhtudel ka kujuseibid.

Võlli otsseibid kinnitatakse kruvide abil.

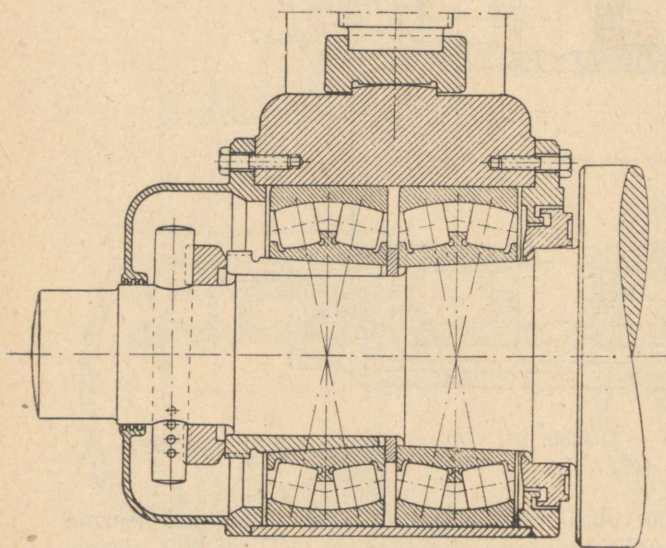
Võlli otsseibide kasutamine, konstruktsioon ja mõõted on esitatud tabelis 16.



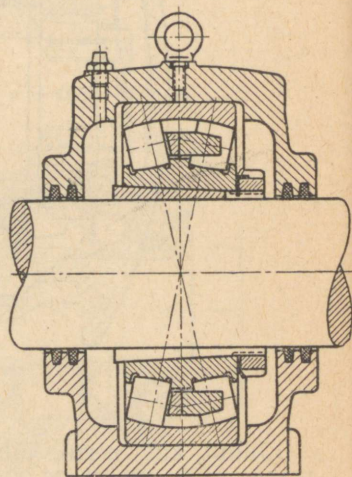
Joon. 95.



Joon. 97.



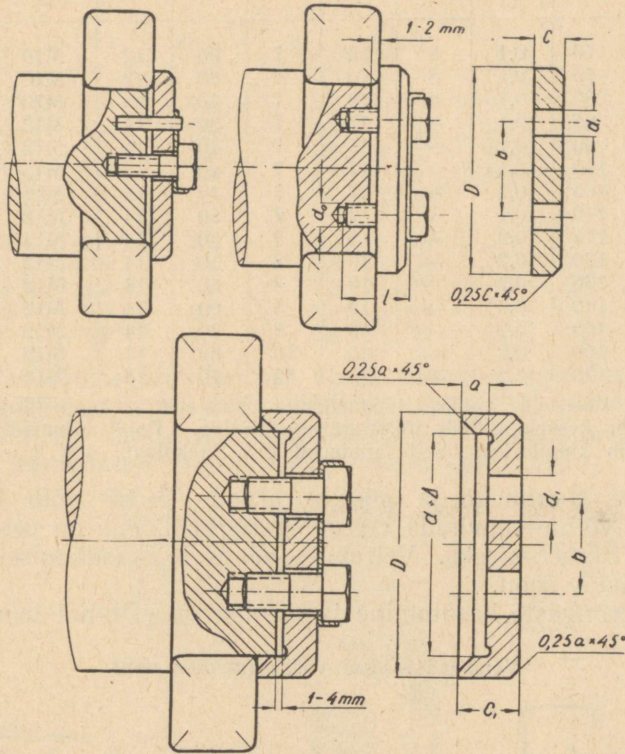
Joon. 96.



Joon. 98.

Laagrite kinnitus siledatele (astmeteta) võllidele toimub eriliste kinnituspuksidega (OCT 26 001 — joon. 98). Antud juhul kinnitub laager võllile hõõrdejõu tõttu, mille saavutame koonilise välispinnaga puksi pingutamise ja laagri siserõnga koonilisse avasse. Kinnituspuksed on soovitatav kasutada mitte suurtel aksiaalkoormustel.

Võlli otsseibid (mõõted mm)



d	D	A	C	C <sub>1</sub>	a	b	d <sub>1</sub>	Poldid	
								d <sub>0</sub>	l
15	20	—	4	—	—	—	5	M4 (M6)	12 (15)
17	25	—	4	—	—	—	5	M4 (M6)	12 (15)
20	28	—	5	—	—	—	5	M4 (M6)	12 (15)
25	32	—	5	—	—	—	5	M4 (M8)	12 (15)
30	40	—	6	—	—	—	7	M6 (M8)	15 (15)
35	45	—	6	—	—	—	7	M6 (M10)	15 (20)
40	50	—	6	—	—	—	6	M6 (M11)	15 (20)
45	55	—	8	—	—	25	7	M6	15
50	60	—	8	—	—	25	7	M6	15
55	65	—	8	—	—	25	12	M10	20

Tabel 16 järg.

$d$	$D$	$A$	$C$	$C_1$	$a$	$b$	$d_1$	Poldid	
								$d_0$	$l$
60	70	0,1	8	16	7	25	12	M10	20
65	75	0,1	8	16	7	30	12	M10	20
70	80	0,1	8	16	7	30	12	M10	20
75	85	0,1	—	17	7	30	14	M12	25
80	90	0,1	—	17	7	40	14	M12	25
85	100	0,1	—	17	7	40	14	M12	25
90	105	0,1	—	17	7	40	14	M12	25
95	110	0,1	—	17	7	50	14	M12	25
100	115	0,2	—	19	8	50	14	M12	25
105	120	0,2	—	19	8	50	14	M12	25
110	130	0,2	—	19	8	50	14	M12	25
120	140	0,2	—	19	8	60	14	M12	25
130	150	0,2	—	19	8	60	14	M12	25
140	160	0,2	—	25	10	60	14	M12	25
150	170	0,2	—	25	10	70	16	M14	30

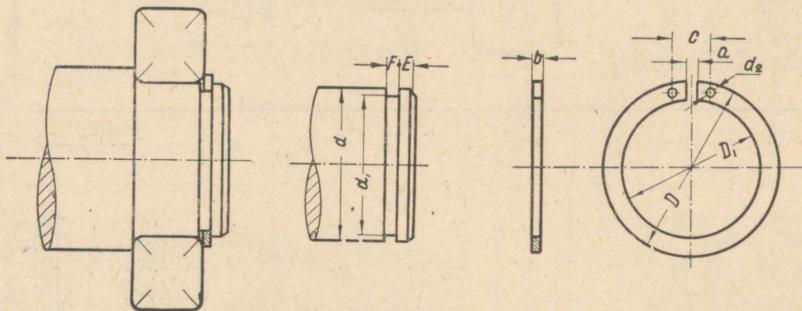
Märkus: otsseibid võllile, läbimõõduga kuni 40 mm, võib kinnitada ühe poldiga seibi keskele. Seib tõkestatakse tihvtiga. Poldi läbimõõt ja pikkus on antud tabelis klambrites. Seibi materjal C3, lukkplaat — C2.

Väiksemate koormuste ja pöörete arvude korral võib laagri rõnga kinnitamiseks võllile soovitada vetruvaid rõngaid, mis on peamiselt mõeldud laagrite fikseerimiseks. Vetruvate rõngaste kasutamisel tuleb võlli valmistada vastav soon.

Vetruvate rõngaste kasutamine ja mõõted on esitatud tabelis 17.

Vetruvad rõngad võllile (mõõted mm)

Tabel 17.



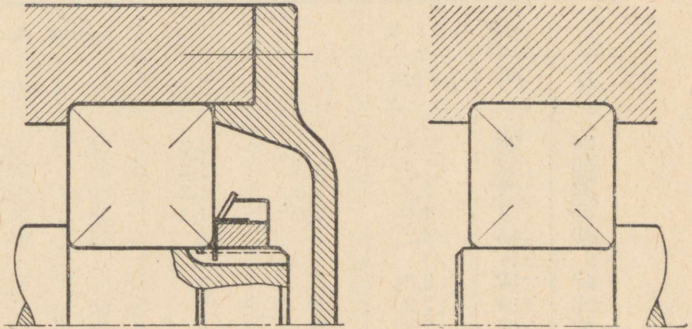
Võlli soon				Vetruv seib					
$d$	$d_1$	$F^{+0,05}$	$E_{\min}$	$b_{-0,05}$	$D$	$D_1$	$d_2$	$a$	$c$
12	11	1,1	1,2	1	15	10	1,5	1	4,5
15	14	1,1	1,2	1	19	13	2	1	5
17	16	1,1	1,2	1	21	15	2	1	5
20	18	1,2	1,5	1,2	23	17	2	2	7
25	23	1,3	1,5	1,2	29	22	2	2	8
30	28	1,8	1,8	1,7	34	27	2	2	8

Tabel 17 järg.

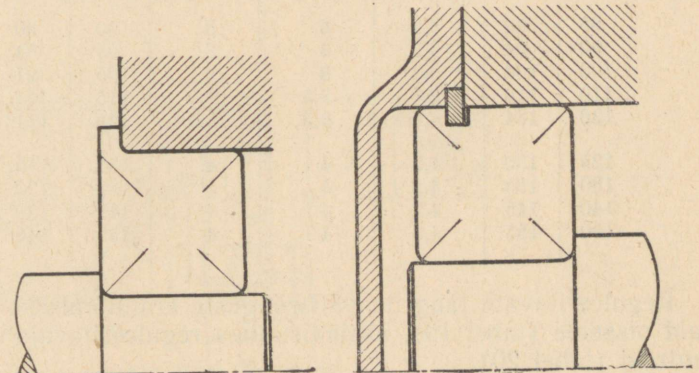
Võlli soon				Vetruv seib					
$d$	$d_1$	$F^{+0,05}$	$E_{\min}$	$b_{-0,05}$	$D$	$D_1$	$d_2$	$a$	$c$
35	33	1,8	1,8	1,7	39	32	2	2	8
40	37	2,4	2,5	2,3	45	36	2,5	2,5	10
45	42	2,4	2,5	2,3	50	41	2,5	2,5	10
50	47	2,4	2,5	2,3	55	46	2,5	2,5	10
55	52	2,4	2,5	2,3	61	51	3	2,5	11
60	57	2,4	2,5	2,3	66	56	3	2,5	11
65	62	2,9	3,0	2,8	71	61	3,5	3	12
70	67	2,9	3,0	2,8	76	66	3,5	3	12
75	72	2,9	3,0	2,8	81	70	3,5	3	12
80	77	2,9	3,0	2,8	86	75	3,5	3	12

Laagri välisrõnga kinnitamisel laagri kesse rakendatakse enamal juhul kere laagripesa astmeid ja äärikuid (joon. 99). Juhul, kui astme valmistamine laagri pessa on raskendatud, võib kasutada laagreid, kus välisvõru on kujundatud vastava tugiäärikuga (joon. 100).

Joon. 99.



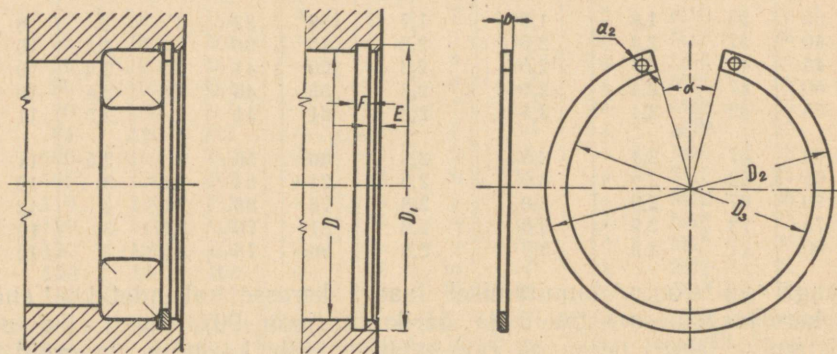
Joon. 100.



Laagrite fikseerimise otstarbel leiavad rakendamist ka vetruvad rõngad (tabel 18), kuid nad ei ole mõeldud suuremate aksiaaljõudude vastu võtmiseks.

Tabel 18.

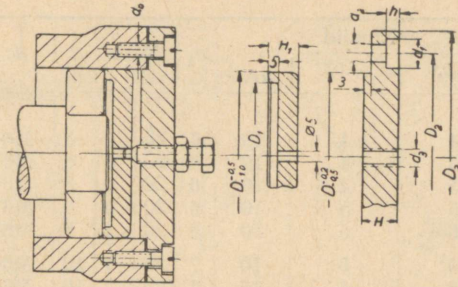
Vetruvad rõngad kerosse (mõõted mm)



K e r e				Vetruv rõngas				
D	D <sub>1</sub>	F <sup>+0,05</sup>	E <sub>min</sub>	b <sub>-0,05</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	d <sub>2</sub>	α
26	28	1,3	1,5	1,2	29	22	2	40°
30	32	1,3	1,5	1,2	33	26	2	40°
32	34	1,3	1,5	1,2	35	28	2	40°
35	37	1,6	1,5	1,5	38	31	2	40°
40	43	2,2	2	2	44	35	2,5	40°
47	50	2,2	2	2	51	42	2,5	40°
52	55	2,2	2	2	56	47	2,5	40°
62	65	2,2	2	2	66	57	3	30°
72	75	2,7	2,5	2,5	76	66	3	30°
80	84	2,7	2,5	2,5	85	75	3,5	30°
85	89	3,2	3	3	90	80	3,5	30°
90	94	3,2	3	3	95	84	3,5	30°
100	104	3,2	3	3	105	91	4	30°
110	114	3,7	3,5	3,5	115	101	4	30°
120	124	3,7	3,5	3,5	125	111	4	30°
125	130	4,2	4	4	132	115	5	30°
130	135	4,2	4	4	137	120	5	30°
140	145	4,2	4	4	147	130	5	30°
150	155	4,2	4	4	157	140	5	30°

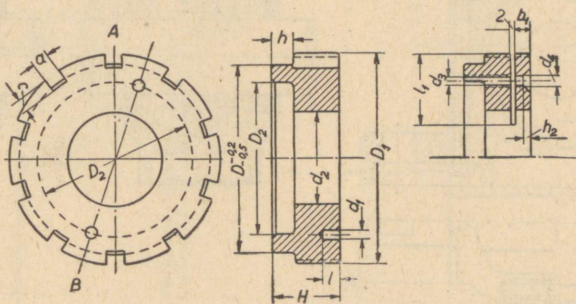
Reguleeritavate laagrite välisrõngaste kinnitamiseks kasutatakse vastavaid otsseibe (tabel 19), aksiaalsuunas reguleeritavaid äärikuid või äärikmutreid (tabel 20).

Otsseibid välisrõngastele (mõõted mm)



D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	d <sub>1</sub>	H	H <sub>1</sub>	h	d <sub>2</sub>	Kruvid	
									d <sub>0</sub>	z
47	38	60	78	13	14	12	8	9	M8	3
52	42	65	82	13	14	12	8	9	M8	3
62	52	75	92	13	14	13	8	9	M8	3
72	60	90	115	16	17	13	10	11	M10	3
80	70	98	120	16	17	14	10	13	M12	3
85	75	105	130	19	17	14	12	13	M12	3
90	78	110	135	19	19	15	12	13	M12	3
100	86	120	145	19	19	15	12	13	M12	3
110	96	130	155	19	19	15	12	13	M12	4
120	105	140	165	19	22	16	12	13	M12	4
125	110	145	170	19	22	16	12	13	M12	4
130	115	150	175	19	22	16	12	13	M12	4
140	125	160	185	19	22	18	12	13	M12	4
150	135	170	195	19	22	18	12	13	M12	4

Märkus: d<sub>3</sub> arvutada vastavalt mõjuvale aksiaalsele jõule.



Joonis tabel 20 juurde.

## Äärik-mutrid

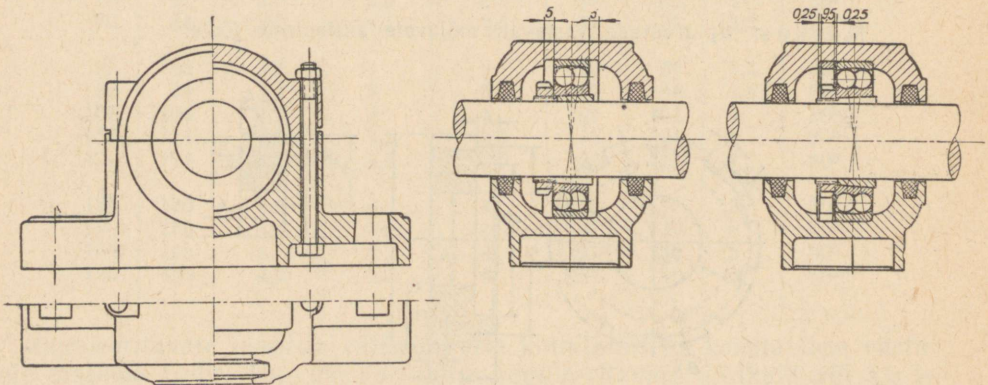
D mm	Kruvi- keere D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	Nüüdid			d <sub>1</sub>	H	h	l	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	h <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	l <sub>1</sub>
			a <sup>+0,1</sup>	c <sup>+0,1</sup>	arv									
47	3M52	38	4	4	10	6	20	5	8	M6	6,5	3,5	5	18
52	4M56	42	5	4	10	6	20	5	8	M6	6,5	3,5	5	18
62	4M68	50	5	4	10	6	20	5	8	M6	6,5	3,5	5	20
72	4M76	60	5	5	10	6	20	5	8	M6	6,5	3,5	5	25
80	4M85	68	6	5	10	6	20	5	8	M6	6,5	3,5	5	28
85	4M90	75	6	5	10	7	25	7	10	M6	6,5	3,5	5	30
90	4M95	78	6	5	10	7	25	7	10	M6	6,5	3,5	5	30
100	4M105	86	6	5	15	7	25	7	10	M6	6,5	3,5	5	30
110	4M115	96	6	5	15	7	25	7	10	M6	6,5	3,5	5	35
120	4M125	105	6	5	15	8	30	10	12	M8	8,5	4,5	6	35
125	4M130	110	6	5	15	8	30	10	12	M8	8,5	4,5	6	40
130	4M135	115	6	5	15	8	30	10	12	M8	8,5	4,5	6	40
140	4M145	125	6	5	15	8	30	10	12	M8	8,5	4,5	6	45
150	3M155	135	6	5	15	8	30	10	12	M8	8,5	4,5	6	45

## d. Laagrite kered ja äärikud.

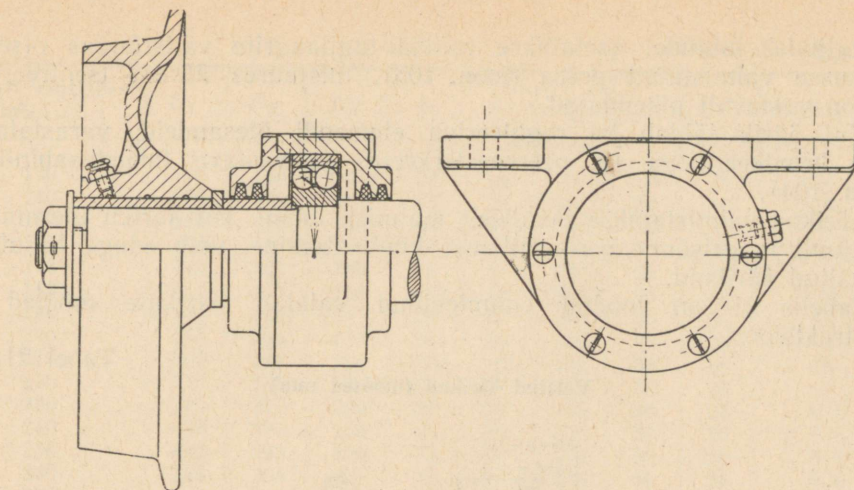
Juhul, kui laagripesad pole võimalik valmistada mehhanismiga ühises keres, kasutatakse eraldi valmistatud laagrikeresid.

Laagrikered võivad olla kas poolitatud (joon. 101) või poolitamata (joon. 102).

Poolitatud laagrikered sfäärilistele kuul- ja rull-laagritele kinnituspüksidega on normitud OCT 26 003 järgi (joon. 101). Poolitatud laagrikerede nomenklatuuri vähendamise ja tüüpmodete unifitseerimise eesmärgil kasutatakse samamõõtelisi laagrikeresid nii liikuvaile kui ka fikseerivaile laagreile. Viimasel juhul asetatakse laagripesa laiuse vähendamiseks



Joon. 101.

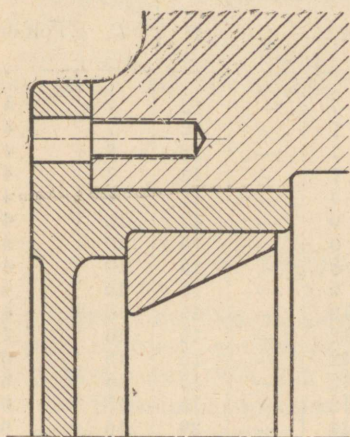


Joon. 102.

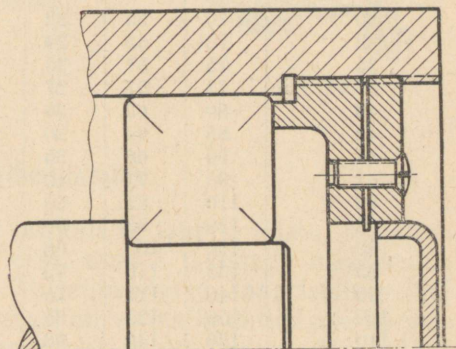
pesasse tugirõngas, laiusega 9,5 mm, mis on ühine kõigile laagrikeredele. Kinnituspuksideta sfääriliste laagrite ja radiaallaagrite jaoks võib kasutada samasuguseid kered kui kinnituspuksidega laagreile. Niisugustel juhtudel valitakse kered võlli läbimõõdu  $d$  järgi, kusjuures kere avad treitakse suuremaks.

Poolitamata laagrikerede kasutamisel (joon. 102), samuti ka laagrite asetamisel mehhanismiga ühisesse kerre, tuleb laagri kinnitamiseks ja laagrisõlmes vajaliku tiheduse saavutamiseks rakendada vastavaid äärikuid.

Olenevalt laagri montaaži ja teenindamise tingimustest kasutatakse äärikuid ka poolitatud laagrikeredel.



Joon. 103.



Joon. 104.

Paljudel juhtudel asetatakse radiaal-tugilaagrite välisrõngas otseselt äärikusse valmistatud pessa (joon. 103), misjuures ääriku tsentreerivat osa on vastavalt pikendatud.

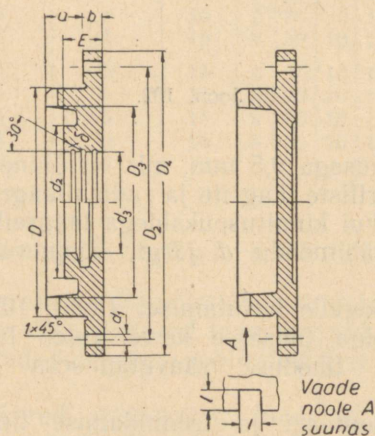
Kui äärik täidab ka reguleeriva elemendi ülesandeid, varustatakse äärik kruvikeermega (2. peenmeeterkeere) ja vastava lukustusabinõuga (joon. 104).

Äärikud valmistatakse tavaliselt malmist. Juhul, kui ääriku ülesandeks on ainult laagrisõlme hermeetilisuse kindlustamine, võib eduga kasutada stantsitud äärikuid.

Tabelis 21 on toodud enamlevinud valatud äärikute mõõted ja konstruktsioon.

Tabel 21.

Valatud äärikud (mõõted mm)



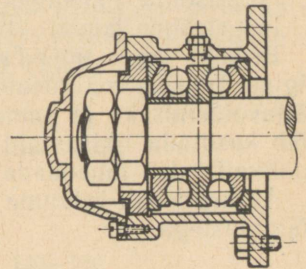
Laagri välisläbi- mõõt D	$D_1$	$D_2$	$D_3$	b	$d_1$	$d_2$	E	l	Poltide arv
30	70	55	22	8	7	—	12	7	4
32	70	55	24	8	7	—	12	7	4
35	75	57	25	8	7	—	12	7	4
37	75	57	27	8	7	—	12	7	4
40	80	62	30	10	7	—	12	7	4
42	85	64	30	10	9	—	12	10	4
47	90	68	35	10	9	—	15	10	4
52	95	72	40	10	9	—	15	10	4
62	110	85	50	10	9	—	15	10	4
72	120	95	60	10	12	—	15	10	4
80	130	105	68	12	12	—	15	10	4
85	135	110	73	12	12	—	15	15	6
90	140	115	75	12	12	—	15	15	6
100	150	125	85	12	12	—	15	15	6
110	170	140	96	12	14	—	20	15	6
120	180	150	105	14	14	—	20	15	6
125	185	155	105	14	14	—	20	15	6

Tabel 21 järg.

Laagri välisläbimõõt $D$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$b$	$d_1$	$d_2$	$E$	$l$	Poltide arv
130	190	160	110	16	14	—	20	15	6
140	205	170	118	16	14	—	20	15	6
150	220	185	128	16	18	—	20	15	6
160	230	195	135	18	18	—	25	20	6
170	240	205	145	18	18	110	25	20	6
180	255	215	150	18	18	130	25	20	6
190	265	225	165	20	18	140	25	20	6
200	275	235	175	20	18	145	25	20	6
215	300	255	185	20	18	155	30	20	6
225	310	265	195	20	18	155	30	20	6
230	315	270	200	20	18	165	30	20	6 8
240	330	285	205	20	23	170	30	20	6 8
250	340	295	210	22	23	170	30	20	6 8
260	355	305	220	22	23	170	30	20	6 8
270	365	315	230	22	23	180	30	20	6 8
280	380	325	240	22	23	180	30	20	6 8
290	390	340	250	24	25	180	30	20	6 8
300	400	350	260	24	25	180	30	20	6 8

- Märkused: 1. Läbimõõt  $d_k = d + 1$  mm, kus  $d$  on võlli läbimõõt.  
 2. Mõõt  $a$  valitakse olenevalt sellest, kas on tegemist fikseeriva või „ujuva” laagriga.  
 3. Ääriku materjal — C 12—28.  
 4. Oli tagasivoolu kanal ( $\delta$ ) peab ääriku kohaleasetamisel jääma võlli alla.

Analoogiliselt radiaallaagritega valmistatakse ka tugilaagreile eraldi kered. Raske seeria tugilaagrite kered on normitud OCT 26 004 järgi (joon. 105). Tugilaagri keres peab igal juhul olema ette nähtud võimalus laagri aksiaalse lõtku reguleerimiseks.



Joon. 105.

#### 4. Laagrisõlme tihendamine.

Laagrisõlme tihendamise ülesandeks on kaitsta laagrit tolmu, mustuse, metallipuru, niiskuse, aurude ja hapete eest, samuti takistada määrdeaine väljavalgumist keres võlli ava kaudu. Mittetihendatud laagrisõlmes või mittevastava tihendamismooduse kasutamisel on võimalik ohtlikkude kõrvalolluste sattumine laagrisse, mille tagajärjel tekib laagri tööpindade abrasiivne kulumine või korrosioon; määrdeaine väljavalgumise tagajärjel

võib laager jääda töötama kuivalt, mis samuti põhjustab laagri ea lühenemist või isegi avariid.

Laagrisõlme tihendamine on vajalik ka juhul, kui määrdeaine sattumine mehhanismi on keelatud (näiteks elektrimootorid, kuivad hõõrdajamid, kuivad sidurid ja pidurid jms.).

Laagrisõlme valitud tihendamismoodus peab kooskõlas laagri konstruktsiooniga kindlustama tihendamisel nõutud ülesannete täitmise. Tihend ise peab olema konstruktsioonilt lihtne ja odav valmistamisel. Siinjuures tuleb aga kohe märkida, et lihtsat ja odavat, samal ajal aga ükskõik millistele töötingimustele vastavat tihendi konstruktsiooni ei ole veel kujundatud. Mida raskemad on laagri töötingimused, seda keerukama konstruktsiooniga ja seda kallim on tihendus.

Kõige enam kasutatakse laagrisõlmede tihendamiseks järgmisi vahendeid ja mooduseid:

- a) kaitseseibid;
- b) rõngaspilud ja -sooned;
- c) elastsed rõngad;
- d) manset-tihendid;
- e) labürint-tihendid;
- f) metallsurverõngad;
- g) kombineeritud tihendid.

Ühe või teise tihendi tüübi valik oleneb põhiliselt laagri ekspluatatsiooni tingimusi iseloomustavatest teguritest ja nimelt:

laagri pöörete arvust,

laagri määrimismoodusest ja määrdaaine keemilis-füüsikalistest omadustest,

laagrisõlme töötemperatuurist ja ümbritseva keskkonna iseloomust,

laagrisõlme konstruktiivsetest iseärasustest.

Erikoha omab tihendamismooduse valiku küsimus, sõltuvalt määrdeaine liigist. Tahkete määrdeainete puhul, mis omavad üldiselt vähem kalduvusi väljavoolamiseks ja samal ajal täidavad tihedalt keres esinevad pilud, võib kasutada lihtsamaid tihendeid kui vedelate määrdeainete puhul. Eriti hoolikalt tuleb lahendada tihendamiseküsimus vertikaalsetel võllidel.

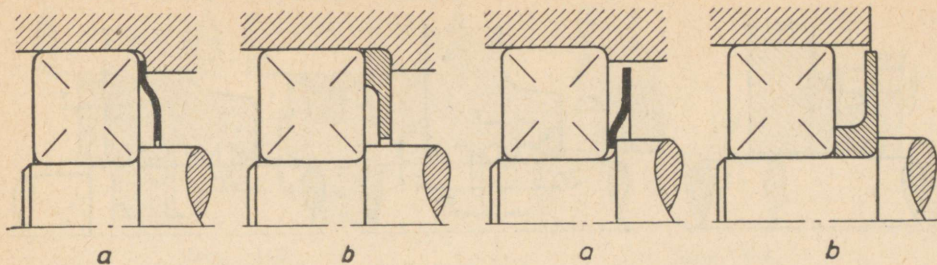
Alljärgnevalt tutvume lähemalt üksikute tihenditega ja nende kasutamisevõimalustega.

#### a. Seisvad ja pöörlevad kaitseseibid.

Seisvad kaitseseibid (joon. 106), kinnitatud laagri välisrõnga otspinna ja kere astme vahele, moodustavad mehaanilise takistuse määrdeaine väljavoolamise ja juhuslike kõrvalolluste sattumise vastu laagrisse.

Kaitse-efekt on seda suurem, mida väiksem on radiaalne lõtk seibi ava ja pöörleva võlli vahel. Radiaalse lõtku suurus tuleb valida nii, et oleks kindlustatud lõtku olemasolu ka temperatuuri muutuste tagajärjel tekkinud paisumistel.

Seisvaid kaitseseibe leiame kinnitatuna ka laagri välisrõngas (tüüp 60 000 ja 80 000).



Joon. 106.

Joon. 107.

Neid kasutatakse tahkete määrdeainete korral võlli ringkiirustel 5 kuni 6 m/sek.

Pöörlevad kaitseseibid (joon. 107), kinnitatud laagri siserõnga otspinna ja võlli astme vahele, moodustavad analoogiliselt seisvate kaitseseibidega mehaanilise kaitsevahendi, millele lisandub veel tsentrifugaaljõudude toime, paisates eemale seibile sattunud määrdeaine.

Pöörlevaid kaitseseibe kasutatakse vedelate määrdeainete korral võlli ringkiirustel üle 6 m/sek.

Üldiselt leiavad kaitseseibid rakendamist iseseisvalt ainult puhtas ja kuivas keskkonnas. Peamiselt rakendatakse neid kombineeritud tihendis.

#### b. Rõngaspilud ja -sooned.

Rõngaspilusid ja -sooni (joon. 108) kasutatakse tahke määrdeaine korral võlli ringkiirustel kuni 5 m/sek, puhtas ja kuivas keskkonnas. Kaitse-efekt on suhteliselt väike. Laagrisõlme töötemperatuur peab antud juhul olema madalam kasutatava tahke määrdeaine sulamistemperatuurist.

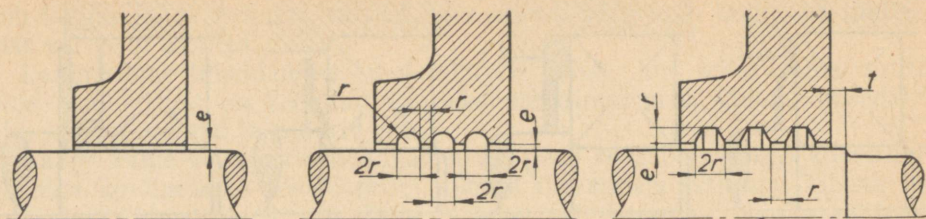
Pilude ja soonte mõõted on esitatud tabelis 22 (joon. 108).

Tabel 22.

#### Rõngaspilud ja -sooned

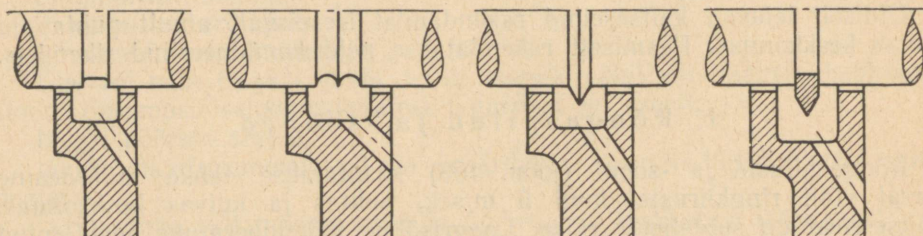
Mõõted mm (joon. 108)

<i>d</i>	10—45	50—80	85—110	120—180
<i>e</i>	0,2	0,3	0,4	0,5
<i>p</i>	1,5	2	2	2,5
<i>t</i>	1,5	2	2,5	3
<i>s</i>	0,6	0,8	1,0	1,2



Joon. 108.

Vedela määrdeaine korral, võlli ringkiirustel üle 6 m/sek ja puhtas, kuivas keskkonnas võib eduga rakendada joonisel 109 toodud tihendeid, mis on kujundatud ääriku võlliavasse valmistatud kanalist ja võlli pinda, kanali kohale, valmistatud kettakesest või soonest. Määrdeaine väljavool on takistatud tsentrifugaaljõu mõjumise tõttu. Kanalisse kogunenud määrdeaine tagasivool toimub kanali alumisse ossa valmistatud ava kaudu.



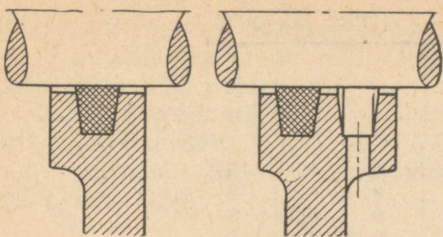
Joon. 109.

### c. Elastsed rõngad.

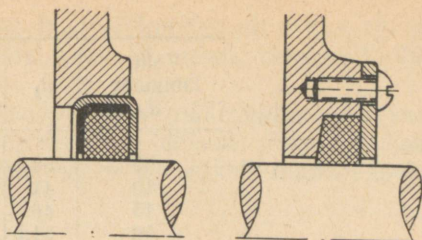
Tolmuses, mittepuhtas keskkonnas ja peamiselt tahke määrdeaine korral saavutatakse võrdlemisi efektiivne laagri kaitsmine ja määrdeaine väljavoolu takistamine, kujundades tihendi elastse, võlli peale toetuva rõnga abil.

Konstruktsioonides on joonistel 110—112 elastseks rõngaks ristkülikukujulise ristlõikega viltrõngas, asetatuna ääriku võlli avasse valmistatud trapetsikujulisse kanalis. Viltrõngas peab olema immutatud kuumas (80—90° C) mineraalõlis. Suurema kaitse-efekti saavutamiseks, samuti vedelate määrdeainete kasutamisel, on soovitatav kujundada tihend kahest viltrõngast. Mõningal juhul, vedelate määrdeainete korral, täidetakse sise- ja välimine kanal tahke määrdeainega või ta täidab õlikoguja ülesandeid. Viimasel juhul on kanali alumisse ossa valmistatud auk õli tagasivooluks (joon. 110).

Hõõrdetakistuste suurenemise tõttu ei ole soovitatav kujundada tihendit rohkem kui kahe viltrõngaga.



Joon. 110.



Joon. 111.

Tihendite monteerimise ja vahetamise hõlbustamiseks kasutatakse ka vilttihendeid, asetatuna stantsitud metallkatteisse (joon. 111).

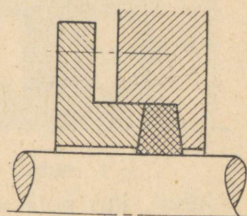
Püsiva kontakti säilitamiseks võlli pinna ja viltrõnga vahel (viimase kulumisel) kasutatakse perioodiliselt reguleeritavaid või automaatselt teotsevad surverõngaid-äärrikuid (joon. 112).

Vilttihendeid kasutatakse võlli ringkiirustel kuni 3 m/sek võllipinna keskmise puhtuse juures ja kiirustel kuni 7 m/sek — poleeritud võllipindade korral.

Vilttihendeid ei ole soovitatav kasutada mehhanismides, kus on oluline eriti kerge käik, kuna vilttihendi takistus on võrdlemisi suur.

Viltrõngad peavad olema valmistatud ühes tükis, pikakiulisest, kõrge kvaliteediga vildist.

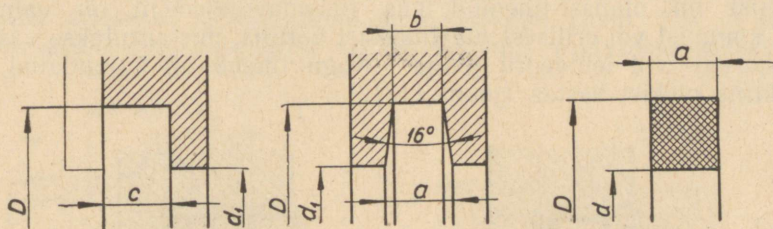
Viltrõngaste ja kanalite mõõted on toodud tabelis 23.



Joon. 112.

Tabel 23.

Viltrõngad (mõõted mm)



Võlli läbimõõt $d$	$d_1$	$D$	$a$	$b$	$c$
10	11	23	6	4,3	5
15	16	28	6	4,3	5
20	21	33	6	4,3	5
25	26	38	6	4,3	5
30	31	43	6	4,3	5

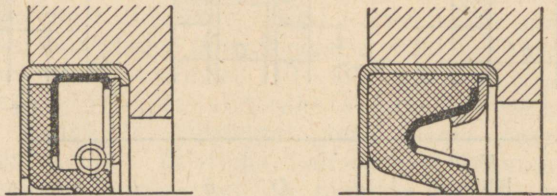
Tabel 23 järg.

Võlli läbimõõt $d$	$d_1$	$D$	$a$	$b$	$c$
35	36	48	6	4,3	5
40	41	59	9	6,5	8
45	46	64	9	6,5	8
50	51,5	69	9	6,5	8
55	56,5	74	9	6,5	8
60	61,5	79	9	6,5	8
65	66,5	84	9	6,5	8
70	71,5	89	9	6,5	8
75	76,5	98	12	9	10
80	81,5	103	12	9	10
85	87	108	12	9	10
90	92	113	12	9	10
95	97	118	12	9	10
100	102	123	12	9	10
105	107	128	12	9	10
110	112	133	12	9	10
120	122	154	16	11,5	13
130	133	165	16	11,5	13
140	143	178	19	14	16
150	153	188	19	14	16

Juhul, kui pole võimalik laagrisõlmes kujundada eri tihendit, tuleb kasutada laagreid, millede konstruktsioon on kujundatud koos tihenditega (tüüp 20 000 ja 30 000).

#### d. Manset-tihendid.

Reas masinaehituse harudes on viimasel aastakümnel leidnud laialdast kasutamist nn. manset-tihendid, kus tihendav element on valmistatud nahast, kummist või erilisest plastmassist võruna, mis surutakse vastu võlli pinda spiraal- või lehtvedru jõuga. Kogu tihend on kujundatud valmis komplektina plekist kestas (joon. 113).



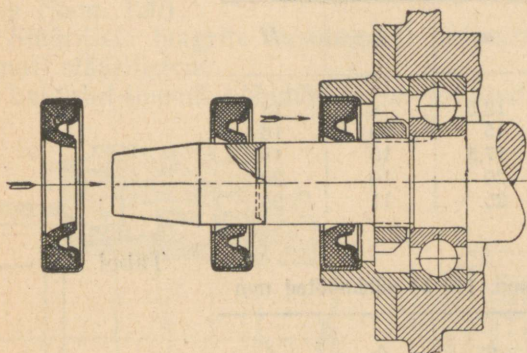
Joon. 113.

Et mitte vigastada manseti servi, monteeritakse manset-tihend ääriksesse valmistatud vastavasse avasse koonilise torni abil (joon. 114).

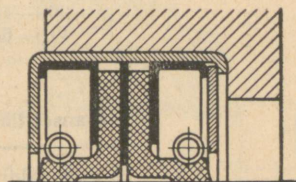
Manset-tihend omab tunduvald paremusi viltrõngaste ees. Teda kasu-

tatakse mittepuhtas keskkonnas töötavates laagrisõlmedes nii tahke kui ka vedela määrdeaine juures võlli ringkiirustel kuni 10 m/sek, olenevalt võlli pinna töötlemise puhtusest.

Manset-tihendi võllile toetuv serv tuleb suunata määrdeaine väljavoolamise takistamiseks laagri poole ja väliskeskkonna mõjude vähendamiseks laagrist eemale. Sageli leiame valmiskomplektina ka kaksik-manset-tihendeid (joon. 115).



Joon. 114.

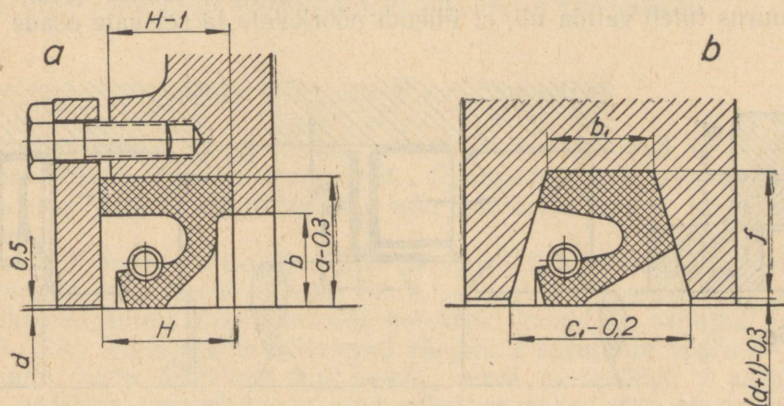


Joon. 115.

Nahkmansetid tuleb enne kasutamist leotada petrooleumi (50%) ja mineraalõli (50%) segus temperatuuril  $t = 45-50^{\circ}$ .

Manset-tihendid leiavad laialdast kasutamist ka kombineeritud tihendeis.

NSV Liidus valmistatakse manseteid viimasel ajal erilisest kummi-segust, nn. sevaniidist, mis võimaldab kujundada manseteid soovitud konstruktsiooniga ja ilma plekist kestata. ЦНИИТМАШ poolt on välja töötatud põhiliselt kaks ilma kestata sevaniit-tihendi konstruktsiooni, ja nimelt: poolitamata keredesse ristkülikukujulise ristlõikega (joon. 116 a) ja poolitatud keredesse trapetsikujulise ristlõikega, mis asetatakse keredesse val-



Joon. 116.

mistatud vastavasse soonde (joon. 116 b). Tabelites 24 ja 25 on esitatud tähendatud manset-tihendite põhimõõted.

Nagu näitavad ekspluatatsiooni-andmed, on sevaniidist manset-tihendid rakendatavad ükskõik milliste määrdeainete kasutamisel võlli ringkiirusel kuni 7 m/sek ja kestval temperatuuril kuni 100°.

Tabel 24.

Manset-tihendite (joon. 116 a) põhimõõted mm

Võlli läbimõõt $d$	$a$	$b$	$H$
30—95	12,5	8	12
100—170	15	10	16
180—250	17,5	10	18
260—400	20	10	20
410—600	25	11	25

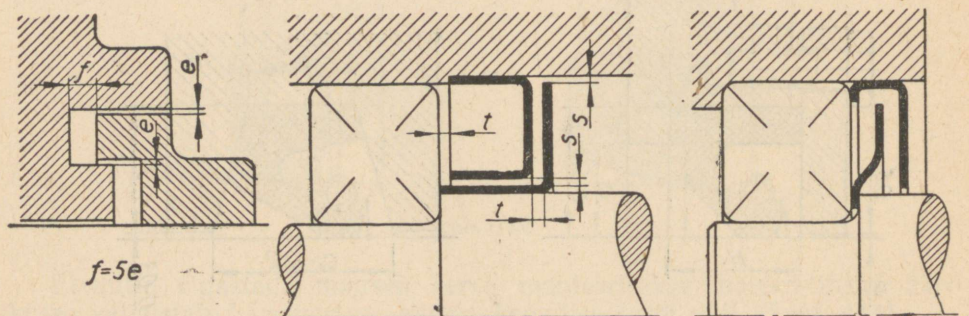
Tabel 25.

Manset-tihendite (joon. 116 b) põhimõõted mm

Võlli läbimõõt $d$	$b_1$	$c_1$	$f$
30—95	9,6	13,8	17,5
100—170	10,8	15,8	15
180—250	12	17,8	7,5
260—400	13,2	19,8	20
410—600	16,5	24,8	25

### e. Labürint-tihendid.

Labürint-tihendid kujutavad eelmistega võrreldes üldiselt täiuslikuma tihenditüübi. Siin on tihendusefekt põhiliselt saavutatud minimaalsete pilude abil, mis on kujundatud kas ühes või mitmes pinnas (joon. 117). Pilude suurus tuleb valida nii, et tihendi pöörlevate ja seisvate osade vahel



Joon. 117.

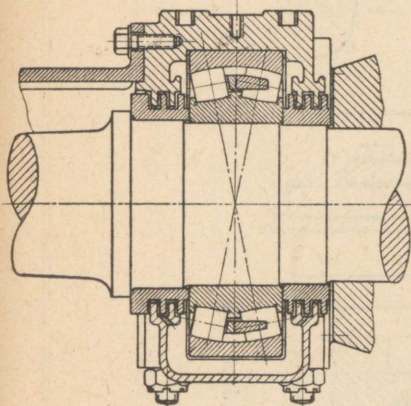
ei esineks ühelgi juhul otsest kokkupuudet. Tihendusefekti suurendamiseks täidetakse pilud tahke määrdeainega.

Laagrikes oleva määrdeaine ja väliskeskonna juurdepääs labürinti on takistatud labürindi pöörleva elemendi tsentrifugaaltoime tagajärjel.

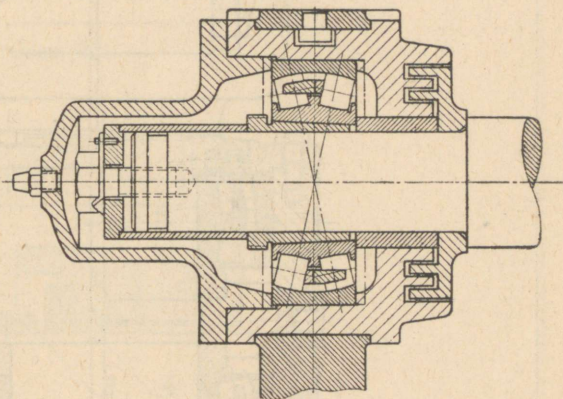
Labürint võib olla kujundatud kas aksiaalselt (joon. 118) või radiaalselt (joon. 119). Viimast tüüpi labürindi kasutamine on poolitatud laagrikerede juures raskendatud, mille tõttu kasutatakse sageli mõlemaid tüüpe koos (joon. 120).

Sfääriliste laagrite kasutamisel kujundatakse labürindi pinnad sageli samuti sfäärilistena.

Labürint-tihendi põhimõtted on esitatud tabelis 22.



Joon. 118.



Joon. 119.

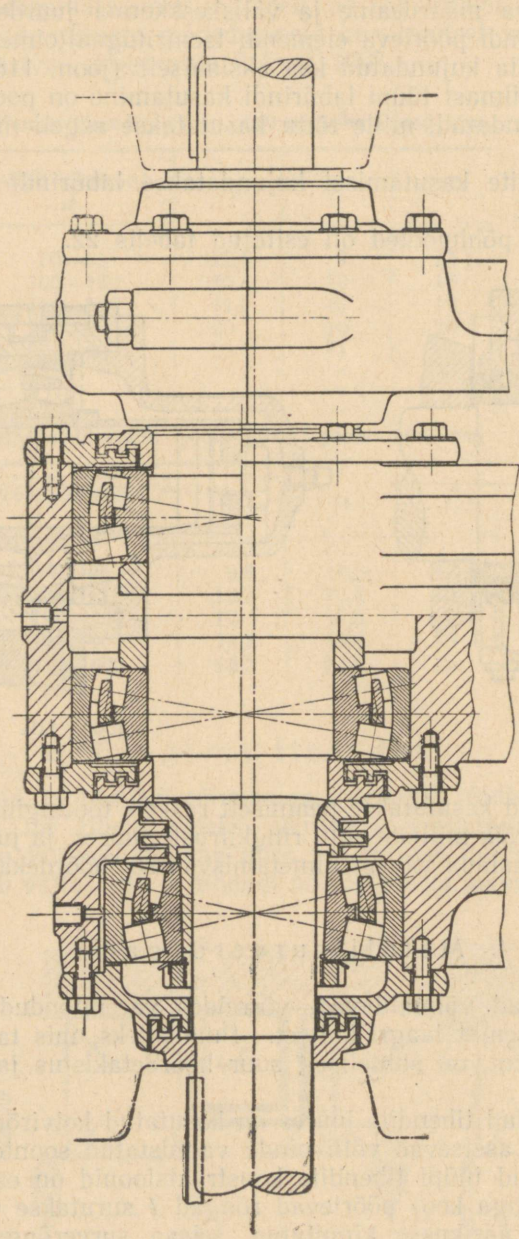
Labürint-tihendeid kasutatakse peamiselt raskeis töötingimustes töötavais laagrisõlmedes, ükskõik milliste võlli ringkiiruste juures, ja juhul, kui tihendamine ei tohi põhjustada vähegi nimetamisväärset hõõrdekadu.

#### f. Metall-surverõngad.

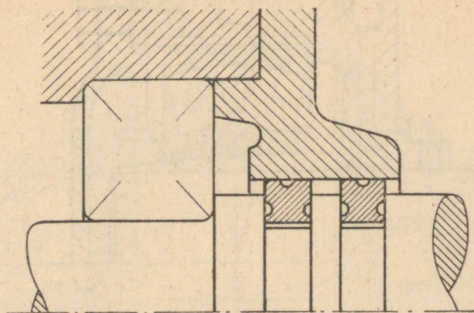
Metall-surverõngad võimaldavad, võrreldes varemtoodud tihenditüüpidega, kõige efektiivsemat laagri kaitset. Puudusteks, mis takistavad selle tihendi laiemat levikut, on suhteliselt suur hõõrdekastus ja kulukas valmistamine.

Joonisel 121 toodud tihendite juures on kasutatud kolvirõngataolisi vetruvaid rõngaid, mis asetsevad võlli pinda valmistatud soontes liug-istuga.

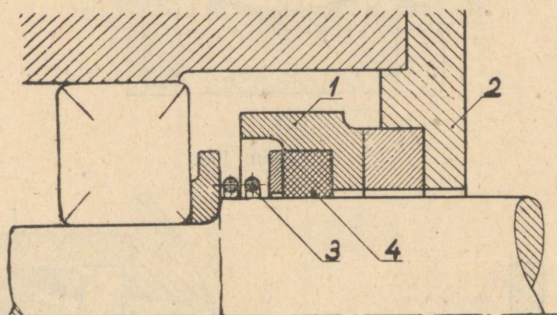
Keerukamad antud tüüpi tihendite konstruktsioonid on esitatud joonistel 122 ja 123. Võlliga koos pöörlevad rõngad 1 surutakse vedru 3 (vedrude) kaudu vastu äärikusse kinnitatud, seisva surverõnga 2 otspinda. Tihendus pöörleva surverõnga ja võlli vahel on saavutatud elastse tihendusega 4.



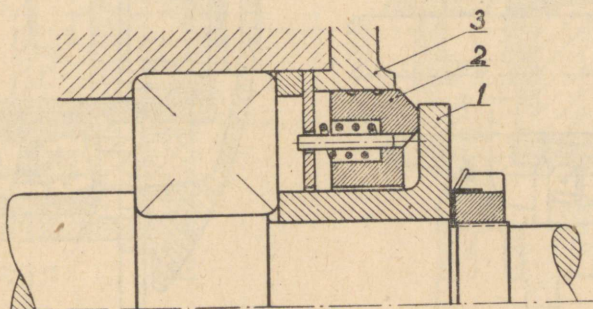
Joon. 120.



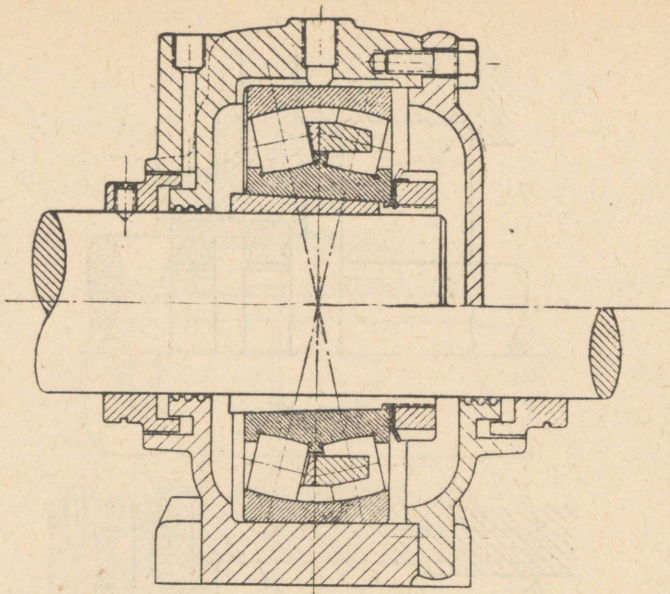
Joon. 121.



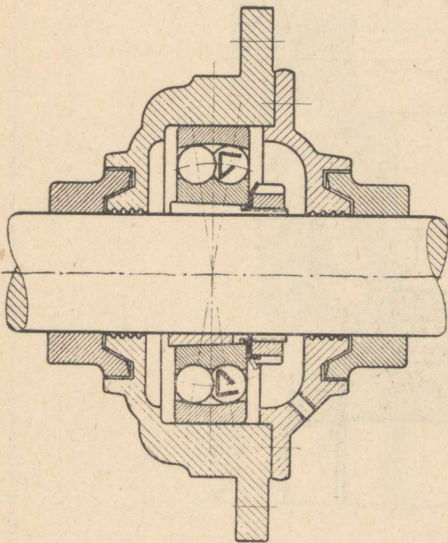
Joon. 122.



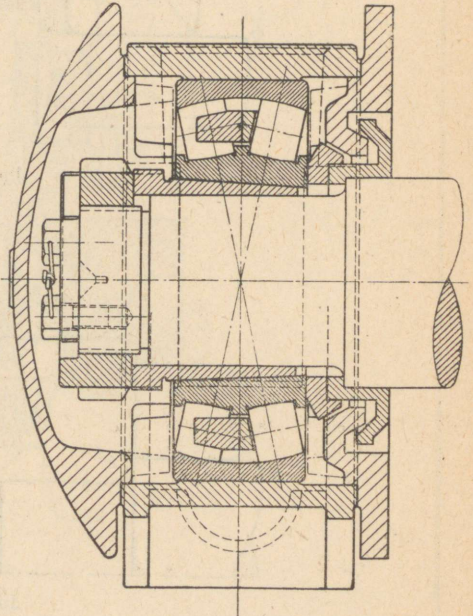
Joon. 123.



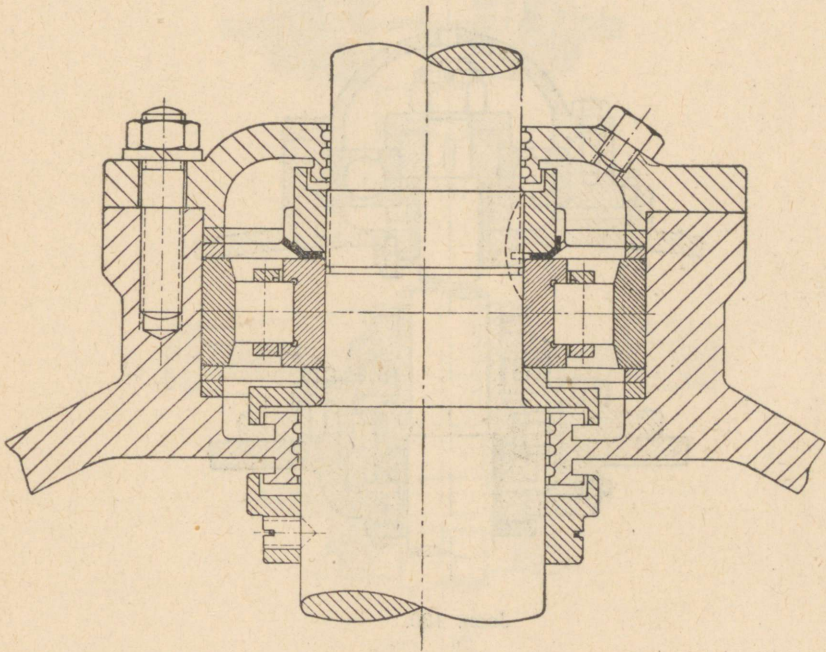
Joon. 124.



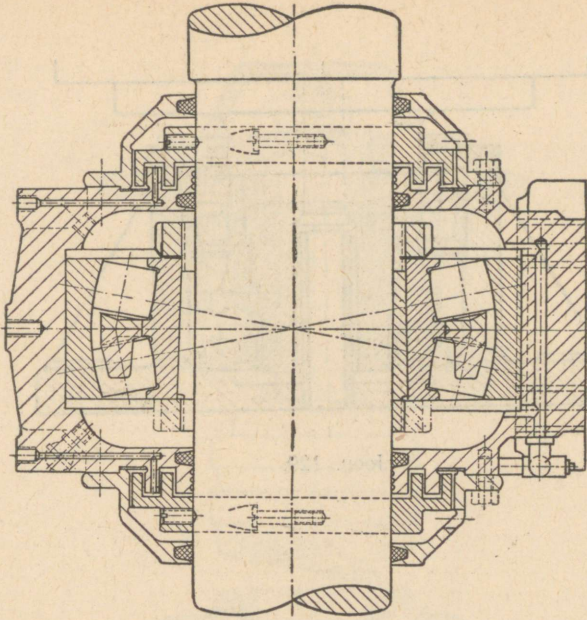
Joon. 125.



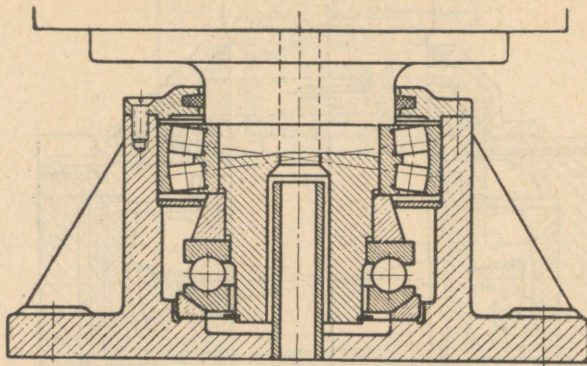
Joon. 126.



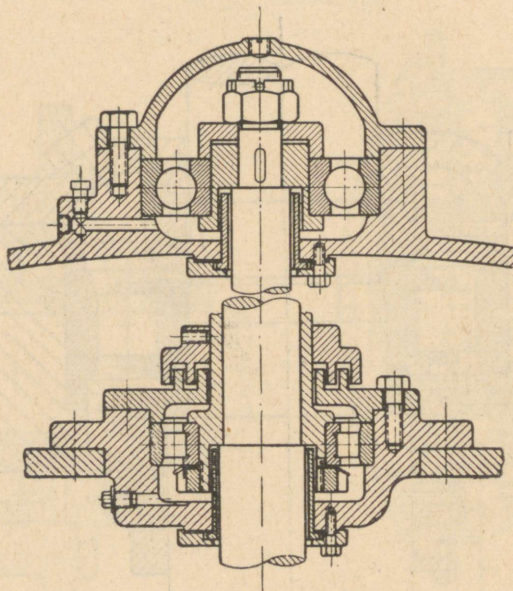
Joon. 127.



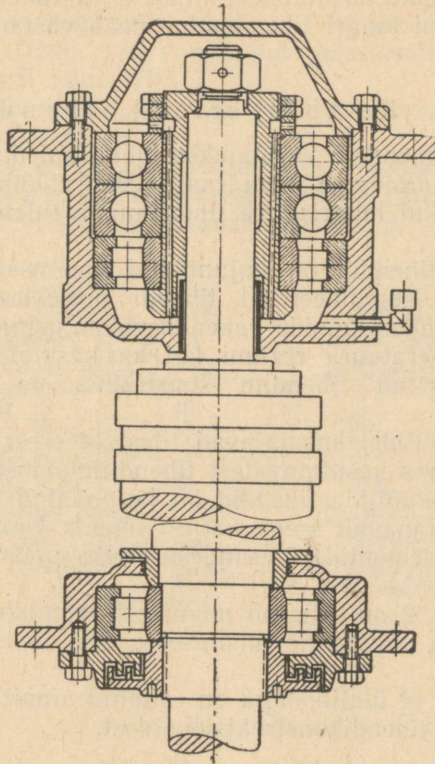
Joon. 128.



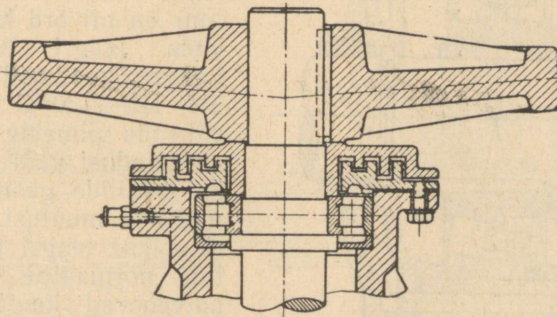
Joon. 129.



Joon. 130.



Joon. 131.



Joon. 132.

Surverõnga materjaliks tuleb valida antifriktsioonilised materjalid. Surverõngaste tööpinnad peavad olema määritavad.

Metall-surverõngaid kasutatakse ainult erijuhtudel (kõrged surved, temperatuurid jms.), kui laagri tihendamine peab vastama eritingimustele.

### g. Kombineeritud tihendid.

Kombineeritud tihendeid kasutatakse juhul, kui ülalpoolkäsitletud tihendite üksikult kasutamine ei taga laagrisõlme töötingimustest tulenevate nõuete täitmist ja kui laagrisõlme tihendamine tuleb läbi viia võimalikult täiuslikult.

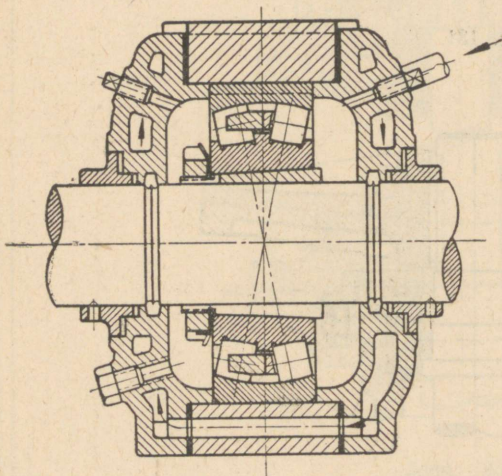
Kombineeritud tihendid on kujundatud varem esitatud tihendite konstruktsioonina. Kombineeritud tihendi projekteerimisel peab silmas pidama üksikute tihenditüüpide rakendusvõimalusi antud tingimustes nii pöörete arvu, temperatuuri, režiimi kui ka kasutatava määrdeaine osas.

Rida kombineeritud tihendite konstruktsioone on esitatud joonistel 124—128.

Vertikaalsetel võllidel kasutatavad tihendid ei erine põhiliselt horisontaalsete võllide juures kasutatavatest tihenditüüpidest. Erinevus seisab selles, et vertikaalsete võllide tihendid on kujundatud peamiselt kombineeritud tihenditena ja omavad seega ka keerukama konstruktsiooni, eriti aga juhul, kui tihendi elementide ülesandeks on ka määrdeaine juurdetoimetaamine laagrisse.

Joonistel 129—132 on esitatud mõningaid enamkasutatavaid konstruktsioone vertikaalsete võllide tihendamiseks, mis on arusaadavad juba joonistelt.

Tuleb nimetada, et ülaltooduga on esitatud ainult väike osa masinaehituses kasutatavaist tihendikonstruktsioonidest.



Joon. 133.

### 5. Laagrisõlme jahutamine.

Mõningal juhul peab lager töötama keskkonnas, mille temperatuur on niivõrd kõrge, et võib rikkuda laagri normaalset tööd. Laagrisõlmedetailide kuumenemine üle  $120\text{--}130^\circ\text{C}$  mitte üksnes ei vähenda viimaste mehaanilisi tugevusomadusi, vaid võib esile kutsuda ka detailide geomeetrilise kuju ja mõõdete muutusi, mille tagajärjel rikutakse laagri töötavate elementide normaalne koostöö. Samuti halvenevad ka laagri määrimise tingimused.

Et siiski kindlustada laagrite normaalset tööd ka kõrgetel

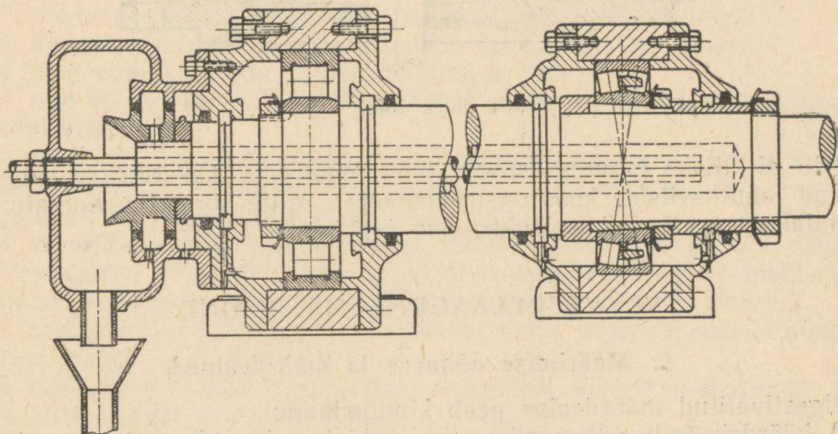
keskkonna temperatuuridel, tuleb ette näha eriabinõud laagri kere või võlli jahutamiseks laagrialustes pindades.

Jahutamine viiakse läbi:

a) tsirkuleeriva veega, mis juhitakse läbi äärikutesse ja kerosse kujundatud veesärkide (joon. 133); esitatud jahutusviis on rakendatav keskkonna temperatuuril kuni  $170^{\circ}$ .

Vee tsirkulatsiooni skeemi võib kujundada vastavalt olukorrale (joonisel näidatud noolekestega).

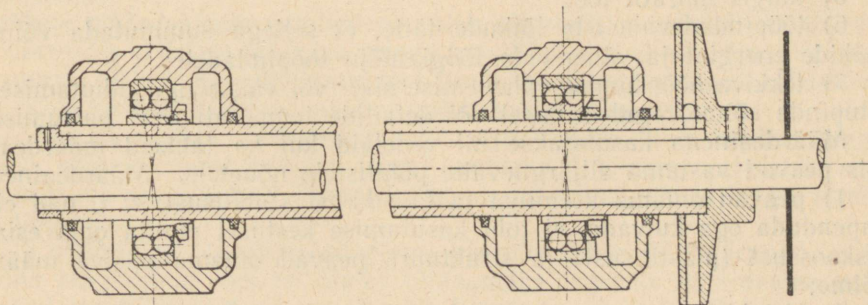
b) tsirkuleeriva veega, mis juhitakse läbi õõnestatud võlli või eriti selleks otstarbeks võlli sisse valmistatud kanalite (joon. 134); rakendatav on nimetatud moodus juhul, kui soojusejuhtijaks on völli ( $t = 175-200^{\circ}$ ).



Joon. 134.

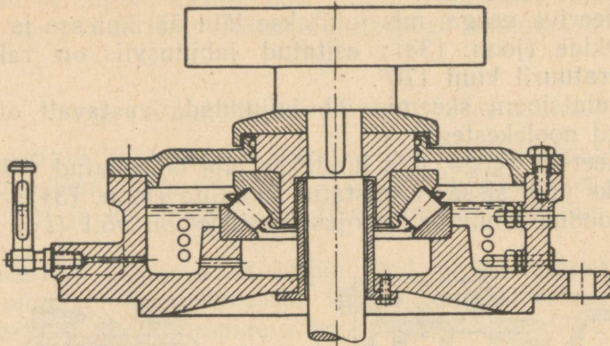
c) laagrisõlme või võlli jahutamisega vastavalt kujundatud ventilatsioonisüsteemi kaudu (joon. 135); seda moodust on otstarbekas rakendada eriti kõrgeil temperatuuridel ( $t = 300^{\circ}-400^{\circ}$ );

d) laagrisõlmes oleva määrdeaine jahutamisega veega, määrdeaine



Joon. 135.

sisse asetatud jahutaja kaudu (joon. 136); rakendatav on see temperatuuril kuni 150° C.



Joon. 136.

Eriti efektiivse jahutussüsteemi kujundamiseks kasutatakse sageli ka esitatud jahutusviiside kooskonstruktsioone. Mitte kõrgeil temperatuuridel kasutatakse sageli ribikonstruktsioone (vt. joon. 77).

## VI. VEERELAAGRITE MÄÄRIMINE.

### 1. Määrimise otstarve ja määrdeained.

Õigestivalitud määrdeaine peab kindlustama:

- 1) hõõrdekadude vähenemise veerekehade ning rõngaste, veerekehade ja separaatori ning separaatori ja rõngaste vahel, samuti liugehõõrdumise vähenemise tööpindade elastsel deformatsioonil;
- 2) ühtlase soojusejaotumise veerelaagri elementides ja võimaluse üleliigse soojuse eemaldamiseks;
- 3) vajaliku tiheduse pöörleva võlli ja kere pinna vahel (koos tihenditega), et takistada tolmu, niiskuse ja gaaside juurdepääsu laagrile;
- 4) laagri-elementide, eriti tööpindade korrosioonikindluse;
- 5) laagri müratu töö;
- 6) tööpindadevaheliste lõtkude täite, et sellega summutada võimalike löökide energiat ja vähendada löögi mõju tööpindadele;
- 7) tekkiva hõõrdumise vähenemise sise- või välisrõnga nihutamisel piki istupinda sõlme reguleerimisel või detailide temperatuurisel paisumisel.

Määrdeainena kasutatakse nii vedelaid kui ka tahkeid määrdeaineid, mis peavad vastama alljärgnevaile põhilistele nõuetele. Määrdeained

1) peavad omama keemilist ja füüsikalist stabiilsust, s. t. nad ei tohi hapenduda ega kuivada, ei tohi kasutamise kestusel muuta oma esialgset viskoossust (plastilisust) ja struktuuri, peavad omama püsiva määrimisvõime;

2) ei tohi kasutamise kestusel kihistuda ega soodustada korrosiooni tekkimist;

3) peavad olema täiesti puhtad ega tohi sisaldada kõrvalolluseid mustuse, liiva ja niiskuse näol;

4) peavad omama minimaalse sisehõõrdumise, et vältida määrdeainest tingitud energiakadusid. Nimetatu on eriti oluline suurtel kiirustel;

5) peavad olema temperatuurikindlad, s. t. viskoossus (plastilisus) ei tohi temperatuuri kõikumisel järsult ja suurtes piirides muutuda;

6) peavad kindlustama laagri hea töötamise laias koormuse ja ringkiiruse piirkonnas.

Määrdeaine valikul veerelaagreile tuleb teada vedelate ja tahkete määrdeainete paremusi ja puudusi, millele vastavalt tuleb kujundada ka laagri sõlm.

Vedelad määrdeained omavad järgmisi paremusi:

1) nad on suurema stabiilsusega kui tahked määrdeained;

2) neid võib kasutada suurtel pöörete arvudel;

3) nad võivad kehtvalt töötada kõrgeil temperatuuridel, kaotamata oma määrimisvõimet;

4) neid võib kasutada madalail temperatuuridel, kuna nad ei oma seejuures tähelepanavat kalduvust tahenemisele, mille tagajärjel ei suurene märgatavalt ka kaod sisehõõrdumisel;

5) võrreldes tahke määrdeainega, omavad nad märgatavalt väiksema sisehõõrdumise, mille tõttu nad on hästi kasutatavad täpseis mehhanismides ja mõõteriistades, kus hõõrdekaod laagreis ei tohi olla suured;

6) nad hõlbustavad laagrite ekspluatatsiooni, kuna õli vahetamine võib toimuda laagrit lahti võtmata;

7) nad võimaldavad kujundada tsentraalset määrimis-süsteemi, määrdeaine filtreerimist ja doseerimist.

Vedelate määrdeainete puuduseks tuleb lugeda vajadust keerulisemate tihendite järgi ja sagedasemat õli lisandamist, mis nõuab eri detaili või sõlme.

Tahkete määrdeainete paremuseks on:

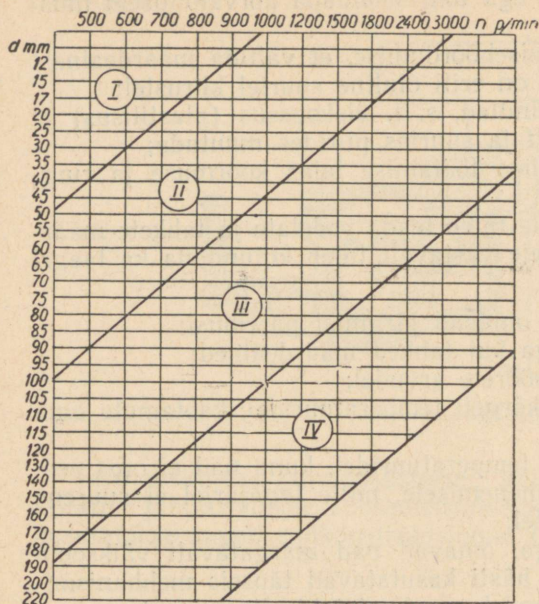
1) nende kergem ja täielikum tihendamise võimalus, kuna määrdeaine ise aitab tihendamist parendada;

2) nad omavad pikema kasutusperioodi ega nõua lisatäidet (8—10 kuud).

Tahkete määrdeainete puudustena tuleb nimetada suuremat sisehõõrdumist, võrreldes vedelate määrdeainetega, mistõttu neid ei ole võimalik kasutada suurtel pöörete arvudel; suuremat tundlikkust temperatuuri kõikumiste vastu ja sõlme lahtivõtmise vajadust määrdeaine vahetamisel.

Määrdeaine valikul projekteeritavale laagrisõlmele tuleb lähtuda laagri mõõteist, pöörete arvust minutis, laagri koormusest, töötemperatuurist, laagrit ümbritseva keskkonna iseloomust, tihendamisvõimaluste ja laagri järelevalve tingimustest.

Võlli pöörete arv ja laagri siserõnga veerete läbimõõt määravad laagri tööpinna ringkiiruse, mis on üheks tähtsamaks teguriks määrdeaine valikul. Kui ringkiirusel 4—5 m/sek võib kasutada nii vedelaid kui ka tahkeid määrdeaineid, siis suurematel ringkiirustel on soovitatav kasutada vedelaid määrdeaineid, kusjuures viimaste viskoossus peab olema seda väik-



Joon. 137.

sem, mida suurem on ringkiirus. Viimane tingimus on maksev ka tahkete määrdeainete kohta.

Koormuse mõju hindamisel tuleb arvestada seda, et määrdeaine kile püsivus kasvab mineeraalseil õlidel viskoossuse kasvuga ja tahkeil määrdeainel plastilisuse suurenemisega. Seega, mida suurem on koormus, seda suurem peab olema määrdeaine viskoossus (plastilisus).

Määrdeainete viskoossus (plastilisus) väheneb temperatuuri kasvuga. Laagreile, mis töötavad madalatel temperatuuridel (alla 0°), on soovitatav valida tahked määrdeained, mille hangumispunkt oleks 15°–20° alla töötemperatuuri, või õlid minimaalse viskoossusega.

Kõrgeil temperatuuridel on meil tegemist vastandjuhuga. Laagreid töötemperatuuriga 70°–80° võib määrada, olenevalt ringkiirusest, nii vedelate

kui tahkete määrdeainetega, mis omavad kõrgendatud viskoossuse (plastilisuse), kusjuures määrdeaine peab olema kõrge kvaliteediga. Laagreid, millede töötemperatuur on suurem kui 80° C, on soovitamam määrada vedelate, kõrgendatud viskoossusega määrdeainetega.

Kahjulikke gaase ja aere sisaldavas keskkonnas töötavate laagrite määrimiseks on soovitatav kasutada tahkeid määrdeaineid, kui seda lubavad eksploatatsioonilised tingimused — ringkiirus, koormus, temperatuur jt.; vastandjuhul tuleb laagreid eriti hoolikalt tihendada.

Määrdeainete valikul on soovitatav juhinduda tabeleist 26 ja 27. Tabel 26 (joon. 137) on koostatud vedelatele ja tabel 27 tahketele (konsistentsetele) määrdeainetele.

Tabel 26.

Õlid veerelaagrite määrimiseks

	Õli temperatuur °C			
	< 0	0–60	60–100	> 100
I	Separaatoriõli Värtnaõli 2	Värtnaõli 3 Turbiiniõli YT	Masinaõli JI Avtool 10	Braitstok
II	Separaatoriõli Värtnaõli 2	Värtnaõli 3 Turbiiniõli YT	Masinaõli JI Avtool 10	Braitstok

Tabel 26 järg.

	Õli temperatuur °C			
	< 0	0—60	60—100	> 100
III	Separaatoriõli Värtnaõli 2	Separaatoriõli Värtnaõli 3	Turbiiniõli YT Masinaõli	Avtool 18 Silindriõli
IV	Separaatoriõli Värtnaõli 2	Separaatoriõli Värtnaõli 3	Värtnaõli 3 Turbiiniõli JI	Avtool 18 Silindriõli

Tabel 27.

Tahked määrdeained veerelaagrite määrimiseks

Laagri tüüp	Laagri seeria ja laagri sise- läbimõõt mm	Töö- tempe- ratuur °C	Soovitav tahke määrdeaine pöörete arvul		
			< 300	300—1500	> 1500
Kuullaagrid: üherealised ra- diaal-, kaherea- lised sfäärilised radiaal-tugi- ja tugi-kuullaagrid	Kerge, $d < 50$ kesk- mine, $d < 40$	< 60	Nr. 1(13) Nr. 17(19) Konstalin T Solidol M	Konstalin M Solidol	Konstalin M Solidol
	Kerge, $d > 50$ kesk- mine, $d > 40$	< 60	"	Nr. 1(13) Nr. 17—19 Konstalin T Solidol M	"
	Kõik mõõted	60—100	Solidol M	Solidol M	Nr. 1(13) Nr. 17—19 Konstalin T Solidol M
Rull-laagrid: silindriliste ral- lidega ja kahe- realised sfäärilise-	Kõik mõõted	< 60	Nr. 1—(13) Nr. 17—19 Konstalin T Solidol M	Nr. 1—(13) Nr. 17—19 Konstalin T Solidol M	Konstalin M Solidol
		60—100	Solidol M	Solidol M	Nr. 1(13) Nr. 17—19 Konstalin Solidol M
Koonilised rull-laagrid	Kõik mõõted	< 60	Nr. 1(13) Nr. 17—19 Konstalin T Solidol M	Nr. 1(13) Nr. 17—19 Konstalin T Solidol M	Konstalin M Solidol
		60—100	Solidol M	Solidol M	Nr. 1(13) Nr. 17—19 Konstalin T Solidol M

Tabel 27 järg.

Laagri tüüp	Laagri seeria ja laagri sise-läbimõõt-mm	Töö-tempe-ratuur °C	Soovitav tahke määrdeaine pöörete arvul		
			< 300	300—1500	> 1500
Rull-laagrid keerdrullidega	Kõik mõõted	< 60	Nr. 1(13) Nr. 17—19 Konstalin T	Konstalin M	Konstalin M
		60—100	Nr. 1—(13) Nr. 17—19 Konstalin T Solidol M	Nr. 1(13) Nr. 17—19 Konstalin T Solidol M	Konstalin M Solidol
Nõellaagrid	Kõik seeriad, $d < 50$	< 60	„	Konstalin M Solidol	—
	Kõik seeriad, $d > 50$	< 60	Konstalin M Solidol M	—	—

Märkus: 1. Pöörete arvul 300—1500 tuleb täita  $\frac{2}{3}$  ja pöörete arvul üle 1500 —  $\frac{1}{2}$  laagrikarbi mahust.

2. Nõellaagreid on soovitatav tahke määrdeainega määrida vaid väikestel ringkiirustel; suuritel ringkiirustel tuleb kasutada vedelaid määrdeaineid.

3. Tabel on koostatud laagrite normaalkoormusele, laagri eaga 5000 tundi.

## 2. Määrimismoodused.

Määrdeaine juhtimine laagrisse kujundatakse olenevalt määrdeainest.

Vedelate määrdeainete puhul oleneb määrdeaine juhtimine laagrisse kogu mehhanismi konstruktsioonist ja laagrisõlmede asetusest selles, võllide asendist ruumis (horisontaalne või vertikaalne), pöörete arvust, mehhanismi ülesandest, laagrisõlmele ligipääsetavusest, remontide vaheaegadest jms.

Ülaltähendatud tingimustele vastavalt valitakse üks alljärgnevaist levinumaist määrimismoodustest:

- 1) määrimine õlivannis,
- 2) tahtmäärimine,
- 3) määrimine õli pritsimisega,
- 4) määrimine koonuspindade abil,
- 5) määrimine keermekujuliselt kujundatud õlisoontega,
- 6) määrimine doseerivate õlikannudega,
- 7) määrimine õli pihustamisega suruõhu abil.

Õli juhtimine laagrisse võib toimuda üldiselt kordselt või tsirkuleerivalt. Viimasel juhul leiavad rakendamist

1) suletud tsirkulatsioonmäärimine, kus töötanud määrdeaine suunatakse uuesti laagrisse tagasi;

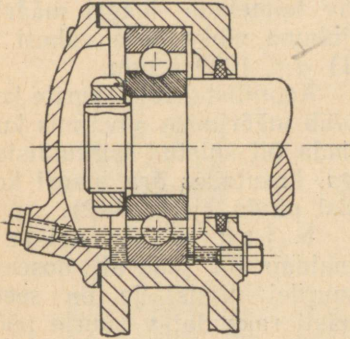
2) voolmäärimine, kus määrdeaine juhitakse laagrisse või laagri gruppidesse ja sealt ise eemaldub;

3) segamäärimine, kus on rakendatud koos kahte esimest moodust.

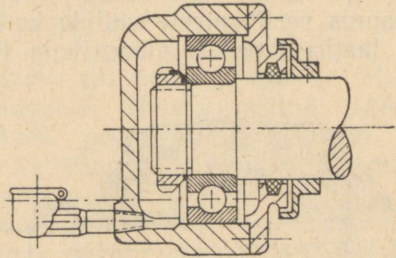
Alljärgnevalt tutvume lähemalt üksikute määrimismoodustega.

✓ a. Laagri määrimist õlivannis kasutatakse tavaliselt neil juhtudel, kus laager on kujundatud eraldi ja eraldatud kogu seadme määrimissüsteemist laagrikeresse. Seda määrimismoodust saab kasutada ainult horisontaalsete völliide puhul, kuna antud juhul laagri alumised veerekehad nii-öelda ujuvad õlis. Õli valatakse otseselt laagrikere karterisse läbi vastava ava, mis suletakse tavaliselt õlikorgiga.

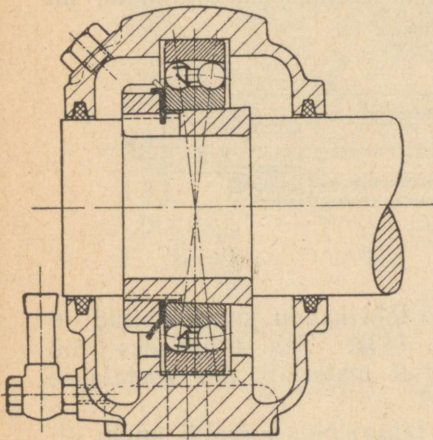
Laagri määrimist õlivannis võib kasutada pöörete arvudel kuni 10 000 p/min. Suurematel pöörete arvudel ei ole selline määrimisviis vastuvõetav tunduvate energiakadude tõttu.



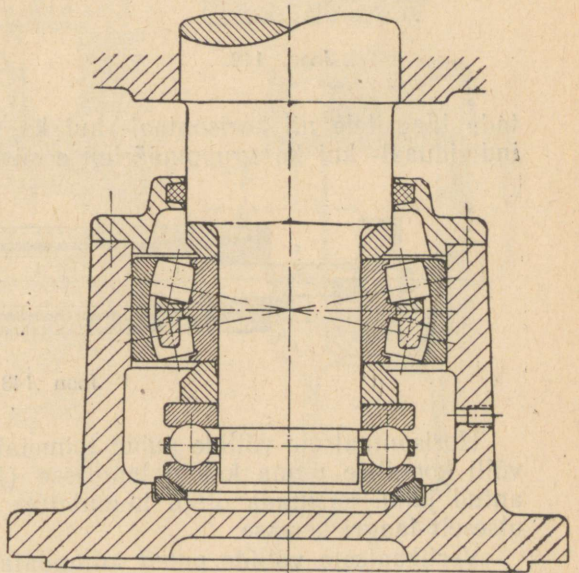
Joon. 138.



Joon. 139.



Joon. 140.



Joon. 141.

Õli nivoo peab olema püsiva kõrgusega ega tohi tõusta üle laagri alumise veerekeha tsentri. Pöörete arvul üle 3000 p/min tuleb energiakadude vähendamiseks õli nivood hoida mõnevõrra allpool ülaltähendatud piiri.

Õli nivoo pinna määramiseks ja hoidmiseks kasutatakse joonistel 138 ja 139 toodud mooduseid. Joonisel 139 toodud konstruktsioon on eelistatum suurematel pööretearvudel, kus õli nivoo kõrgus omab olulisemat tähtsust.

Õli nivoo kontrollimiseks võib kasutada ka teisi mooduseid, näiteks vaateklaase, õlipinna näitajaid jms. (joon. 140).

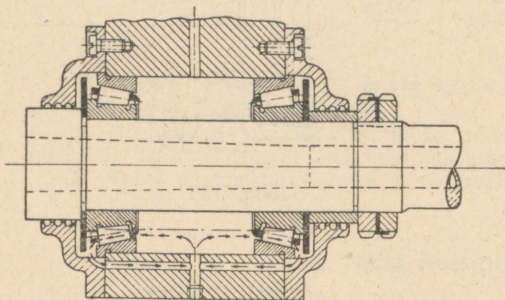
Küllaldase õlihulga hoidmiseks peab laagrikere olema kujundatud küllalt avar, samuti peab olema ette nähtud võimalus töötanud õli väljalaskmiseks ja muu mustuse kogunemiseks.

Nagu varem tähendatud, ei ole soovitatav toimetada laagri määrimist õlivannis vertikaalsete võllide korral. Erijuhuna võiks tulla vahest kõne alla laagrisõlmed tugilaagritega (joon. 141)  $n < 1000$  p/min.

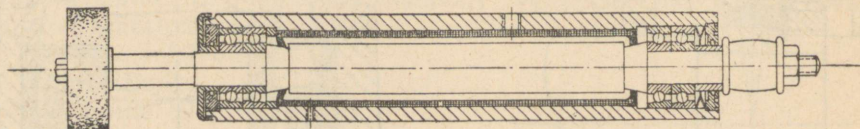
Kooniliste rull-laagrite korral võib määrimise õlivannis kujundada õli suletud tsirkulatsiooniga, kasutades ära laagri koonilisi pindu (joon. 142).

b. Tahtmäärimine võimaldab õli pidevat, doseeritud juurdejuhtimist ja on seetõttu hästi rakendatav suurte pöörete arvudes. Antud juhul tuleb märkida veel seda, et taht koos õli juurdeandmise funktsiooniga täidab ka filtri ülesannet, puhastades õli kõrvalainetest.

Tahtmäärimist võib kasutada laagritele nii horisontaal- kui ka vertikaalvõllidel ja kujundada nii individuaal- kui ka gruppäärimise süsteemis.



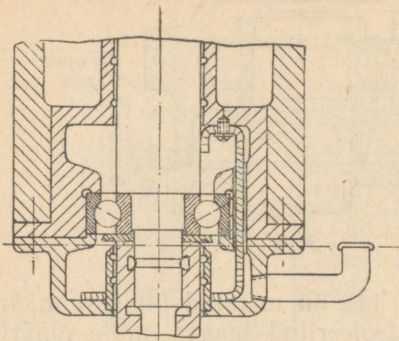
Joon. 142.



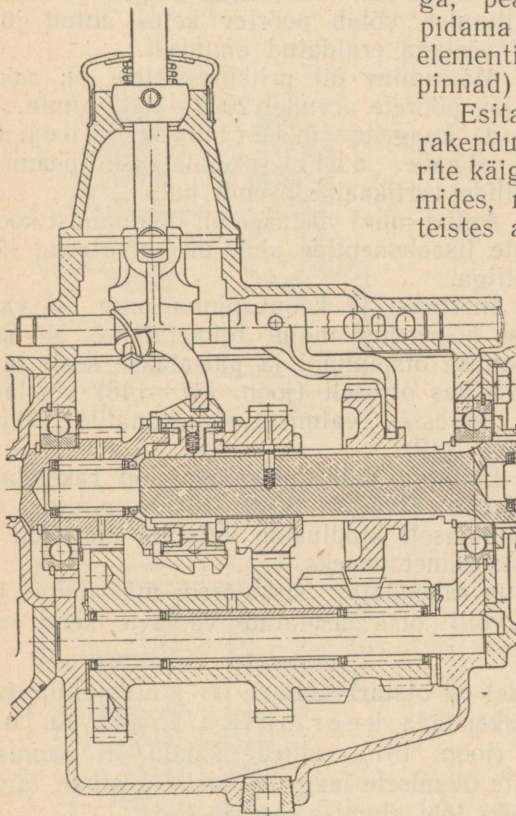
Joon. 143.

Horisontaalsete võllide puhul toimetatakse tahi kaudu juurdejuhitud õli võlli koonilise pinna kaudu laagrisse (joon. 143). Tahi toitmiseks võib antud juhul kasutada õliga immutatud elastset materjali, mis asetatakse otseselt laagri kerekesse.

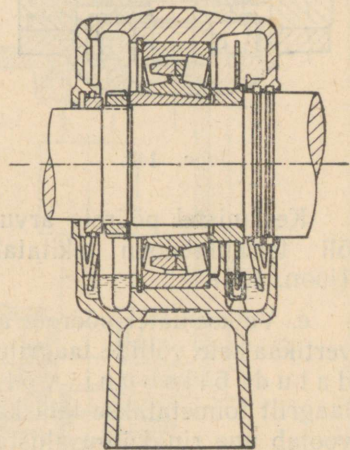
Vertikaalsete võllide puhul kujundatakse laagrisõlmes eraldi anum õli hoidmiseks. Õli nivoo õli anumases ei tohi tõusta laagrini (joon. 144) ega olla kokkupuutes laagrisõlme pöörlevate osadega.



Joon. 144.



Joon. 145.



Joon. 146.

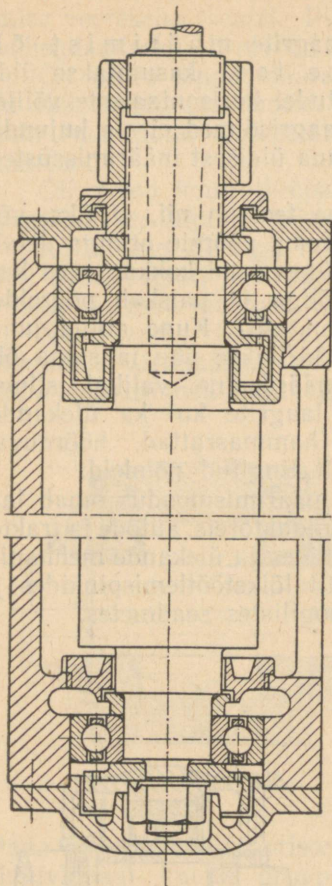
Õli nivooind peab olema kontrollitav.

c. Veerelaagrite määrimist õli pritsimise teel kasutatakse üldiselt neil juhtudel horisontaalsete võllide puhul, kus laagrisõlmed ei ole kujundatud isoleerituna üldisest määrimissüsteemist.

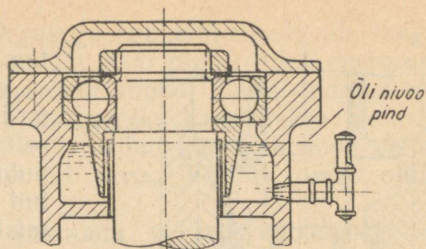
Määrimine teostub nii, et üks, võimalikult suurema pöörete arvuga detail, on teatava sügavuseni kokkupuutes karteris oleva õliga ja paiskab pööreldes õli laiali (joon. 145). Kuna antud juhul kõik osad määritakse ühe ja sama õliga, peab määrdeaine valikul silmas pidama nii laagrite kui ka ülekandelementide (hammasrattad, hõõrduvad pinnad) poolt tingitud nõudeid.

Esitatud määrimismoodus omab laia rakendusala reduktoreis, autode ja traktorite käigukastides ja ülekande-mehhanismides, metalli lõiketöötlemispinkides ja teistes analoogilistes seadmetes.

Et vältida võimalikku laagri üleujutamist õliga ja takistada ajamite kulumise tagajärjel tekkivate metalliosakeste sattumist laagrisse, on vajalik laagritesse ette näha kaitseseibid.



Joon. 148.



Joon. 147.

Joonisel 146 on esitatud üldisest määrdesüsteemist isoleeritud laager, mille määrimiseks on samuti kasutatud õli pritsimist vastava ketta abil. Et vältida laagrisse mustuse sattumist, võtab pöörlev ketas antud juhul õli sõelaga eraldatud anumast.

Määrimine õli pritsimise teel on rakendatav pöörete arvudel 2000—3000 p/min.

d. Laagrite määrimist koonuspindade abil rakendatakse peamiselt völli vertikaalse asendi puhul.

Antud juhul võetakse õli õli anumast kooniliste lisaelementide abil, mis pöörlevad koos völliga.

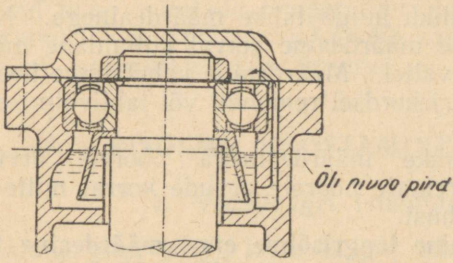
Inertsjõu ja koonuspinna ning õli vahelise hõõrdejõu mõjul toimetatakse õli kuni koonuse otspinnani ja paisatakse sealt laagrisse kas otseselt (joon. 147—148) või laagri keresse valmistatud kanalite kaudu (joon. 149).

Esitatud määrimismoodus on rakendatav pöörete arvudel 8000—10 000 p/min, mis küllaldaselt kindlustab vajaliku inertsjõu õli edasitoimetamiseks.

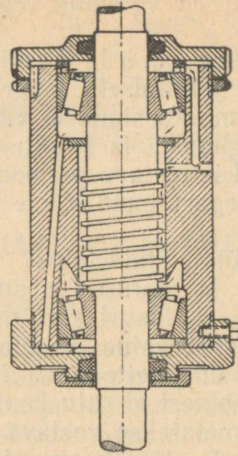
Keskmiitel pöörete arvudel on rakendatav tsirkuleeriv määrimine, kus õli tsirkulatsioon tekitatakse völli otsa asetatud vastava ketta abil (joon. 150).

e. Väiksematel pöörete arvudel on otstarbekohane õli juurdejuhtimiseks vertikaalsete völli laagritele rakendada keermetäoliselt kujundatud õlisooni völlil (joon. 151), millede kaudu õli alumiselt laagrilt toimetatakse läbi kanalite ülemisele laagrile, kust õli vabalt tagasi voolab uue ringkäigu alustamiseks läbi alumise laagri.

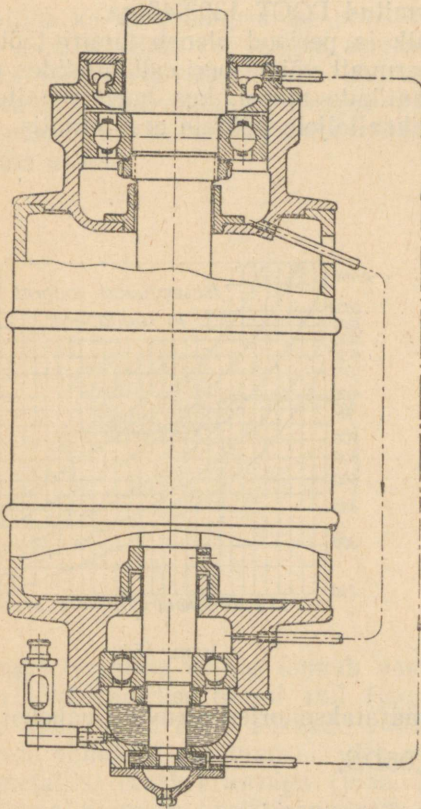
f. Eriti suuritel pöörete arvudel, kus õli juurdejuhtimine laagrisse on vajalik ainult määral, mis kindlustaks tööpindade küllaldasest määrimist doseerivate õlikannudega. Viimased on varustatud vastavate nõelventiilidega või tahiga,



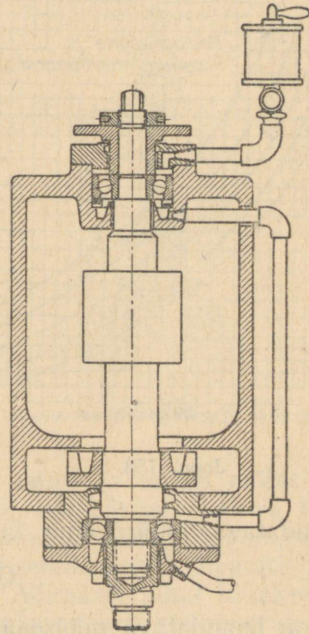
Joon. 149.



Joon. 151.



Joon. 150.



Joon. 152.

mille kaudu on võimalik reguleerida õli vajaliku hulga pääsu laagrisse (joon. 152).

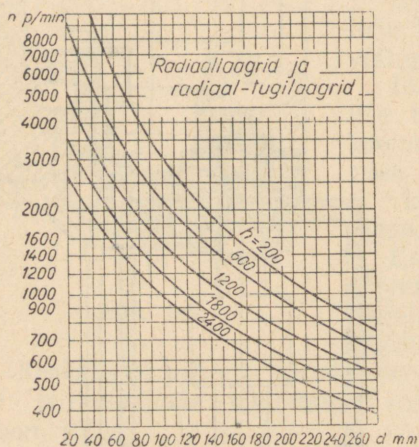
Tahkete määrdeainete kasutamisel erilisi seadmeid määrdeaine juhtimiseks laagrisse tavaliselt ei rakendata. Laagrisõlm täidetakse sõlme koostamisel vajaliku hulga tahke määrdeainega. Normaalse teoitingimuste ja kvaliteetse määrdeaine korral küllaldane määrimine kindlustatakse teatava perioodi vältel. Määrdeaine vahetamine koos laagri puhastamisega toimub sõlme järjekordsel remondil või lahtivõtmisel järele vaatamiseks.

Laagrisõlm täidetakse tahke määrdeainega pöörete arvul kuni 1500 p/min  $\frac{2}{3}$  ulatuses ja suuremate pöörete arvude korral mitte rohkem kui  $\frac{1}{3}$  kuni  $\frac{1}{2}$  laagri kere mahust.

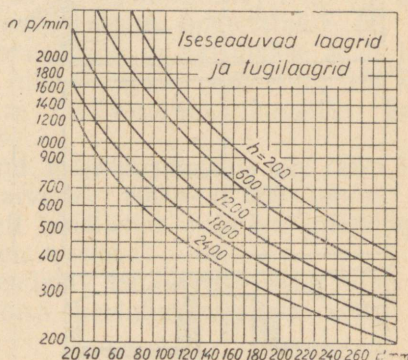
Tahke määrdeaine lisandamine laagrisõlme enne määrdeaine täielikku vahetamist tuleb ette näha juhul, kui on võimalik määrdeaine kadu või osa määrdeainest ei satu kontakti laagri elementidega. Määrdeaine lisandamine toimetatakse vastava pritsi abil läbi laagri kere külge kinnitatud surveniipi või otseselt rasvatooside kaudu.

Rasvaniplid ja rasvatoosid on normitud ГOCT 1303-45-ga.

Tahke määrdeaine lisandamise hulk ja periood oleneb laagri teoitingimustest ja laagri mõõdetest. Orienteeruvalt võime perioodi tundides määrata joonistel 153 ja 154 toodud graafikute alusel, kus horisontaalteljele on kantud laagri siseläbimõõt ja vertikaalteljele pöörete arv minutis.



Joon. 153.



Joon. 154.

Lisandatava määrdeaine hulk määratakse orienteeruvalt vahekorraga

$$Q_c = 0,05DB,$$

kus  $Q_c$  on lisandatava määrdeaine kaal grammides,

$D$  — laagri välisläbimõõt cm,

$B$  — laagri laius (kõrgus) cm.

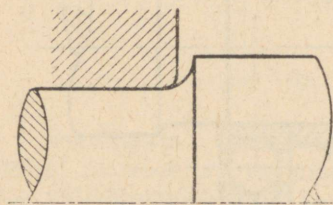
Kunagi ei ole soovitatav veerelaagrite määrimisega liialdada, kuna see kutsub igal juhul laagrisõlmes esile temperatuuri tõusu. Seega, kui laagrisõlmes on laagri normaalse määrimise ja määrideaine kvaliteedi korral märgata temperatuuri tõusu, siis ei ole vajalik mitte määrideaine lisandamine, vaid tuleb selgitada temperatuuri tõusu põhjus.

Temperatuuri tõusu põhjustajaks võib sageli olla kõrgendatud viskoossusega õli või suurendatud pöörete arv.

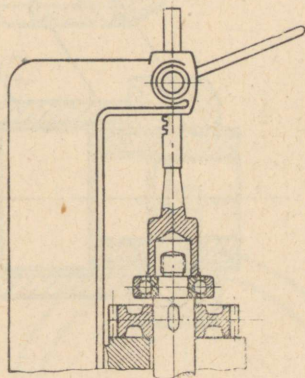
## VII. LAAGRISÕLME KOOSTAMINE JA LAHTIVÕTMINE.

### 1. Veerelaagri istamine völliile.

Laagrialune pind völliil, kuhu laager istatakse, peab olema töödeldud suure täpsuse ja suure pinnapuhtusega. Laagrialuse pinna mõõdete vastavust joonisele tuleb kontrollida vastava täpsusega mõõteriistadega, sealjuures ei tohi kõrvalekaldumised nõutavaist mõõteist lubatud piire ületada. Esineva ovaalsuse ja võimaliku koonilisuse kindlaksmääramiseks tuleb kontrollida ka völli laagrialuse pinna silindrilisust. Et kindlustada laagri täpset asetust völliil (et laager asetseks risti völli teljega), ei tohi völli ristlõike ülemineku-raadius olla suurem kui laagri serva ümardusraadius, kuna vastasel korral laagri rõngas ei toetu mitte völli vastavale ettenähtud pinnale, vaid kumerale pinnale (joon. 155), millest võib tuleneda laagri ebatäpne asetus.



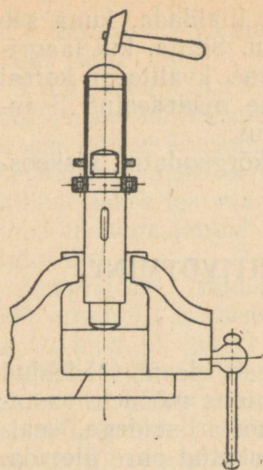
Joon. 155.



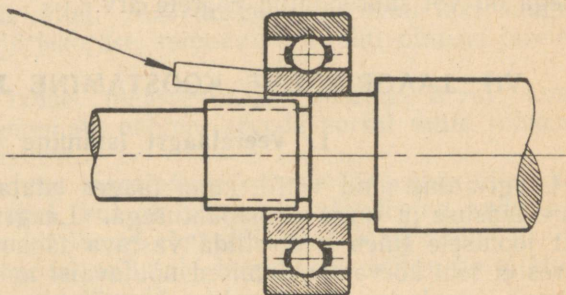
Joon. 156.

Laagri istamine völliile toimub vastavalt istule ja laagri mõõteile kas käsi- või hüdraulilise pressi abil (joon. 156) või käsitsi vastava toru ja vasara abil (joon. 157). Pikkade völliile korral ja erandjuhtudel, näiteks vastavate abinõude puudumisel, võib laagri asetada kohale haamri ja pehmest metallist (vask-) torniga (joon. 158). Viimasel juhul lüüakse laagrit ühtlaste, diametraalselt järgnevate ja ringjooneliselt suunatavate löökidega. Ühelgi juhul ei tohi vasaraga lüüa otseselt veererõngale.

Laagri istamisel ükskõik millise ülaltähendatud moodusega tuleb hool-



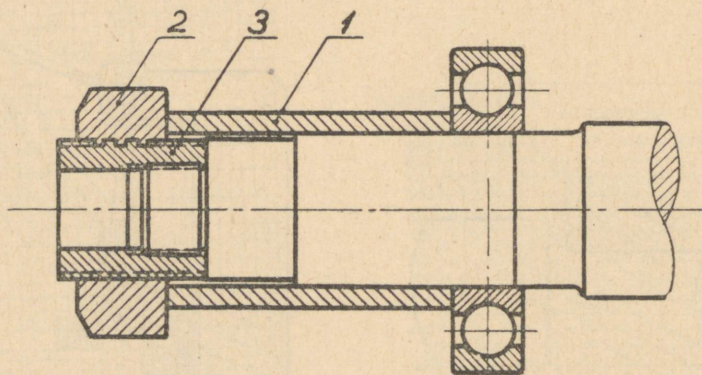
Joon. 157.



Joon. 158.

salt jälgida, et laager ühtlaselt nihkuks ja asetuks täpselt risti võlli teljega. Laagri istamise hõlbustamiseks tuleb võlli laagrialuse pinna algosa faasida.

Juhul, kui võlli ots on varustatud keermega, on otstarbekohane raken-



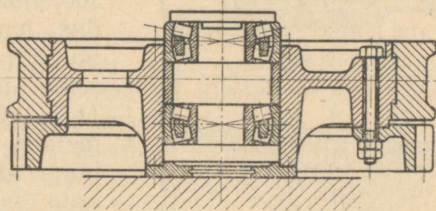
Joon. 159.

dada abinõu (joon. 159), mis koosneb torust 1, mutrist 2 ja erilisest keermetatud muhvist 3. Muhv 3 keeratakse kindlalt võlli otsa ja toru 1 ja mutri 2 abil surutakse laager vajalikule kohale.

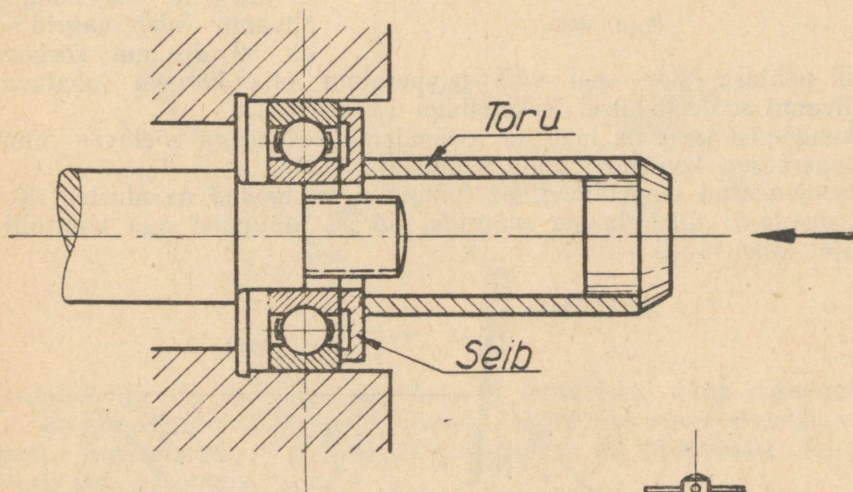
Peaaegu analoogilised moodused on rakendatavad ka laagrite istamisel rummu (joon. 160).

Neil juhtudel, kus laager tuleb istata samaaegselt rummusse ja võllile, tuleb kindlustada ühtlane surve nii laagri sise- kui ka välisrõngale, mille saavutame, kui rakendame vastavat seibi (joon. 161), mis toetub ühtlaselt kummalegi rõngale.

Vetruva välisrõngaga laagri monteerimisel on otstarbekohane kasutada joonisel 162 toodud moodust, kus vetruv rõngas surutakse vastavate kruvide abil ühtlaselt kokku ja lüüakse vasara ja pehmest metallist torni abil ettenähtud kohale.



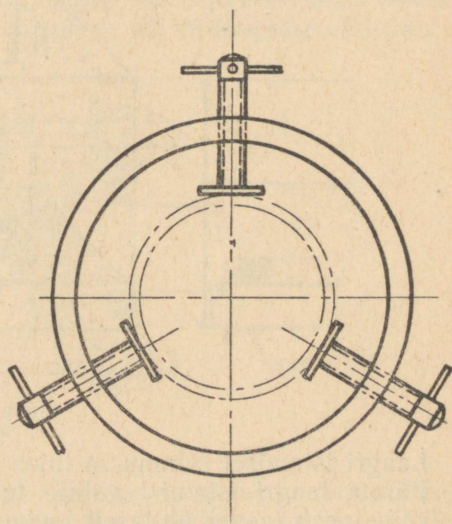
Joon. 160.



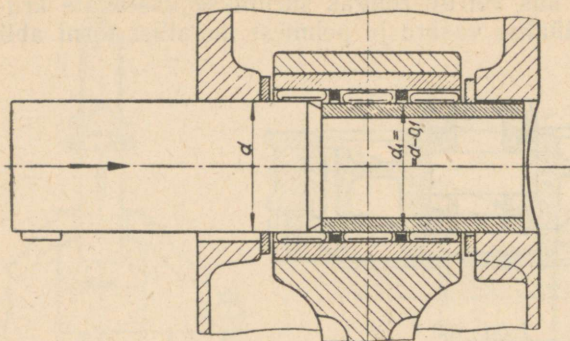
Joon. 161.

Ilma siserõngata nõellaagrite monteerimisel on soovitatav rakendada toru, mille välisläbimõõt on 0,1—0,2 mm väiksem võlli läbimõödust. Nii-suguse toru abil koostatakse laagri nõelrullid ja hiljem surutakse kohale võll võlli (joon. 163), kusjuures toru kaitseb nõelrulle väljalangemise eest. Võlli ots peab igal juhul olema faasitud.

Rakendades laagrite kinnitamiseks võllile pinguga iste, samuti aga ka



Joon. 162



Joon. 163.

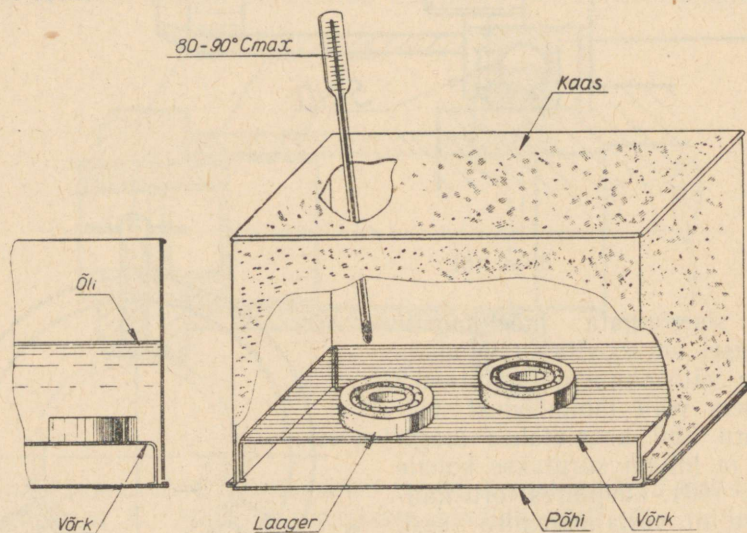
õlivanni põhjast, kuna seal võib temperatuur olla kõrgem lubatavast, eriti õlivanni soojendamisel leeklambiga (joon. 164).

Rakendamist leiab ka laagrite soojendamine elektriga köetavas vannis, kus temperatuuri kontroll toimub automaatselt.

Eelsoojendatud laagri montaaž toimub varemtoodud moodustel. Kohe pärast montaaži tuleb laager määrida, pärast jahtumist aga kontrollida radiaalset lõtku.

suuremamõõteliste laagrite kohale asetamisel, on otsustavkohane laagrid eelsoojendada kuumendatud õlis, temperatuuriga mitte üle  $80^{\circ}\text{--}90^{\circ}\text{C}$ , kuna suurema temperatuuri puhul ( $t > 140^{\circ}\text{C}$ ) võib toimuda metalli lõõmutumine ja laagri detailid võivad kaotada oma esialgsed mehaanilised omadused.

Laagrite soojendamisel õlivannis tuleb laagrid hoida  $50\text{--}70\text{ mm}$  kõrgemal



Joon. 164.

Laagri istamisel rummuse tuleb viimast selleks enne soojendada.

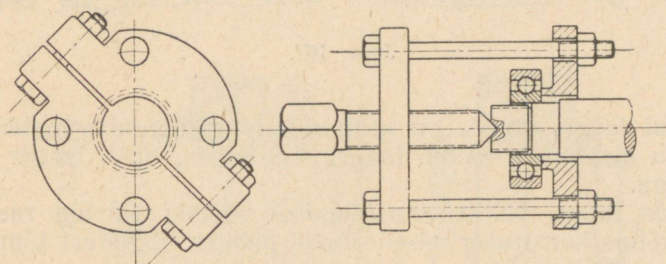
Pärast laagri istamist võllile tuleb kontrollida monteerimise täpsust. Eelkõige peab laager ühtlaselt toetuma ettenähtud tugirõngale, seega peab laager olema täpselt risti võlli teljega. Eriti oluline on see radiaal-

tugilaagrite korral. Laagril peab olema säilinud radiaalne lõtk ja laagri veeretamine ei tohi olla seotud takistuste või pidurdamisega.

## 2. Veerelaagri eemaldamine võllilt.

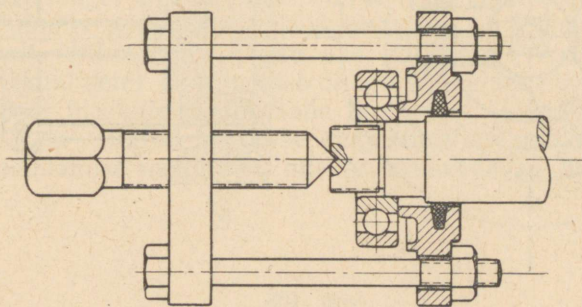
Veerelaagri eemaldamine võllilt toimub juhul, kui laager on kulunud ja tuleb asendada uuega, kui seade kuulub remontimisele või kui laager on valesti monteeritud. Olenevalt ülaltähendatud põhjustest, erinevad ka laagri võllilt eemaldamise moodused. Kui laager osutub veel töö- või taastamiskõlblikuks, tuleb ta võllilt eemaldada ettevaatlikult, hoidudes laagrit vigastamast. Töö või taastamiskõlbmatu laagri eemaldamisel võllilt tuleb hoida ainult võlli kere vigastuste eest.

Laagri võllilt eemaldamiseks on otstarbekohane rakendada erilisi tõmbitsaid.



Joon. 165.

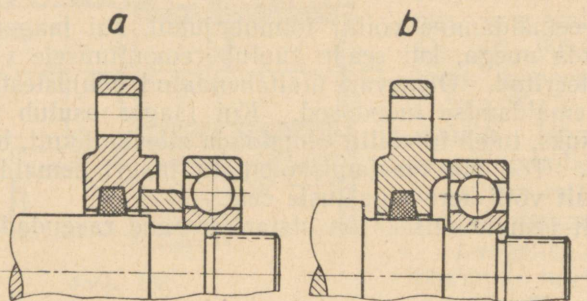
Joonisel 165 on esitatud tüüpilisemad tõmbitsad, mida rakendatakse juhul, kui surveketast on võimalik asetada laagri taha vastu sisemist veerõngast. Surverõngas on kujundatud poolitatuna või väiksemate võlli läbimõõtude puhul loogana.



Joon. 166.

Joonisel 166 on esitatud analoogiline tõmbits, erinedes varemtoodust selle poolest, et siin on kasutatud surverõngana laagrikere äärikut. Esitatud moodus on rakendatav juhul, kui äärikul on vastav serv laagri sise-

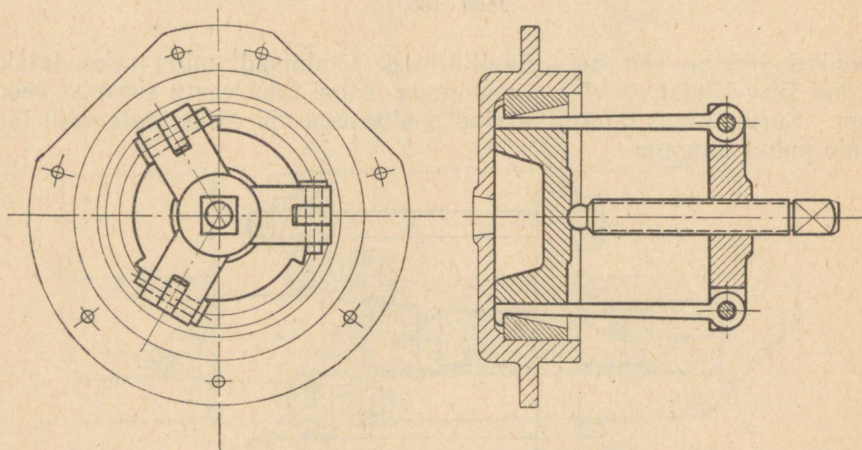
rõnga vastu toetamiseks. Juhul, kui äärik on kujundatud nii, et ta on varustatud servaga toetamiseks laagri välisrõnga vastu (joon. 167 *a*), tuleb kasutada lisaabinõu poolitatud rõnga näol, mis asetatakse laagri sise-rõnga otspinna ja ääriku vahele (joon. 167 *b*).



Joon. 167.

Juhul, kui laagri juurde on asetatud mingisugune eemaldatav detail, mille rummu otspinnale toetub laagri siserõngas, tuleb lager eemaldada koos detailiga.

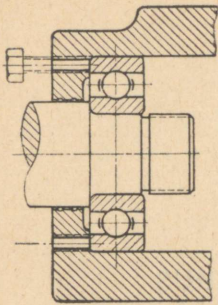
Et vältida laagri võllilt eemaldamisel tekkida võivaid raskusi, tuleb juba laagrisõlme konstrueerimisel silmas pidada võimalusi tõmbitsate toetamiseks.



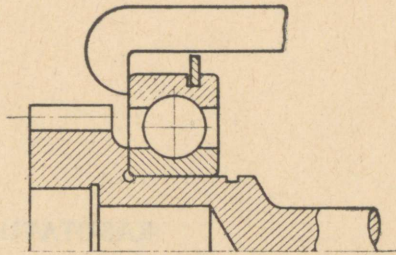
Joon. 168.

Koonilise rull-laagri välisrõnga eemaldamiseks rummust rakendatav tõmbits on esitatud joonisel 168.

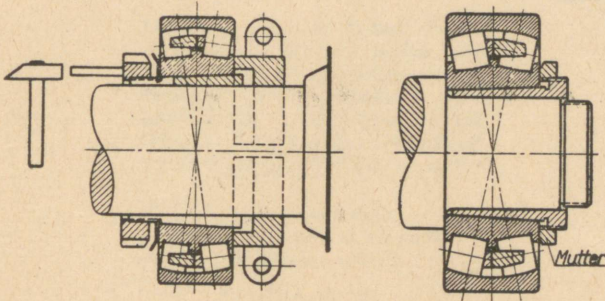
Joonisel 169 näeme laagri eemaldamise võimalust laagri kerest, milleks on rakendatud kolm polti.



Joon. 169.



Joon. 170.



Joon. 171.

Erijuhul, kus laagri eemaldamine võllilt on võimalik ainult välisrõnga kaudu, tuleb toimida suure ettevaatlikkusega — surve jaotumine rõngale olgu võimalikult ühtlane, mis tagab siis ka ühtlase koormuse üksikuile veerekehadele (kuulidele) ja vähendab seega võimalust plastilise deformatsiooni tekkimiseks üksikute veerekehade tugipinnal (joon. 170).

Joonisel 171 on esitatud koonilise pingestusmuhviga kujundatud laagrite võllilt eemaldamise moodused, mis on arusaadavad juba jooniselt.

## KASUTATUD KIRJANDUS.

1. Энциклопедический справочник „Машиностроение“, том 2.
2. Трейер В. Н., Теория и расчёт качения, ОНТИ 1936.
3. Бейзельман Р. А., Слицын Н. А. и Цыпкин Б. В., Подшипники качения, Машгиз, 1945.

*Vastutav toimetaja A. Kaskneem.*

*Tehniline toimetaja K. Einberg.*

*Korrektor E. Feldmann.*

Ladumisele antud 11. II 1952. Trükkimisele antud 3. VII 1952. Trükiarv 2000. Paber 67×95, <sup>1</sup>/<sub>16</sub> Trükipoognaid 8. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 9.2. Arvutuspoognaid 7,87. MB-11845. Trükikoda „Hans Heidemann“, Tartu, Vallikraavi 4. Tellimise nr. 713.

На эстонском языке.

Э. Соонвальд. Детали машин VII.

Подшипники качения.

*Hind rbl. 3.95*





Rbl. 3.95

A-18534

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00454214 0