

UDK 620.1.05:620.1.08:539.434:678.7

Naprava za merjenje lezenja torzijsko obremenjenih polimernih preizkušancev

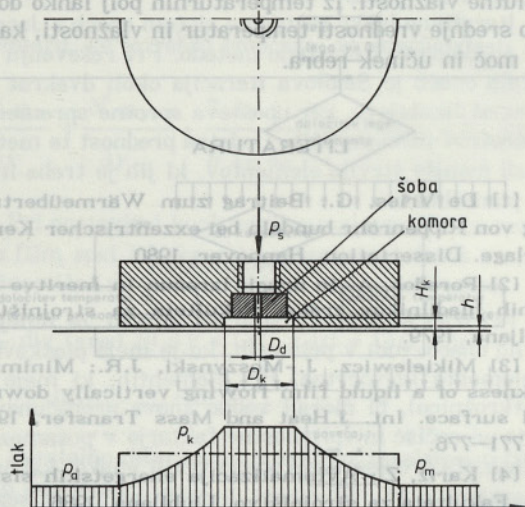
PETER METLIKOVIČ - IGOR EMRI

(Nadaljevanje in konec)

2. OSNOVE KONSTRUIRANJA ZRAČNIH LEŽAJEV

Hidrostatični ležaj oziroma aerostatični ležaj omogočata relativno drsenje površin, pri čemer se tlak prenaša z ene na drugo prek tlaka nekega fluida, ki se nahaja med drsečima površinama. Ta tlak ustvarja črpalka.

Shema hidrostatičnega ležaja je prikazana na sliki 3. Označbe pomenijo: p_s — napajalni tlak, p_k — povprečni tlak v reži, D_d — premer šobe, D_k — premer komore in H_k — višino komore.



Sl. 3. Shema hidrostatičnega ležaja.

Načelo nošenja: fluid pod tlakom p_s vdira skozi šobo v komoro in ustvarja v njej tlak p_k . Ta tlak povzroča silo, ki premaga zunanjo obremenitev in dvigne ležaj. Med površinama nastane reža h .

Zaradi pomikov delov ležaja (sprememba geometrične oblike) in zaradi stisljivosti zraka prihaja do razlik med vstopno in izstopno maso zraka. To lahko vodi do samovzbudnih nihanj pri vseh vrstah ležajev. Ta pojav je zelo pogost. Ležaje oblikujemo vedno tako, da so čim bolj stabilni. To je poglavitni razlog za njihove posebne značilne oblike: velike površine, majhne reže, majhne prostornine komor na izstopu iz šobe in ne preveliki polnilni tlaki. Stabilnost povečamo predvsem z zmanjšanjem prostornine komore in z uporabo čim nižjega polnilnega tlaka. Praviloma se uporabljajo tlaki do 7 bar (6 bar nadtlaka); potrebne nosilnosti se dosežejo z večjimi površinami.

Če je tlak v komori pod polovico napajalnega (za zrak), dobimo v šobo zvočno hitrost toka. Nadaljnje

večanje razmerja p_s/p_k je namenjeno le povečevanju gostote toka skozi dušilko, torej masnega toka, ne pa prostorninskega. Lahko se zgodi, če oblike to dopuščajo, da se kasneje plin pospeši v nadzvočno področje. Tlak se lahko zniža tudi pod zunanji tlak. Pojavi se tlačni val, ki se giblje navznoter, proti toku zraka. Tu tlak narašča in ga spet usmeri ven. Vse to povzroča vibracije in zmanjšuje nosilnost ležaja [18, 19].

Za vse tipe ležajev je značilna uporaba majhnih rež, obdelava zahtevnih oblik z razmeroma ozkimi tolerancami in uporaba dovolj togih in kemijsko obstojnih materialov, saj sta v ležaju vedno kisik in vlaga. Zlasti so primerne bakrove zlitine [19, 20].

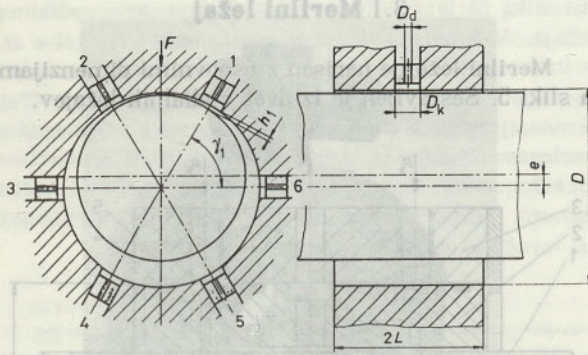
Za delovanje je zelo pomembna neoporečna preskrba z zrakom. Reže so velike le nekaj mikrometrov, torej mora biti zrak brez prahu. Enako pomembna je zelo čista montaža. Zrak iz napeljave je treba obvezno filtrirati zaradi prahu ter ga osušiti in razlojiti. Priporočljiv vrstni red uporabe elementov je: kompresor (ali priključek na napeljavo), razlojevalnik, reduktor tlaka, ventil, fini filter, ležaj.

Vidimo, da so aerostatični ležaji zahtevni, imajo pa vrsto dobrih lastnosti. Predvsem nimajo suhega trenja in tako tudi ni trzavega drsenja (stick - slip efekta), nadalje zmanjšujejo vpliv obdelovalnih napak na natančnost vodenja ter se manj obrabljajo ali pa se sploh ne.

2.1 Oblike in izvedbe aerostatičnih ležajev

Poleg preproste plošče z eno šobo, prikazane na sliki 3, poznamo glede na zahteve najrazličnejše izvedbe aerostatičnih ležajev [19: str. 13–16, 177–271]. Ločimo enostranske ležaje, ki lahko prevzamejo silo le v eni smeri (sl. 3), in dvostranske. Tu si stojita nasproti vsaj dva ležaja, ki lahko prevzameta silo v obe smeri, kakor npr. sani na odrezovalnem stroju ali radialni ležaj. Po obliki poznamo oporne, valjčne (radialne), stožčaste in kroglične ležaje [19: sl. 1.1, 1.2, 1.3].

Na slikah 5, 11 in 16 so prikazani ležaji, kakršne smo izdelali za napravo. Na sliki 4 je prikazan radialni ležaj, ki je značilen za dvostranske ležaje. Gred plava na zračni blazini v sredi ležaja. Zrak se vpihuje skozi šest šob in v reži povzroča tlak. Ko zunanja sila premakne os iz središne lege, se reža na obremenjeni strani zmanjša, zaradi manjše izgube zraka se tlak v njej zviša. Na razbremenjeni strani se tlak zniža, razlika tlakov prevzame zunanjo obremenitev. Ker en sam ležaj ne more prevzeti nobenega momenta pravokotno na os, sta potrebna dva ležaja. Vmes je



Sl. 4. Radialni aerostatični ležaj.

treba narediti prostor za odtok zraka. Tudi na sliki 16 je dvojni radialni ležaj, le da so tu šobe izvrtane v telo ležaja, ki je nepremično, na njem se prosto giblje cevka — kolo za vodenje vrvic.

Ležaj na sliki 11 je kombiniran. Za radialno vodenje skrbi dvojni radialni ležaj. Osnovna je gred podprta z enostranskim opornim ležajem, v katerega se zrak vpihuje skozi 12 šob, kar je razvidno iz prereza.

2.2 Algoritem izračuna radialnega ležaja

Algoritem preračuna je povzet iz knjige A. Wiermerja [19]. Radialni aerostatični ležaj je shematsko prikazan na sliki 9. V neobremenjenem stanju so reže vseh elementov ležaja enake. Ko se os premakne za e , se reže spremenijo. Pod vsako šobo je sedaj druga reža h . Izračunamo jih takole:

$$h_i(\gamma_i) = h_o \left(1 - \frac{e}{h_o} \sin \gamma_i \right); i = 1, \dots, n \quad (2),$$

kjer je n število šob po obodu. Osnovna enačba se glasi:

$$\frac{(p_k/p_a)^2 - 1}{\Phi} \cdot \frac{p_a}{p_s} = \frac{\omega}{(h/h_o)^3} \quad (3a),$$

kjer je ω koeficient geometrije toka:

$$\omega = \frac{3}{2} \cdot \frac{\alpha n D_d^2 L_a}{h_o^3} \cdot \frac{l}{r} \quad (3b),$$

r je polmer ležaja in l razdalja od šobe do roba ležaja (sl. 4), α je hidravlični upor šobe, navadno ima vrednost 0,7, največ pa 1. Koeficient $L_a = n \sqrt{RT}/p_a$ in ima za $p_a = 1$ bar in $T = 293$ K vrednost $L_a = 5,36 \cdot 10^{-5}$ mm.

Funkcija Φ popisuje prostorninski tok skozi šobo kot funkcijo kvocienta p_k/p_s in ima vrednost:

$$\Phi = 0,68; \quad p_a \leq p_k \leq 0,53 p_s \quad (4),$$

$$\Phi = \sqrt{\frac{2K}{K-1}} \cdot \left[\left(\frac{p_k}{p_s} \right)^{2/K} - \left(\frac{p_k}{p_s} \right)^{(K+1)/K} \right]; \quad 0,53 p_s \leq p_k < p_s \quad (4).$$

Za zrak je $K = 1,4$. Izstopni tlak p_a je praviloma enak atmosferskemu tlaku 1 bar.

Za izračun nosilnosti radialnega ležaja izračunamo najprej ω po enačbi (3b). Ležaje dimenzioniramo tako, da ima koeficient geometrične oblike toka vrednosti znotraj meja [19, enačba (3.41)].

$$0,2 (p_s/p_a) \leq \omega \leq 0,7 (p_s/p_a) \quad (5).$$

Nato izberemo napajalni tlak p_s in premik e , pri katerem želimo računati silo. Za vse šobe določimo reže h_i po enačbi (2), ki jih ta premik povzroči. Za i -to režo iz enačbe (3a) z numerično metodo izračunamo tlak p_k , iz njega pa srednji tlak v tem tokovnem elementu po enačbi

$$p_m = \frac{2}{3} \left(p_k + \frac{p_a^2}{p_k + p_a} \right) \quad (6).$$

Ta povzroča, pomnožen s površino, silo na gred ležaja. Vektorska vsota sil posameznih tokovnih elementov da teoretično silo, ki bi jo ležaj moral prevzeti ob tem premiku:

$$F_{\text{teor}} = 2 \frac{\pi}{n} r l \sum_{i=1}^n p_m(\gamma_i) \sin \gamma_i \quad (7).$$

Vendar je dejanska nosilnost ležaja manjša zaradi posebnega pojava pri radialnih ležajih: krožnega toka zraka. Ta tok zmanjšuje tlak v ožji reži in ga zvečuje v širši. Vpliv je tem večji, čim krajši je ležaj nasproti premeru:

$$\xi = l/r \quad (8).$$

Vpliv krožnega toka zraka upoštevamo tako, da teoretično izračunano silo pomnožimo s konstanto:

$$F = F_{\text{teor}} K(\xi) \quad (9),$$

kjer je konstanta $K(\xi) = i/(i + 0,5 \xi + 0,45 \xi^2)$ določena s preizkusi [19, enačba (3.70)].

Značilna nosilnost, to je nosilnost enote vzdolžnega prereza ležaja, je definirana takole:

$$f = \frac{F}{4rl} = \frac{F_{\text{teor}} K(\xi)}{4rl} = f_{\text{teor}} K(\xi) \quad (10);$$

sledi

$$F = f 4r^2 \xi = f_{\text{teor}} 4r^2 \xi K(\xi) \quad (11).$$

Značilna teoretična nosilnost je ob istem premiku e in napajalnem tlaku p_s za nek ω vedno enaka. Iz enačbe vidimo, da je nosilnost F ležaja pri nekem polmeru odvisna le od zmnožka $\varepsilon K(\xi)$. Ta zmnožek doseže maksimum pri $\xi = 1,49$ in ima vrednost 0,54. To je ležaj z največjo nosilnostjo za ta premer, ω in p_s ! Večjega ξ nikdar ne izbiramo, ker je ležaj dražji in slabši.

Ker razdalja med šobama ne sme biti večja od dolžine toka zraka v reži, velja za ležaj s šestimi šobami:

$$\xi_{\min, 6} = 0,96 \quad (12).$$

Pri tem je nosilnost ležaja F le za slabih 10 odstotkov manjša od največje.

Račun velja za laminarni tok, kar je treba preveriti po neenačbi

$$0,68 \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\alpha D_d^2}{b L_a} \cdot \frac{p_s}{p_a} < 2690 \quad (13).$$

Kaj storiti, če je izdelan ležaj nestabilen? Očitno ima prevelik napajalni tlak in premajhen koeficient ω . Če zmanjšanje tlaka ne pomaga, je treba povečati ω z večjimi šobami. Prostornina komore pa naj bo čim manjša.

Pomemben podatek o ležaju je tudi poraba zraka. Izračuna se po enačbi:

$$\dot{V} = \alpha A \frac{p_s}{p_a} \sqrt{RT} \Phi \quad (14).$$

Določiti moramo še dimenzije komore na izstopu iz šobe. Najmanjši premer šobe se izračuna po enačbi:

$$D_k = \frac{D_d^2}{4 h} \frac{p_s}{p_k} \frac{\Phi}{0,45} \quad (15),$$

kjer je D_d premer šobe. Za h in p_k/p_a je treba vzeti vrednosti pri najvišjih obremenitvah. Višino komore H_k se navadno jemlje enako premeru šobe, kar je prikazano na sliki 3.

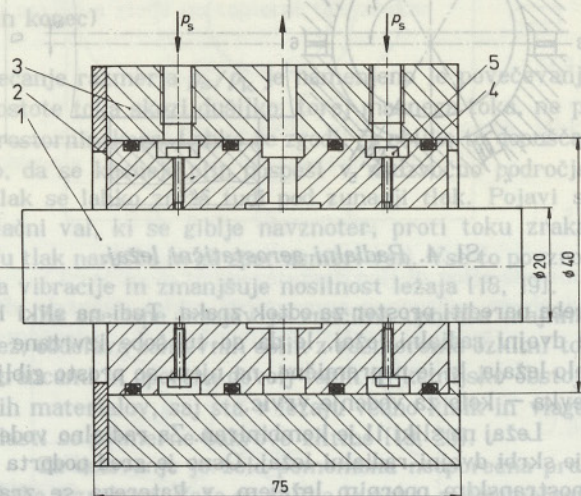
Izračun nosilnosti radialnega ležaja za deset izgibov pomeni kar precej računanja in veliko možnosti za napako. Optimiranje lastnosti ležaja terja veliko takih izračunov, ki omogočajo primerjavo lastnosti. Zato smo se odločili, da izdelamo za izračun lastnosti računalniški program, ki ga predstavljamo v dodatku.

3. PRIKAZ IZDELANIH LEŽAJEV

V uvodu sta bili na sliki 2 shematsko prikazani naprava in opisana funkcija posameznih ležajev. Tukaj prikazujeva lastnosti izdelanih ležajev. Elemente so izdelali v tehnološkem laboratoriju na FS.

3.1 Merilni ležaj

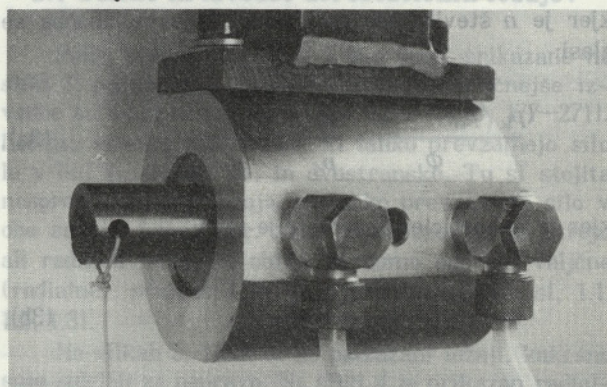
Merilni ležaj je narisan z osnovnimi dimenzijami na sliki 5. Sestavljen je iz dveh radialnih ležajev.



Sl. 5. Merilni ležaj.

1 - gred, 2 - telo ležaja, 3 - okrov, 4 - tesnilka, 5 - šoba

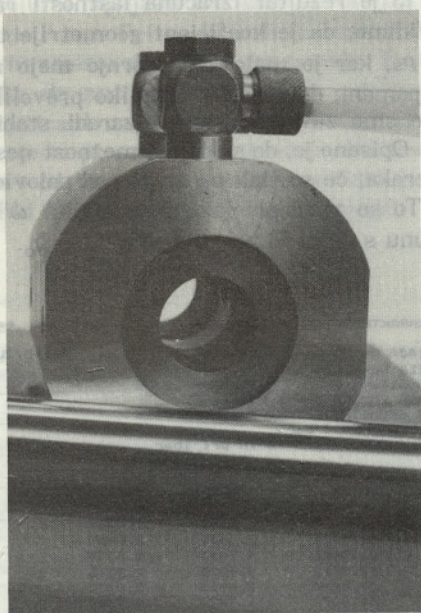
Oсна gred ni vodena, ker želimo omogočiti pomike v smeri osi. Gred 1 je iz jekla, trdo kromana in brušena, telo ležaja 2 iz zlitine bakra s kositrom CuSn14, okrov 3 pa iz aluminijeve zlitine AlMg3. Zrak s tlakom p_s se dovaja v ležaj skozi okrov in se krožno porazdeli okoli šob 5. Za zatesnitev kolesa v okrovu rabijo obročaste gumene tesnilke 4. Fotografiji ležaja sta na slikah 6 in 7. Na sliki 7 gred ni v telesu, tako da se vidi šobe.



Sl. 6. Merilni ležaj.

Za izračun radialnih ležajev s 6 šobami smo izdelali računalniški program, opisan v poglavju 5.

Na sliki 8 je prikazan izpis rezultatov izračuna lastnosti enega od obeh ležajev. Program izračuna lastnosti za deset premikov. Zgoraj so izpisani glavni podatki o ležaju, spodaj pa so tabelirane lastnosti kot funkcije premika gredi iz srednje lege: nosilnosti F ,



Sl. 7. Merilni ležaj (odprt).

***** KARAKTERISTIKA RADIALNEGA ZRACNEGA LEŽAJA *****

PREMER LEŽAJA $D = 20$ mm DOLŽINA $2L = 28$ mm $K_{sl} = D/2L = 1.4$
 ZACETNA REŽA $H_0 = .03$ mm
 SOBA: UPOR $\alpha = .7$ PREMER = .3 mm
 PREMER KOMORE $D_k = 1.367$ mm
 KOEFICIENT GEOMETRIJE TOKA $\Omega = 1.5758$
 NAPAVALNI TLAK $P_s = 2$ bar
 PORABA ZRAKA $V_z = .33351$ m³/h pri 1 bar

IZMIK (mm)	F (N)	K (N/mikm)	Pk (bar)
0.0000	0.0000	.6418	1.6418
.0030	1.9253	.6001	1.5579
.0060	3.7257	.5209	1.4815
.0090	5.2892	.4145	1.4141
.0120	6.5317	.3053	1.3561
.0150	7.4476	.2152	1.3067
.0180	8.0933	.1530	1.2649
.0210	8.5524	.1136	1.2297
.0240	8.8932	.0893	1.1999
.0270	9.1611	.0736	1.1747
.0300	9.3820	0.0000	1.1535

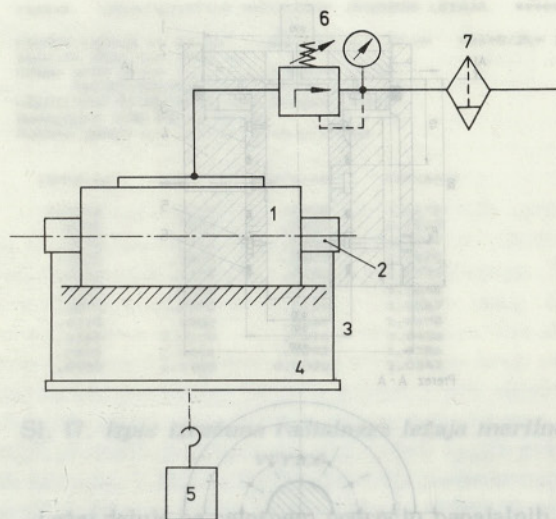
Sl. 8. Izpis rezultatov izračuna merilnega ležaja.

togost K in tlak komore v tisti reži, ki se najbolj odpira. Ležaj bo nosil v napravi praktično le težo gredi, ki je 6 N. Zato bo dovolj napajalni tlak 2 bar.

Za ponazoritev, kako pomembno je izbrati optimalne dimenzije, navajava rezultate še dveh izračunov. Če zvečamo režo na 0,1 mm, je togost v srednji legi 100-krat manjša in takšen ležaj ni uporaben. Koeficient geometrične oblike toka ω je premajhen. Če vzamemo premajhno režo, za naš ležaj npr. 0,005 mm, ima ležaj več 100-krat manjšo nosilnost od izdelanega, koeficient geometrične oblike toka ω je prevelik. Iz tega izhaja, kako pomembno se je držati mej iz nenačbe (5). Posebno je treba paziti na to pri določanju tolerančnih mej za izdelavo in pri različnih toplotnih raztezkih v obratovanju pri različnih temperaturah.

Ležaj deluje stabilno na vsem področju napajalnih tlakov od 1 do 5 bar.

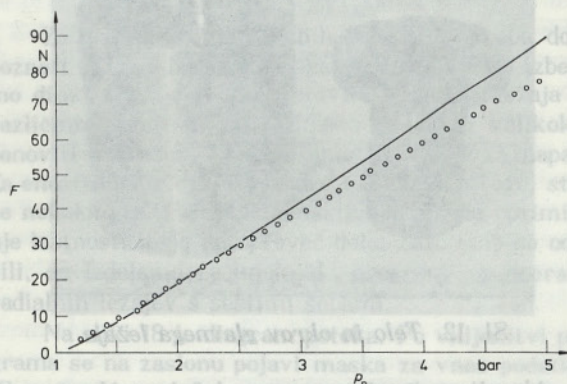
S preizkusi smo določili nosilnost obeh radialnih ležajev. Shematsko je priprava prikazana na sliki 9.



Sl. 9. Shema naprave za eksperimentalno določitev nosilnosti.

1 – ležaj, 2 – gred, 3 – vrvica, 4 – prečka, 5 – utež, 6 – regulator tlaka, 7 – ventil.

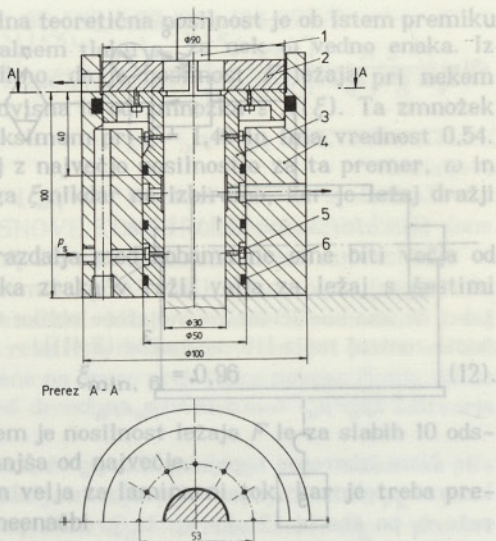
Ležaj L smo postavili v vodoravno lego. Na gred 2 smo prek vrvic 3 in prečke 4 obesili utež. Nato smo z regulatorjem tlaka 6 povečevali napajalni tlak toliko časa, da je gred zaplavala na zračni blazini, kar smo lahko preverili z majhnimi pomiki osi. Merili smo z različnimi utežmi. K masi uteži smo prišteli tudi maso gredi, vrvic in prečke. Tlak smo merili z Bourdonovo cevjo $\Phi 80$ mm, razreda 2. Izmerki so vrisani s krogci na sliki 10. Nosilnost se skoraj linearno zvečuje z napajalnim tlakom. S polno črto je prikazana računska nosilnost, sila ob največjem premiku, izračunana po programu. Vidimo, da je ujemanje dobro.



Sl. 10. Eksperimentalna in teoretična odvisnost nosilnosti ležaja od napajalnega tlaka.

3.2 Glavni ležaj

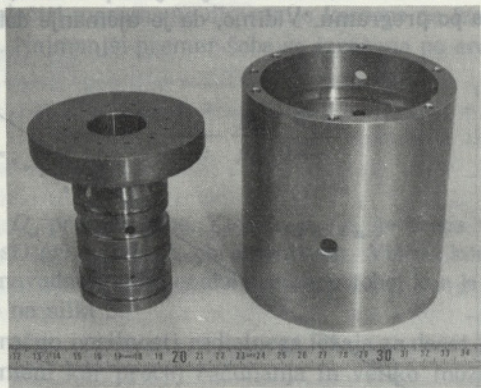
Na sliki 11 je prikazan glavni ležaj z osnovnimi dimenzijami. Radialno je gred vodena v dveh radialnih ležajih, lastno težo gredi pa prevzema osni tlačni ležaj.



Sl. 11. Glavni ležaj.

1 - gred, 2 - obroč, 3 - telo ležaja, 4 - okrov,
5 - šoba, 6 - tesnilka

Gred 1 je iz jekla, trdo kromana in brušena. Obroč 2 je iz zlitine bakra s kositrom CuSn14 in je natisnjen na gred. Zrak odteka z zgornje strani zgornjega radialnega ležaja in z notranjega roba osnega ležaja v ozračje skozi utore v gredi. Telo ležaja 3 je iz zlitine bakra s kositrom CuSn14, okrov 4 je iz aluminijeve zlitine AlMg3. Za zatesnitev telesa v okrovu rabijo obročaste gumene tesnilke 6. Šobe iz zlitine bakra s cinkom 5 so uvite v telo in zatesnjene s silikonskim kitom. Telo in okrov ležaja sta prikazana na sliki 12.



Sl. 12. Telo in okrov glavnega ležaja.

Algoritem izračuna osnega ležaja najdemo v [1] in ga tukaj ne navajava, še posebej, ker enostranski ležaji sami prilagodijo rezo obremenitvi, zato preračun ni tako pomemben.

Pod osnim ležajem glavnega ležaja (sl. 11) sta dva radialna ležaja s 6 šobami, ki prevzemata prečne sile in momente prečno na os. Premer ležaja smo izbrali $D = 30$ mm, dolžina toka zraka (polovična dolžina ležaja) $l = 20$ mm, začetna reža $h_0 = 0,024$ mm.

Na sliki 13 je rezultat izračuna lastnosti radialnega ležaja. Vidimo, da je koeficient geometrije toka $\omega = 0,73 \cdot p_s$, kar je malo čez zgornjo mejo neenačbe (5), kar pomeni, da so šobe nekoliko prevelike. Take dimenzije smo zavestno izbrali zaradi stabilnostnih razlogov. Opisano je, da se pojavi možnost nestabilnega toka zraka, če se tlak p_k zniža pod polovico napajalnega. To se zgodi pri ležajih z večjim ω kasneje, na izračunu s slike 13 pri premiku $0,5 \cdot h_0$.

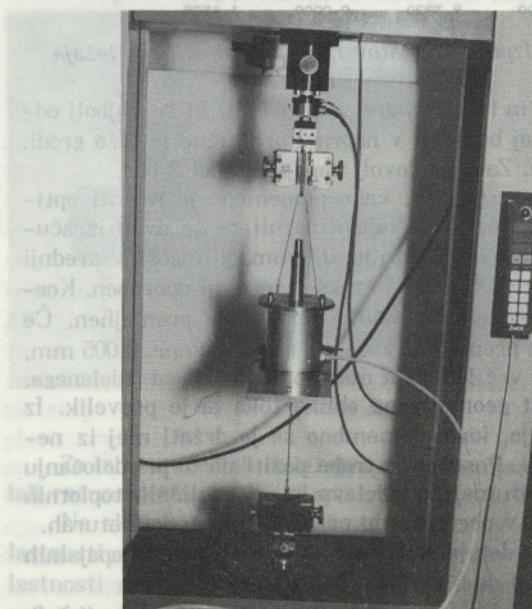
***** KARAKTERISTIKA RADIALNEGA ZRAČNEGA LEŽAJA *****

PREMER LEŽAJA $D = 30$ mm DOLŽINA $2L = 40$ mm $K_{si} = D/2L = 1.3333$
ZACETNA REŽA $h_0 = 0.024$ mm
ŠOBA: UPOR $Al_{14} = .7$ PREMER = .3 mm
PREMER KOMORE $D_k = 1.944$ mm
KOEFCIENT GEOMETRIJE TOKA $\Omega_{\omega} = 2.9313$
NAPAJALNI TLAK $P_s = 4$ bar
PORABA ZRAKA $V_z = .77515$ m³/h pri 1 bar

IZMIK (mm)	F (N)	K (N/mikm)	Pk+ (bar)
0.0000	0.0000	5.6342	2.8864
.0024	13.5222	5.3429	2.6469
.0048	26.3450	4.7443	2.4295
.0072	37.7313	3.9278	2.2375
.0096	47.1580	2.8512	2.0655
.0120	54.0008	1.9822	1.9260
.0144	58.7580	1.3691	1.8088
.0168	62.0438	.9951	1.7100
.0192	64.4320	.7765	1.6259
.0216	66.2955	.6437	1.5542
.0240	67.8404	0.0000	1.4923

Sl. 13. Izpis rezultatov izračuna glavnega radialnega ležaja.

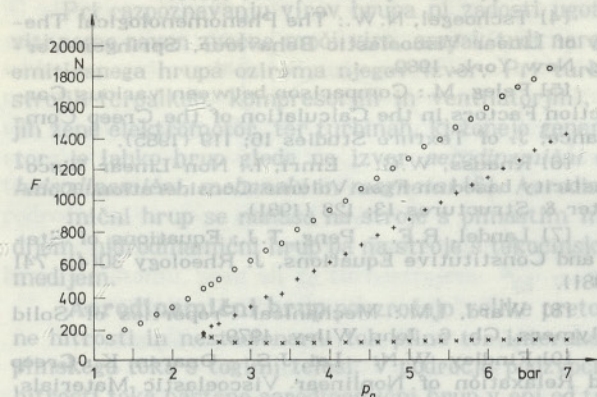
Gred neobremenjenega ležaja, priklapljenega na zrak, zelo lepo plava na zračni blazini. S preizkusi smo določili nosilnost osnega ležaja. Ležaj smo z žicami pritrdili v univerzalni preizkuševalnik ZWICK 1474 kakor prikazuje fotografija na sliki 14. Doza za meritev sile je bila razreda 0,1, Bourdonova cev s $\phi 80$ mm pa razreda 2.



Sl. 1. Pritrditev ležaja za določitev nosilnosti.

UDK 534.83.62-135

Absolutni napajalni tlak smo nastavljali po korakih od 1 do 7 bar. Pri vsakem tlaku smo povečali silo na ležaj in zapisovali, kdaj ležaj nasede. To smo ugotovili tako, da smo gred nihali okoli vzdolžne osi, kar je napeta žica dovoljevala. Ko so se nihanja naenkrat ustavila, je to pomenilo nased ležaja. Nosilnost osnega ležaja v odvisnosti od napajalnega tlaka je prikazana na sliki 15; izmerki so vrisani s krogci.

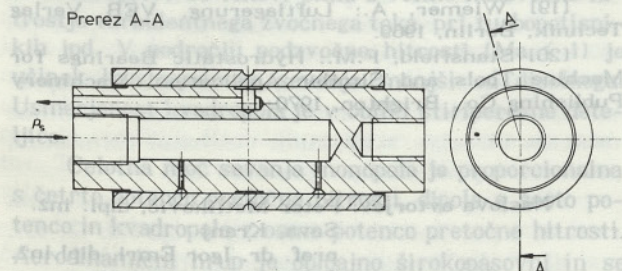


Sl. 15. Diagram nosilnosti osnega ležaja.

Pri višjih tlakih se je pojavila nestabilnost toka zraka. Neobremenjen ležaj je deloval stabilno, pri silah okrog 100 N je začel presunljivo cviliti in vibrirati, umiril se je šele, ko se je sila dovolj zvečala. Potem je deloval stabilno do meje svoje nosilnosti. Meji nestabilnosti sta na sliki 15 prikazani s križci. Pri razbremenjevanju se nestabilnost pojavi pri enakih silah. Ta nestabilnost se pojavi zaradi tlaka v komori, ki je nižji kakor $0,5 \cdot p_s$. Zato je ta nestabilnost neodpravljiva. Lahko bi jo odpravili le konstrukcijsko, z izvedbo dvostranskega osnega ležaja.

3.3 Ležaj merilne vrvice

V napravi potrebujemo še ležaj za vodenje merilne vrvice. Izvedba je prikazana na sliki 16. Ležaj je namenjen za obremenitve s silo do 2 N. Na gredi sta dva radialna ležaja. Šobe so zvrtnane v telo ležaja, ki je nepremično. Na njem se prosto giblje cevka, po kateri bo tekla vrstica. Telo ležaja in cevka sta iz zlitine bakra s kositrom CuSn14. Izpis izračuna ležaja z dimenzijami je prikazan na sliki 17.



Sl. 16. Ležaj merilne vrvice.

***** KARAKTERISTIKA RADIALNEGA ZRAČNEGA LEŽAJA *****

PREMER LEŽAJA $D = 20$ mm DOLŽINA $2L = 20$ mm $K_{si} = D/2L = 1$
 ZACETNA REŽA $H_0 = .045$ mm
 SOBA: UPOR $\alpha_{if} = .7$ PREMER = .5 mm
 PREMER KOMORE $D_k = 2.138$ mm
 KOEFICIENT GEOMETRIJE TOKA $\Omega_{\text{omega}} = .92642$
 NAPAJALNI TLAK $P_s = 1.15$ bar
 PORABA ZRAKA $V_z = .23137$ m³/h pri 1 bar

IZMIK (mm)	F (N)	K (N/mikm)	Pk+ (bar)
0.0000	0.0000	.0458	1.1176
.0045	.2059	.0423	1.1063
.0090	.3961	.0366	1.0949
.0135	.5607	.0299	1.0840
.0180	.6953	.0236	1.0739
.0225	.8015	.0195	1.0648
.0270	.8892	.0154	1.0567
.0315	.9586	.0130	1.0498
.0360	1.0169	.0110	1.0438
.0405	1.0666	.0092	1.0386
.0450	1.1080	0.0000	1.0342

Sl. 17. Izpis izračuna radialnega ležaja merilne vrvice.

Ležaj deluje na celotnem področju napajalnih tlakov do 5 bar. Ker bo v napravi prevzemal majhne sile, bo napajalni tlak majhen, majhna pa bo tudi poraba zraka čeprav so šobe precej velike.

4. SKLEP

V članku so podane teoretične osnove in nanizane praktične težave pri merjenju funkcije modula lezenja. Konstrukcijsko izvedbo dopolnjujejo preračun in lastnosti zračnih ležajev, uporabljenih v napravi. Ležaji so pokazali pričakovane lastnosti, kar potrjuje, da predstavljeni algoritem preračuna ustreza.

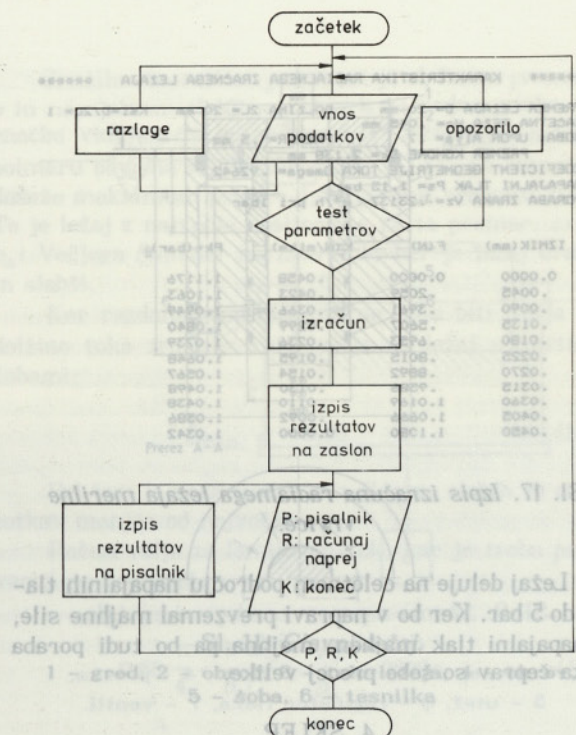
Opis naprave bo objavljen v naslednjem članku z enakim naslovom.

5. DODATEK: IZVEDENSKI PROGRAM ZA PRERAČUN RADIALNIH LEŽAJEV S ŠESTIMI ŠOBAMI

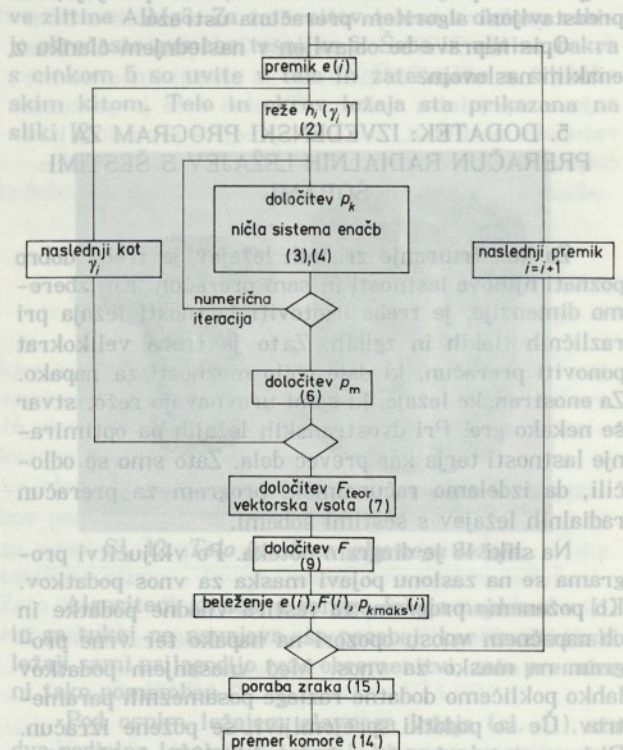
Za konstruiranje zračnih ležajev je treba dobro poznati njihove lastnosti in sam preračun. Ko izberemo dimenzije, je treba ugotoviti lastnosti ležaja pri različnih tlakih in zgibih. Zato je treba velikokrat ponoviti preračun, ki daje obilo možnosti za napako. Za enostranske ležaje, ki sami uravnavajo rezo, stvar še nekako gre. Pri dvostranskih ležajih pa optimiranje lastnosti terja kar preveč dela. Zato smo se odločili, da izdelamo računalniški program za preračun radialnih ležajev s šestimi šobami.

Na sliki 18 je diagram poteka. Po vključitvi programa se na zaslonu pojavi maska za vnos podatkov. Ko poženemo program, ta testira vhodne podatke in ob napačnem vnosu opozori na napako ter vrne program na masko za vnos. Med vnašanjem podatkov lahko pokličemo dodatne razlage posameznih parametrov. Če so podatki sprejemljivi, se požene izračun. Diagram poteka izračuna je na sliki 19 in je identičen algoritmu v poglavju 2.

Primeri rezultatov za merilni ležaj, glavni ležaj in ležaj vrvice so na slikah 9, 13 in 17.



Sl. 18. Diagram poteka programa.



Sl. 19. Diagram poteka izračuna.

(V oklepajih so številke enačb.)

6. LITERATURA

- [1] Ferry, J.D.: Viscoelastic Properties of Polymers, John Wiley, 1970.
- [2] Knauss, W.G. - Emri, I.: Volume Change and Nonlinearly Thermo-Viscoelastic Constitution of Polymer. *Polymer Engineering and Science*, 27; 68 (1987).
- [3] Knauss, W.G. - Kenner, V.H.: On the Hydrothermomechanical Characterization of Polyvinyl-acetate. *J. Applied Physics* 51; 5131 (1980).
- [4] Tschoegel, N.W.: The Phenomenological Theory of Linear Viscoelastic Behaviour, Springer-Verlag, New York, 1989.
- [5] Peleg, M.: Comparison between various Correction Factors in the Calculation of the Creep Compliance, *J. of Texture Studies* 16; 119 (1985).
- [6] Knauss, W.G. - Emri, I.: Non-Linear Viscoelasticity based on Free Volume Consideration. *Computer & Structures* 13; 123 (1981).
- [7] Landel, R.F. - Peng, T.J.: Equations of State and Constitutive Equations, *J. Rheology* 30(4); 741 (1981).
- [8] Ward, I.M.: Mechanical Properties of Solid Polymers, Ch. 6, John Wiley, 1979.
- [9] Findley, W.N. - Lai, J.S. - Onaran, K.: Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials, North-Holland Publ. Comp., 1976.
- [10] Link, G. - Schwarzl, F.R.: Measuring Device for Precise Evaluation of Torsional Creep and Recovery Data, *Rheologica Acta* 24; 211 (1985).
- [11] Sarabi, B.: Das Anstrengungsverhalten von Polymerwerkstoffen infolge ein und zweiachsigen Kriechens (dokt. disert.), Universität-Gesamthochschule Kassel, 1984.
- [12] Emri, I.: Prehodni pojavi pri preizkušanju relaksacije polimerov, *Strojniški vestnik* 1985/7-9 str. 140.
- [13] Metlikovič, P.: Zasedovanje mehanskih lastnosti vulkanizirane gume v odvisnosti od sestavnih komponent, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, diplomsko delo, št. 3233 (1983).
- [14] Kenner, W.H. - Knauss, W.G. - Chai, H.: A Simple Creep Torsionmeter and its Use in the Thermomechanical Characterization of a Structural Adhesive, *Experimental Mechanics* 22(2); 75 (1982).
- [15] Plazek, D.J.: Magnetic Bearing Torsional Creep Apparatus, *J. Polymer Science, Part A-2*, 6; 621 (1968).
- [16] Struik, L.C.E.: Physical Aging in Amorphous Polymers and Other Polymers, Elsevier Scientific Publ. Comp., 1978.
- [17] Schwarzl, F.R. - Zehradnik, F.: The Time Temperature Position of the Glass-Rubber Transition of Amorphous Polymers and the Free Volume, *Rheologica Acta* 19; 137 (1980).
- [18] Gross, W.A.: Gas Film Lubrication, J. Wiley, 1962.
- [19] Wiemer, A.: Luftlagerung. VEB Verlag Technik, Berlin, 1969.
- [20] Stansfield, F.M.: Hydrostatic Bearings for Machine Tools and Similar Application, Machinery Publishing Co., Brighton, 1970.

Naslova avtorjev: Peter Metlikovič, dipl. inž.
Sava, Kranj
prof. dr. Igor Emri, dipl.inž.
Fakulteta za strojništvo,
Ljubljana