

Tok tekočine skozi reže v hidravličnih sestavinah

(Tok kapljevine skozi reže med soležnimi vzporednimi ploskvami brez medsebojne relativne hitrosti)

Fluid Flow Through Gaps in Hydraulic Components

(Liquid Flow Through Gaps Between Parallel Surfaces without Relative Velocity)

Jože Pezdirnik

Prispevek podaja najprej izvajanje enačbe za izračun velikosti puščanja skozi reže v sestavinah pogonsko-krmilne hidravlike. Pri izvajanju enačbe so privzete nekatere poenostavitve, ki so navedene tudi v drugih literaturnih virih, ki pa večinoma podajajo samo končne enačbe za izračun toka puščanja kapljevine skozi reže. Te enačbe so v nekaterih primerih, ko je upoštevana tudi izsrednost lege bata proti izvrtini, zapisane v napačni obliki za tisti člen, ki v enačbi upošteva izsrednost.

Pričujoči prispevek podaja, poleg nekoliko drugačnega izvajanja kakor v [1], dodatno še oceno točnosti matematičnega zapisa za spreminjanje višine reže po obodu pri izsredni legi bata s krožnim prečnim presekom v izvrtini s prav tako krožnim prerezom in določenim, sicer majhnim, ohlapom med obema elementoma.

Na koncu prispevka je podana in razložena tudi primerjava med izračunanimi in merjenimi vrednostmi za tok notranjega puščanja skozi režo v serijsko izdelanem ventilu. Za izračun so uporabljene tu izvedene enačbe. Tok skozi reže znotraj hidravličnih sestavin, torej notranje puščanje kapljevine, seveda ni vidno, ima pa velik vpliv na gospodarnost hidravličnih naprav in je neposredno odvisno tudi od vzdrževanja čistoče tekočin.

© 2001 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: reže, ohlapi, puščanje, bati, izvrtine)

The paper gives a derivation of an equation for calculating the amount of leakage flow through gaps in the components of a power-control hydraulics system. In deriving the equation some simplifications were adopted, these are also stated in other reports that mostly give final equations only for the calculation of the fluid leakage flow through gaps. In some cases, where the eccentricity of the piston position against the borehole is considered, these equations are wrongly written for the part that considers the eccentricity.

Besides a somewhat different derivation than presented in [1], this paper also gives an evaluation of the exactness of the mathematical formulation for changing the gap size by the circumference of the circular cross-section-shaped spool at the eccentric position in the borehole with a circular cross-section shape, too. There is a very small laxity between both elements.

At the end of the paper a comparison between the calculated and measured values for the internal leakage flow through the gap in a serially produced valve is given and explained. For the calculation, the equations derived in this paper are used. The liquid flow through gaps inside the hydraulic components being not visible, nevertheless largely influences the economy of hydraulic systems. Its amount depends directly on the maintenance of the cleanliness of hydraulic fluid.

© 2001 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: gapes, clearances, leakage, pistons, holes)

0 UVOD

Reže najdemo v večini sestavin pogonsko-krmilne hidravlike. Le v skupini, ki jo opredelimo kot pasivne in pomožne sestavine (rezervoarji, cevovodi, filtri itn.), je večje število takšnih, pri katerih rež ne zasledimo.

Pod nazivom reža razumemo v pogonsko-krmilni hidravliki običajno prostor med dvema

elementoma, omejen največkrat s kovinskimi površinami. Višina reže je praviloma mnogokrat manjša od njegove širine in dolžine. Površine elementov, ki tvorijo režo, so praviloma ravne ali ločne oblike. Elementa, ki tvorita režo, imata lahko neko medsebojno relativno hitrost, ali pa ne. V pričujočem prispevku bomo obravnavali tok kapljevine skozi reže, katerih mejne površine nimajo medsebojne relativne hitrosti.

Tok skozi reže obravnava številna literatura s področja pogonsko-krmilne hidravlike. Ker je problematika že zelo dolgo znana, jo obravnavajo že starejše literature. Je pa tudi še vedno, oziroma celo vse bolj aktualna; zato je podana tudi v novejših knjigah. Nekateri viri, npr. [2], podajajo na kratko fizikalna izhodišča in samo končno enačbo za tok skozi kolobarjasto režo pri centrični legi bata v izvrtini, [3] podaja tudi za izsredno lego, vendar, kakor je razvidno iz pričujočega izvajanja in druge literature, nekoliko nepravilno enačbo. Za obe navedeni legi bata v izvrtini sta podani, brez izvajanja, le končni enačbi tudi v [4], vendar je tudi tu del enačbe, ki upošteva izsrednost, napačen. Starejša literatura [5] podaja fizikalna in matematična izhodišča za izvajanje, vendar ne obravnava toka skozi kolobarjasto režo pri izsredni legi bata v izvrtini, pač pa le v besedilu navaja, da je v tem primeru tok lahko do dvakrat večji kot pri centrični legi. Literaturi [6] in novejša [7] podajata, brez izvajanja, samo končno enačbo, ki je tudi pravilna, za izračun toka kapljevine skozi kolobarjasto režo pri izsredni legi bata v izvrtini. V primerjavi z doslej tu navedeno literaturo je tok kapljevine skozi reže še najbolj podrobno obravnavan v [8], vendar je tudi tu del enačbe, ki upošteva izsrednost, podan brez izvajanja in napačno.

Velikosti rež v hidravličnih sestavinah imajo bistven vpliv na njihov prostorninski izkoristek in s tem na tovrstni izkoristek celotne hidravlične naprave. V sestavinah so torej zaželeni čim manjši ohlapi med mirujočimi elementi in elementi, ki so namenjeni tudi gibanju. Vendar določen ohlap zahteva različna toplotna razteznost elementov pri spremembah temperature in tudi nepravilnost obrisov elementov oziroma odstopanje dejanskih oblik elementov od idealnih.

V tem prispevku je izvedena enačba za izračun toka kapljevine skozi, po višini se spreminjajočo, kolobarjasto režo, ki nastane v ohlapu med izvrtino in v njej izsredno, a soosno ležečim batom. Iz te enačbe dobimo tudi enačbo za izračun toka kapljevine skozi centrično kolobarjasto režo. Le-to se lahko izvede tudi na zelo preprost način na

podlagi analogije tečenja skozi režo med dvema vzporednima ravnima ploščama. Ta enačba je v vseh virih napisana enako, ni sporna in je zato tu ne bomo izvajali.

Za praktično uporabo največkrat zadošča preprostejša in zato ne popolnoma točna rešitev, ki jo dobimo z izvajanjem ob upoštevanju nekaterih poenostavitev. Za obravnavanje toka kapljevine skozi reže v nadaljevanju vzamemo naslednje poenostavitve: predpostavimo, da je kapljevina nestisljiva, gostota in kinematična viskoznost kapljevine sta pri toku skozi režo nespremenljivi, tok naj bo laminaren, tokovnice so vzporedne.

1 RAVNINSKI LAMINARNI TOK MED VZPOREDNI MA PLOŠČAMA

Za označbe po sliki 1 lahko enačbo iz [9] za tok kapljevine skozi režo zapišemo v obliki:

$$\frac{dp}{dx} = - \frac{12 \cdot \rho \cdot v}{\delta^3} \cdot \frac{dQ_L}{dz} \quad (1),$$

kjer pomenijo:

ρ ...gostoto kapljevine v kg/m^3

v ...kinematično viskoznost v m^2/s

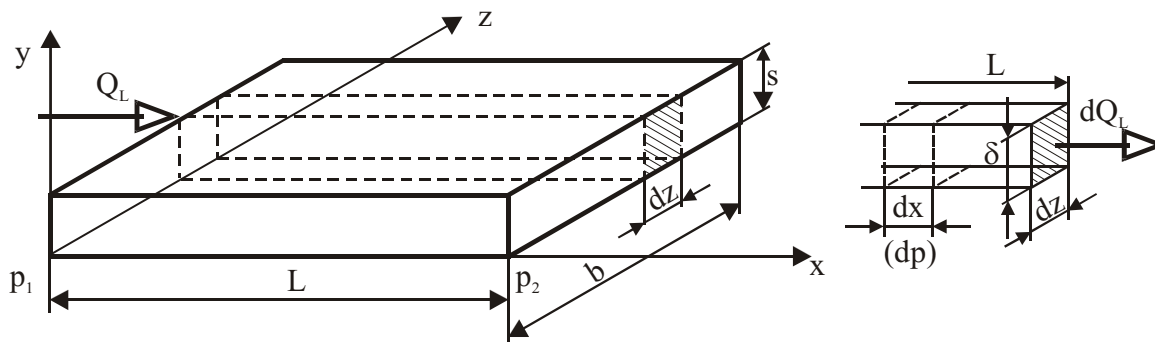
δ ...višino reže v m

Ker skozi režo običajno ne teče glavni hidravlični tok, pač pa le tok notranjega puščanja, ga označimo s Q_L . Tok Q_L teče med ploščama širine b na dolžini L . Pri predpostavljenem laminarnem toku pride do padca tlaka od vrednosti p_1 na vrednost p_2 , kjer velja, da je $p_1 > p_2$. Razliko tlakov v nadaljevanju izražamo tudi v obliki $\Delta p = p_1 - p_2$.

Skozi diferencialni del širine reže dz teče diferencialni del hidravličnega toka dQ_L . Ob predpostavki, da so tokovnice vzporedne, je padec tlaka za vsak diferencialni del širine reže enak. Padec tlaka na dolžini reže L je določen z enačbo

$$\int_{p_1}^{p_2} dp = - \frac{12 \cdot \rho \cdot v}{\delta^3} \cdot \frac{dQ_L}{dz} \cdot \int_0^L dx \quad (2).$$

Z rešitvijo enačbe (2) dobimo izraz za razliko tlakov oziroma padec tlaka pri toku



Sl. 1. Tok kapljevine skozi ravno režo med dvema ploščama

kapljevine skozi režo. Pri praktični rabi je največkrat razlika tlakov Δp znana, iščemo pa tok notranjega puščanja Q_L . Zato dobimo enačbo za Δp zapišemo v obliki, ki podaja diferencial toka notranjega puščanja:

$$dQ_L = \frac{\Delta p \cdot \delta^3}{12 \cdot \rho \cdot \nu \cdot L} \cdot dz \quad (3).$$

Če je višina reže konstantna, torej $\delta = \text{konst.} = s$, dobimo celotni tok Q_L skozi režo širine b in dolžine L (sl. 1) z integriranjem desne strani enačbe (3) v območju od 0 do b , iz česar izhaja znana enačba:

$$Q_L = \frac{\Delta p \cdot b \cdot s^3}{12 \cdot \rho \cdot \nu \cdot L} \quad (4).$$

2 TOK SKOZI KOLOBARJASTE REŽE

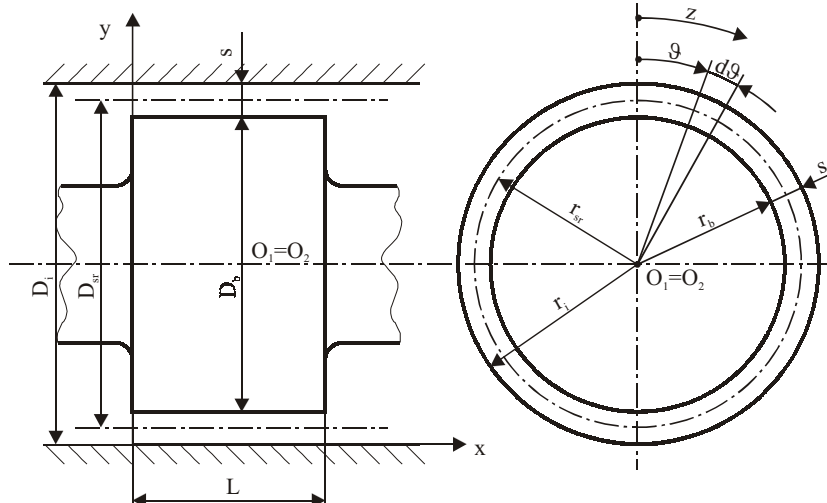
V hidravličnih sestavinah gre največkrat za notranje puščanje kapljevine skozi kolobarjaste reže. Te se pojavljajo kot ohlap med batom in pripadajočo

izvrtino, v kateri je bat. Le redkokdaj so izpolnjeni pogoji za centrično lego bata v izvrtini (sl. 2). Lega bata v izvrtini je torej v večini primerov izsredna (sl. 3). Obravnavali bomo takšen primer, pri tem pa predpostavili, da sta vzdolžni osi bata in izvrtine vzporedni. Dejansko stanje v hidravličnih sestavinah večinoma zanemarljivo malo odstopa od te predpostavke. Nadalje bomo še predpostavili, da imata bat in pripadajoča izvrtina idealno valjasto obliko. Tu realno stanje lahko že znatneje odstopa od predpostavke, ki pa je nujna za naše preprostejše izvajanje.

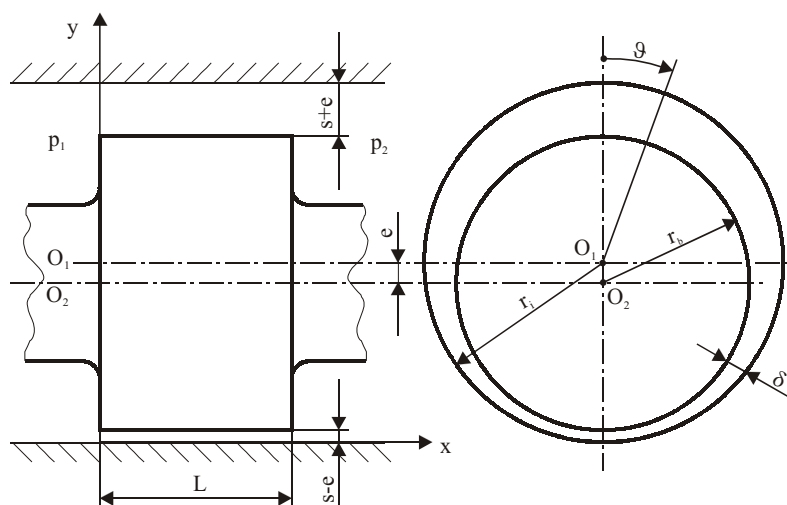
Pri izsredni legi bata v izvrtini je povprečna višina reže s (to je tudi dejanska višina reže pri centrični legi bata v izvrtini) določena z izrazom:

$$s = r_i - r_b = \frac{D_i - D_b}{2} \quad (5).$$

Diferencial širine dz je v tem primeru diferencial dolžine loka in ga za sredino višine reže lahko zapišemo z izrazom:



Sl. 2. Centrična lega bata v izvrtini



Sl. 3. Izsredna lega bata v izvrtini

$$dz = r_{sr} \cdot d\vartheta = \frac{D_{sr} \cdot d\vartheta}{2} \quad (6),$$

kjer je:

$$D_{sr} = \frac{D_i + D_b}{2} \quad (7).$$

Upošteva je izraz (6) lahko enačbo (3) zapišemo v naslednji obliki:

$$dQ_L = \frac{\Delta p \cdot D_{sr}}{24 \cdot \rho \cdot v \cdot L} \cdot \delta^3 \cdot d\vartheta \quad (8).$$

Enačba (8) pomeni torej izraz za diferencial toka notranjega puščanja dQ_L skozi diferencialni del širine, po višini se spreminjajoče, kolobarjaste reže. Višina reže δ se spreminja po zakonitosti, ki jo, ob upoštevanju označb na sliki 3, zapišemo v obliki:

$$\delta = s + e \cdot \cos\vartheta \quad (9).$$

Mejni vrednosti spreminjajoče se višine reže δ sta:

$$\delta_{\max} = s + e \quad \dots \text{ pri } \vartheta = 0$$

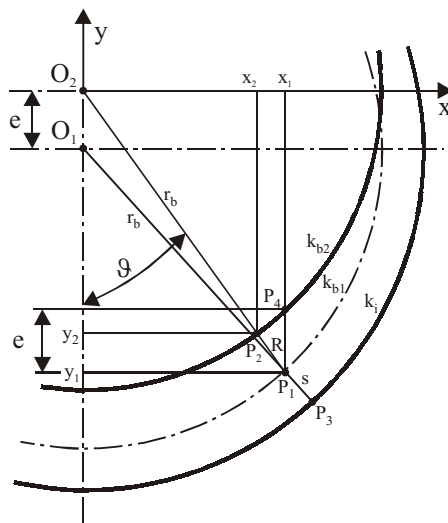
$$\delta_{\min} = s - e \quad \dots \text{ pri } \vartheta = \pi$$

Postavlja se seveda vprašanje, koliko natančno enačba (9) popisuje po obodu spreminjajočo se višino reže, upošteva je uvodoma vzete predpostavke.

Slika 4 prikazuje geometrijske razmere (za ponazoritev risane nesorazmerno) za izsredno lego bata v izvrtini. Razmere so prikazane v prečnem prerezu za IV. kvadrant koordinatnega sistema $x-y$. Pri tem je upoštevano, da sta vzdolžni osi bata in izvrtine vzporedni, za e oddaljeni druga od druge.

Geometrijska razmerja glede na sliko 4 so naslednja:

$$\overline{O_2P_2} = \overline{O_1P_1} = r_b \quad \text{in} \quad \overline{P_1P_2} = R \quad (10).$$



Sl. 4. Geometrijske razmere ob premiku bata iz centrične v izsredno lego v izvrtini

O_1 - os izvrtine; hkrati os bata, kadar ima ta centrično lego v izvrtini,

O_2 - os bata, ko ima ta za razdaljo e izsredno lego proti izvrtini,

k_1 - krožnica prečnega prereza izvrtine oz. notranjega obrisa puše, v kateri je bat,

k_{b1} - krožnica obrisa bata, ko ima ta centrično lego v izvrtini,

k_{b2} - krožnica obrisa bata, ko ima ta izsredno lego glede na izvrtino.

S premikom bata iz centrične lege v izsredno se radialna reža med batom in izvrtino na enem delu oboda poveča, na drugem pa zmanjša. V kvadrantu, ki ga obravnavamo in ga prikazuje slika 4, se radialna reža, s pomikom bata v smeri osi y , poveča. Povečanje reže v radialni smeri pod kotom ϑ proti navpičnici je od vrednosti s za centrično lego bata na vrednost $s + R$ za izsredno lego. Pri premiku bata iz centričnega v izsredno lego se točka P_1 premakne v točko P_4 .

Glede na geometrijski prikaz na sliki 4 in odvisnost od kota ϑ je radialna reža δ določena z naslednjim izrazom in razdaljo:

$$\delta = s + R = \overline{P_2P_3} \quad (11).$$

V enačbi (11) je za dani bat in izvrtino veličina s nespremenljiva, R pa se spreminja po obodu in se vrednosti s lahko prišteva ali odšteva, pač glede na to, za katero polovico oboda gre. V nadaljevanju bomo skušali določiti izraz za veličino R v odvisnosti od kota ϑ . S slike 4 sta razvidni naslednji odvisnosti:

$$x_1^2 + y_1^2 = (r_b + R)^2 \quad (12),$$

$$x_1^2 + (y_1 - e)^2 = r_b^2 \quad (13).$$

Z uvrstitvijo izraza (13) v enačbo (12) po ureditvi dobimo naslednjo enačbo:

$$R^2 + 2 \cdot r_b \cdot R + e^2 = 2 \cdot y_1 \cdot e \quad (14).$$

Neznanko y_1 lahko izrazimo z geometrijskimi razmerji po sliki 4:

$$y_1 = (r_b + R) \cdot \cos \vartheta \quad (15).$$

Enačbo (15) uvrstimo v (14). Po ureditvi dobimo kvadratno enačbo za veličino R , katere odvisnost od kota ϑ tudi iščemo:

$$R^2 + R \cdot (2 \cdot r_b - 2 \cdot e \cdot \cos \vartheta) + e^2 - 2 \cdot e \cdot r_b \cdot \cos \vartheta = 0 \quad (16).$$

Od obeh rešitev kvadratne enačbe je upravičena samo rešitev s pozitivnim predznakom pred kvadratnim korenem diskriminante. Za naše obravnavane primere ima namreč diskriminanta kvadratne enačbe vedno pozitivno vrednost. Rešitev je torej:

$$R = e \cdot \cos \vartheta - r_b + \sqrt{r_b^2 - e^2 \cdot \sin^2 \vartheta} \quad (17).$$

Pri dejanskih hidravličnih batnih drsnih ventilih je polmer bata r_b mnogokrat večji od praktično največje možne izsrednosti e . Največja možna izsrednost e je enaka višini reže centrično ležečega bata, to je s . Te vrednosti pa so v sestavinah pogonsko-krmilne hidravlike, predvsem gre tu za batne drsniške ventile, reda velikosti do nekaj mikrometrov, redkokdaj prek deset mikrometrov. Kvadrati teh dveh veličin razmerje še povečajo, tako da je to razmerje v območju reda velikosti:

$$r_b^2 : e^2 \approx 1 : (1 \cdot 10^{-5} \text{ do } 1 \cdot 10^{-8}) \quad (18).$$

Iz razmerja, ki ga za dejanske hidravlične ventile podaja izraz (18), je razvidno, da napravimo izredno majhno napako, če za izraz pod kvadratnim korenem v enačbi (17) upoštevamo kar vrednost r_b . S tem dobi enačba (17) torej obliko:

$$R = e \cdot \cos \vartheta \quad (19).$$

Upoštevaje izraz (11) torej ugotovimo, da izraz (9) za praktično rabo zelo natančno popisuje višino reže med izvrtino in izsredno ležečim batom v njej.

Celotni tok notranjega puščanja skozi, po višini se spreminjajočo, kolobarjasto režo dobimo z rešitvijo enačbe (8), potem ko smo za spremenljivko δ upoštevali enačbo (9), in sicer z integriranjem po celotnem obodu:

$$Q_L = \frac{\Delta p \cdot D_{sr}}{24 \cdot \rho \cdot \nu \cdot L} \cdot \int_0^{2\pi} (s + e \cdot \cos \vartheta)^3 \cdot d\vartheta \quad (20).$$

Vmesne rešitve, znane iz matematike, so naslednje:

$$\begin{aligned} s^3 \cdot \int_0^{2\pi} d\vartheta &= 2 \cdot \pi \cdot s^3 \\ 3 \cdot s^2 \cdot e \cdot \int_0^{2\pi} \cos \vartheta \cdot d\vartheta &= 0 \\ 3 \cdot s \cdot e^2 \cdot \int_0^{2\pi} \cos^2 \vartheta \cdot d\vartheta &= 3 \cdot \pi \cdot s \cdot e^2 \\ e^3 \cdot \int_0^{2\pi} \cos^3 \vartheta \cdot d\vartheta &= 0 \end{aligned}$$

Rešitev enačbe (20) je torej:

$$Q_L = \frac{\Delta p \cdot D_{sr}}{24 \cdot \rho \cdot \nu \cdot L} \cdot (2 \cdot \pi \cdot s^3 + 3 \cdot \pi \cdot s \cdot e^2) \quad (21).$$

Po nadaljnji ureditvi dobi enačba obliko, ki je pogosto zapisana v literaturi:

$$Q_L = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot D_{sr} \cdot s^3}{12 \cdot \rho \cdot \nu \cdot L} \cdot \left[1 + 1,5 \cdot \left(\frac{e}{s} \right)^2 \right] \quad (22).$$

V nekaterih virih, npr. [4] in [8], je člen e/s pisan s tretjo potenco, kar je, kakor se vidi tudi iz pričujočega izvajanja, napačno. Verjetno je to vzeto zato, ker je višina reže s v števcu enačbe (22) na tretjo potenco.

Za popolnoma centrično lego bata v izvrtini velja $e = 0$ in enačba (22) dobi, po deljenju obeh konstant, naslednjo obliko:

$$Q_L = \frac{0,2618 \cdot \Delta p \cdot D_{sr} \cdot s^3}{\rho \cdot \nu \cdot L} \quad (23).$$

Za največjo možno izsrednost velja $e = s$ in enačba (22) dobi, po deljenju obeh konstant, naslednjo obliko:

$$Q_L = \frac{0,2618 \cdot \Delta p \cdot D_{sr} \cdot s^3}{\rho \cdot \nu \cdot L} 2,5 \quad (24).$$

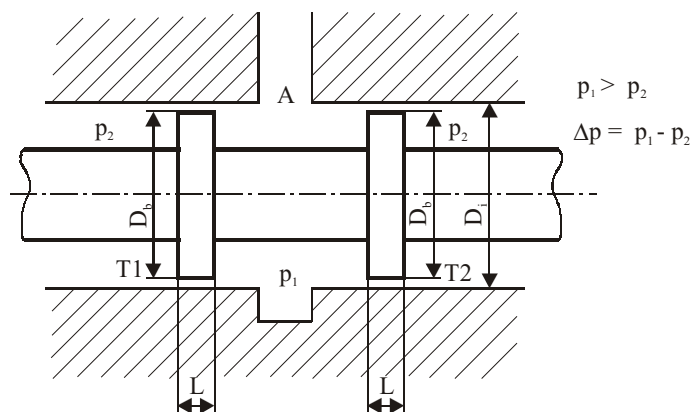
3 EKSPERIMENT

Eksperimentalni del je bil izveden na industrijskem preskuševališču za funkcionalno preskušanje nekaterih hidravličnih sestavin. Uporabljeno je bilo hidravlično olje z viskoznostjo po ISO VG 46, izmerjena čistota razreda 11 po standardu NAS 1638 za velikostni razred delcev od 5 μm do 15 μm ter prav tako za velikostni razred 15 μm do 25 μm . Čistočo v teh dveh velikostnih razredih je meril razpoložljivi analizator čistoče izdelovalca Hydac. Temperatura olja v hidravličnem rezervoarju je bila 50 $^{\circ}\text{C}$. Temperatura okolice je bila okoli 20 $^{\circ}\text{C}$.

Meritev toka notranjega puščanja smo izvedli pri štirih različnih padcih tlaka Δp (pregl. 1) na serijsko izdelanem potnem krmilnem ventilu, katerega za to meritev pomembni funkcionalni del prikazuje slika 5. V kanalu A je bil tlak p_1 , v kanalih T1 in T2 pa vsakokrat atmosferski tlak, torej 0 bar nadtlaka. Tlak p_1 smo določali z nastavitvijo varnostnega ventila na hidravličnem preskuševališču in ga nadzirali na

Preglednica 1. Računsko dobljene in merjene vrednosti za tok notranjega puščanja Q_L v hidravličnem potnem ventilu; podane so vrednosti za izračunano in izmerjeno iztečeno količino v cm^3 v času ene minute ter v času petih minut

	Rezultati izračuna po enačbi (22)				Rezultati meritev	
	za $e = 0$ v času:		za $e = s$ v času:		za $0 \leq e \leq s$ v času:	
Δp bar ↓	1 min	5 min	1 min	5 min	1 min	5 min
100	35	175	88	440	56	210
130	45	225	113	565	81	275
150	52	260	131	655	86	310
200	70	350	175	875	115	450



Sl. 5. Del batnega drsniškega ventila, kjer puščalno olje izteka iz kanala A v kanala T1 in T2

vgrajenem manometru. Ves tok, izstopajoč iz črpalke, je v času merjenja iztekal prek varnostnega ventila v rezervoar; zmanjšan seveda za tok puščalnih izgub.

Merili smo skupni tok notranjega puščanja iz kanala A v kanala T1 in T2 skupaj. Meritve so bile izvedene preprosto z menzurno posodo in uro stoparico. Podane oziroma izmerjene so bile naslednje geometrijske izmere in parametri hidravličnega olja v času izvajanja meritev: $D_i = 20,150$ mm, $D_b = 20,138$ mm, $L = 1,5$ mm, kinematična viskoznost olja $\nu = 30$ mm²/s, gostota $\rho = 870$ kg/m³. Iz merjenih vrednosti za D_i in D_b sledi po enačbi (5): $s = 0,006$ mm. Merjenje toka notranjega puščanja smo začeli eno minuto po postavitvi krmilnega bata v lego, ki je prikazana na sliki 5, ter merili prostornino, ki izteče iz A v T1 in T2 skupaj v času ene minute in v času petih minut. Rezultati izračuna in meritev so prikazani v preglednici 1.

4 OBRAVNAVA EKSPERIMENTA

Primerno je opozoriti na to, da je, kakor kaže teoretično izvajanje, puščalni tok dvainpolkrat večji, kadar je bat v največji mogoči izsredni legi v izvrtini v primerjavi s puščalnim tokom, ko ima bat popolno centrično lego, in to kljub temu, da je površina pretočnega prereza v obeh primerih enaka.

Pri izvajanju meritev z razpoložljivo skromno opremo nismo imeli možnosti ugotavljati, kolikšna je dejanska izsrednost bata v izvrtini, saj gre za izredno majhne ohlape, kakor je razvidno reda velikosti nekaj mikrometrov, zato je v preglednici 1 za izsrednost samo podatek, da je nekje med najmanjšo in največjo. Pri dejanskem ventilu izsrednosti bata ne določajo samo bočne sile, ki so posledica odstopanj dejanske oblike valja od idealne, pač pa tudi konstrukcija in natančnost izdelave z vidika soosnosti elementov. Razvidno pa je (pregl. 1) iz primerjave vrednosti za puščalni tok, dobljenih z enačbo (22), ter izmerjenih vrednosti, da so v vseh primerih merjene vrednosti nekje vmes med teoretičnimi za ničto in največjo mogočo izsrednost bata v izvrtini.

Analiza meritev tudi pokaže, da količina puščalnega iztoka v petih minutah ni petkratnik iztoka v eni minuti, pač pa je znatno manjša. To si razlagamo s tem, da se delci nečistoč, ki so v velikem številu običajno v hidravličnem olju, zagostijo v reži in s tem zmanjšajo pretočni prerez za puščalni tok. Odtod seveda tudi iz literature poznani pojem statične meje zmogljivosti prekrmljenja ventilov. Zaradi številnih vplivnih parametrov, poleg števila delcev na enoto prostornine (število delcev po velikostnih območjih, oblika in trdota delcev, mikrotrdota soležnih površin, nevzporednost mejnih

ploskev po dolžini reže, različnost privlačnih sil itn.) pa izdelovalci hidravličnih ventilov te meje zmogljivosti ne morejo izrecno podati v katalogih. Ob tem omenimo, kar je v stroki pogonsko-krmilne hidravlike sicer splošno znano, da za ventile klasične hidravlike večina izdelovalcev dopušča po standardu NAS 1638 razred čistoče hidravličnega olja do 9 oziroma po ISO 4406 do 19/17/14, za proporcionalne (premosorazmerne) ventile pa okoli štirikrat manj delcev v olju. Vsekakor pa to pomeni, da je za delce nečistoč velikostnega razreda od 2 μm do 5 μm dopustno celo do nekaj sto tisoč delcev nečistoč na 100 ml olja in nekaj deset tisoč delcev velikostnega razreda od 5 μm do 15 μm na 100 ml olja. Milijoni delcev nečistoč, ki tečejo skupaj s tekočino skozi reže hidravličnih sestavin, imajo torej pomemben vpliv na erozivno in abrazivno obrabo elementov znotraj teh sestavin. Zaradi takšne obrabe se povečuje ohlap med funkcionalnima elementoma, in sicer, kakor je razvidno iz navedenih enačb, s tretjo potenco, na kar tudi izrecno opozarja večina literature. S tem pa se nadalje hitro poslabšuje predvsem prostorninski izkoristek tovrstnih sestavin ter posledično tudi zvišuje temperatura tekočine zaradi povečanega puščalnega toka, ki pomeni dušenje in s tem segrevanje tekočine.

5 SKLEPI

- Poznavanje vnaprejšnje določitve puščalnega toka za posamezne sestavine je pogosto pomembno v fazi projektiranja hidravličnih naprav, in sicer za odločitve glede izbire predvsem krmilja, pa tudi izračuna posedanja bremen ali popuščanja obremenitev v projektni fazi ter s tem iskanja primernih izvedb.
- Reže, ki se pojavljajo v hidravličnih sestavinah, naj imajo čim manjšo višino, kar pomeni čim manjši ohlap med elementoma, ki sestavljata režo. Površine elementov, ki sestavljajo reže, naj bodo zato čim bolj pravilnih oblik, kar seveda pomeni zahtevo po kakovostnih strojih za njihovo izdelavo.
- Elementa, ki sestavljata ohlap, naj imata ob spremembah temperature čim bolj enako toplotno razteznost.
- Stopnja čistoče tekočine pomembno vpliva na dolgoročno ohranjanje dobrega prostorninskega izkoristka hidravličnih sestavin.
- Močno izražene protiobrabne lastnosti elementov, ki sestavljajo reže, so bistvenega pomena za čim počasnejše slabšanje prostorninskega izkoristka hidravličnih sestavin, predvsem drsniskega tipa.

6 LITERATURA

- [1] Ciner, P. (1980) Hidraulički uredjaji, *TVA KoV, Tehnički školski centar, Zagreb*.
- [2] Warring, R.H. (1983) Hydraulic handbook, 8th edition, *Gulf Publishing Company, Houston, London*, ISBN 0-87201-349-9.
- [3] Yeaple, F. (1984) Fluid power design handbook, *Marcel Dekker, New York, Basel*, ISBN 0-8247-7196-6.
- [4] Ebertshäuser, H. (Gesamtbearbeitung) (1973) Grundlagen der Ölhdraulik, *Krausskopf-Verlag GmbH, Mainz*, ISBN 3-7830-0068-8.
- [5] Thoma, J. (1970) Ölhdraulik, *Carl Hanser Verlag, München*.
- [6] Will, D., H. Ströhl (1981) Einführung in die Hydraulik und Pneumatik, *VEB Verlag Technik, Berlin*.
- [7] Murrenhoff, H. (1998) Grundlagen der Fluidtechnik, Teil 1: Hydraulik, *Verlag Mainz, Wissenschaftsverlag, Aachen*, ISBN 3-89653-259-6.
- [8] Findeisen, D., F. Findeisen (1994) Ölhdraulik, *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York*, ISBN 3-540-54465-8.
- [9] Shames, I. H. (1962) Mechanics of fluids, *McGraw - Hill Book Company, USA*.

Avtorjev naslov: doc.dr. Jože Pezdirmnik
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Prejeto: 30.1.2001
Received:

Sprejeto: 27.6.2001
Accepted: