

## RAZVOJ ISPITIVANJA TROŠENJA DIJELOVA ISPLAČNIH SISALJKI

Davorin MATANOVIĆ, Dražen MAGDIĆ i Veronika GROZDIĆ

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU — 41000 Zagreb

**Ključne riječi:** Isplačna pumpa, Cilindar, Klip, Otpornost trošenju

**Key-words:** Mud pump, Cylinder, Piston, Wear resistance

Klip i cilindar su oni dijelovi isplačne sisaljke koji uzrokuju najviše troškove zbog zastoja u radu bušačkog postrojenja. Da bi se troškovi smanjili, treba proizvesti kvalitetnije potrošne dijelove. Za određivanje otpornosti materijala abrazijskom tipu trošenja korištena je metoda suhi pijesak/gumeni kotač, prema ASTM std. G 65—80.

Piston and cylinder are such parts in the mud pumps which cause the greatest expences due to the work stoppage of drilling rig. To reduce so caused expences it is necessary to produce spare parts of better quality. In determining the abrasion wear resistance for chosen materials, so called dry sand/rubber wheel abrasion test as an ASTM standard has been used.

### Uvod

Problem trenja, trošenja, te zaštite materijala od trošenja prisutan je u raznim granama privredne djelatnosti i presudan za vijek trajanja sredstava za rad. Gubici koji nastaju uslijed raznih mehanizama dotrajavanja, gledano s ekonomskog stajališta, su veliki i aktualni. Tek organiziranim pristupom njihovom suzbijanju možemo postići znatne uštede.

Ukupni tribološki gubici procijenjeni su u SFRJ u 1970. godini na 26 milijardi dinara. Od toga, na zastoje tribološkog porijekla otpada 41 %. Nadalje, stavka održavanja čini daljnjih 33 %, što zajedno iznosi 74 % svih troškova. Utvrđivanjem triboloških gubitaka za razdoblje od 1966. do 1970. godine utvrđeno je da je prosječna stopa rasta ukupnih triboloških gubitaka iznosila 19 %. Primjenom navedene stope lako je izračunati da bi navedeni gubici za 1987. godinu iznosili 87.503 milijarde dinara (Zgaga, 1979).

### Analiza triboloških gubitaka na bušačim postrojenjima

Bušaće postrojenje ima zadatak da omogućiti bušenje tla u cilju pronalaženja i eksploatacije nafte, plina i voda. Sastoji se od određenog broja različitih sklopova. Najvažniji sklopovi bušačkog postrojenja su: toranj, dizalica, koloturni mehanizam, pogonski motori, isplačne sisaljke, vrtači stol, uređaji za kontrolu bušenja i isplačni sistem. Sveukupni tribološki gubici raščlanjeni su na:

1. troškove zastoja zbog izmjene istrošenog dijela,
2. troškove transporta,
3. troškove nabave zamijenjenih dijelova.

Analiziranjem zastoja i kvarova u periodu od 1974. do 1984. godine (Matanović, 1986) razmatrano je osam sklopova i trideset različitih pozicija. Dobiveni podaci obrađeni su prema statističkim kriterijima i na temelju tih podataka dobivene su ABC krivulje na slikama 1 i 2.

Metodom rangiranja kao prioritete pozicije, tj. one kod kojih se ostvaruju najveći ukupni troškovi, istaknute su:

- cilindarske košuljice isplačnih sisaljki,
- klipovi isplačnih sisaljki,
- ventili i sjedišta ventila isplačnih sisaljki,
- isplačna glava, itd.

### Promatrani tribološki sistem

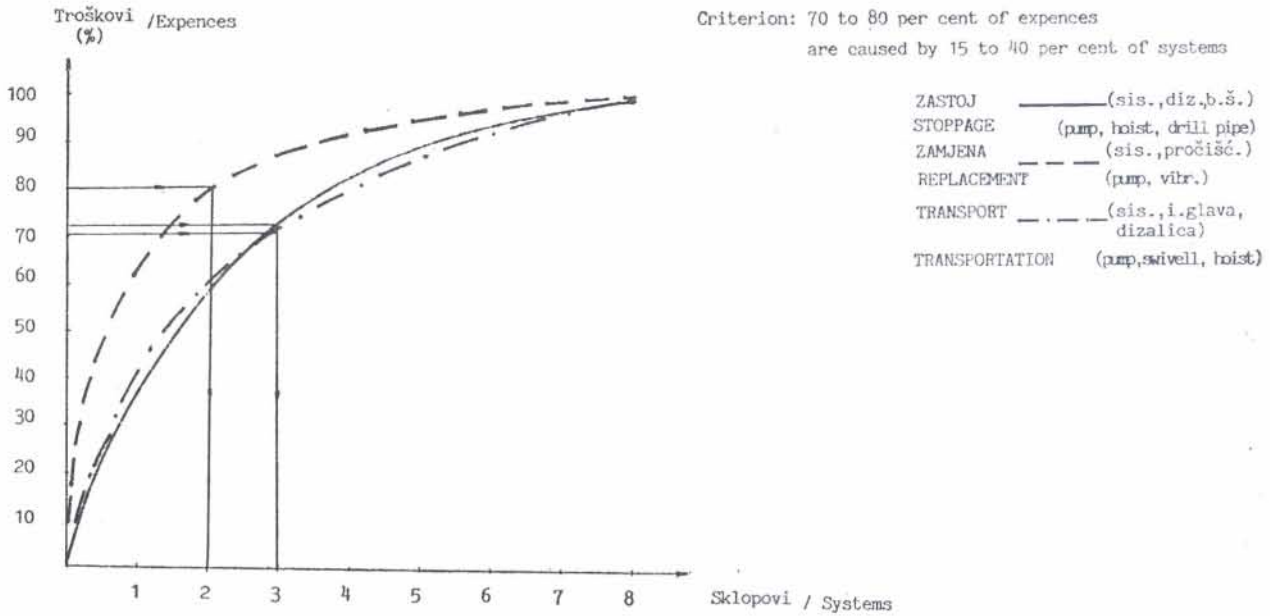
U zatvorenim sistemima, pod tlakom — posude pod tlakom brtve se u svim točkama gdje se sastaju dvije različite komponente, kako bi činile jedinstveni spoj. Takav jedan zatvoreni sistem predstavlja naš promatrani tribološki sistem, kao dio hidrauličkog dijela isplačne sisaljke. On se sastoji od:

1. cilindra,
2. klipa,
3. isplake.

Na slici 3 dana je shema promatranog tribološkog sistema s približnim vrijednostima činilaca koji na njega utječu.

Kriterij: 70 do 80% troškova izaziva  
15 do 40% sklopova

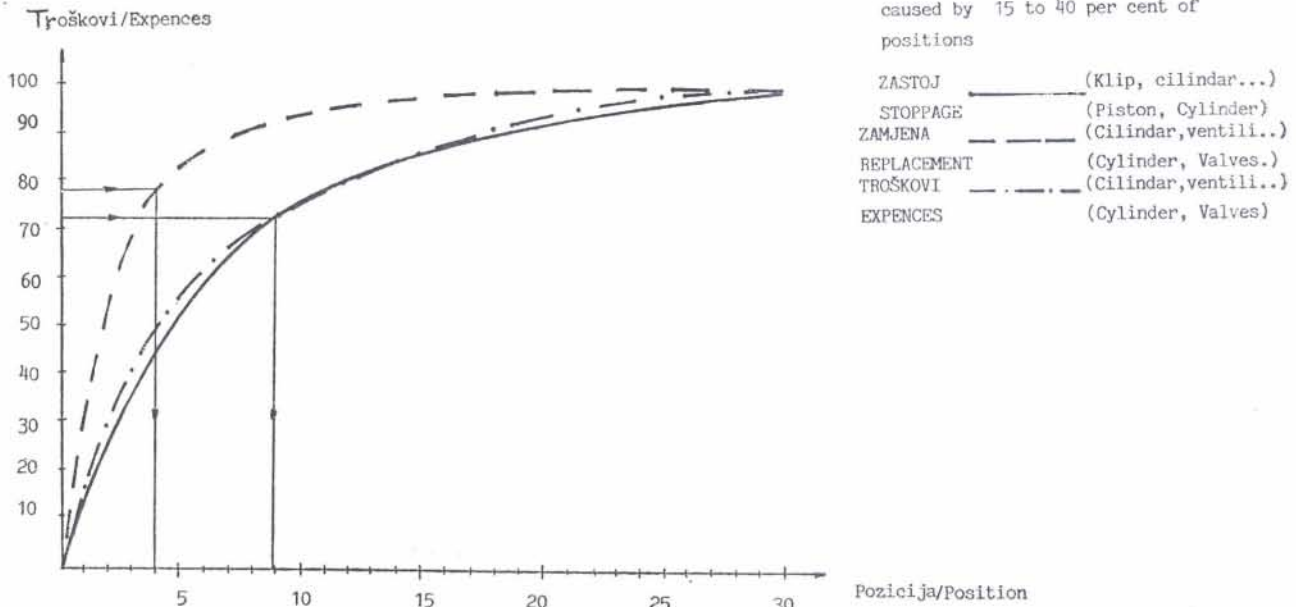
Criterion: 70 to 80 per cent of expences  
are caused by 15 to 40 per cent of systems



Sl. 1 ABC krivulje za izbor prioritnog sklopa  
Fig. 1 ABC curves for system selection

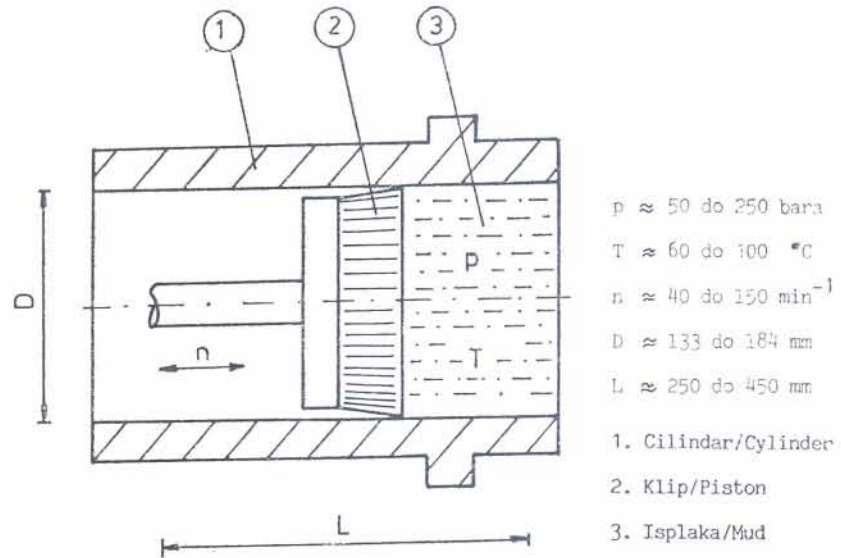
Kriterij: 70 do 80% troškova izaziva 15 do 40%  
pozicija

Criterion: 70 to 80 per cent of expences are  
caused by 15 to 40 per cent of  
positions



Sl. 2 ABC krivulje za izbor prioritnog položaja  
Fig. 2 ABC curves for position selection





Sl. 3 Karakteristike sistema  
Fig. 3 System characteristics

### Cilindar

Cilindar je onaj prostor u sisaljci u kojem se ostvaruje tlak potreban da se određena količina isplake protisne u bušotinu. Znači da u tom prostoru mora biti prisutan i radni fluid, a isto tako i dinamičko brtvilo koje će omogućiti stvaranje i održavanje tlaka. Cilindri se obično izrađuju na dva načina. Ili kao cjelina iz jednog komada gdje je samo habajuća površina posebno obrađena, ili iz dva dijela: tijela cilindra iz jeftinijeg materijala i cilindričnog habajućeg dijela — košuljice, od kvalitetnog materijala otpornog na trošenje. Vanjska površina cilindra izrađena je različito, ovisno o proizvođaču, dok je unutrašnja, habajuća površina, koja nas sa stajališta trošenja interesira, kod svih konstrukcija jednaka.

### Klip

Klip je dinamičko brtvilo. Brtvljenje se ostvaruje usnicom manžete. Brtvljenje se ostvaruje samom konstrukcijom i dimenzijom, a zatim i dodatnim dotezanjem pri montaži u cilindar. Klip mora izvršavati jednu osnovnu funkciju — mora zadržavati ostvareni tlak. Iz tog razloga, klip se obično izrađuje iz dva dijela. Jedan je metalno tijelo klipa, a drugi brtveća manžeta iz gumolikog materijala (sirovi kaučuk, elastomer i dr.). Taj gumoliki materijal može biti lijevan na metalno tijelo ili izrađen posebno. Čelično tijelo osigurava sposobnost strukture za podnošenje opterećenja induciranih tlakom. Najčešće se primjenjuje klip s promjenljivom manžetom, zbog lakog servisiranja.

### Isplaka

Karakteristično za rotaciono bušenje je upotreba kapljevina za kontinuirano iznošenje krhotina. Većina isplaka su složeni disperzni sistemi sastavljeni od koloidnih disperzija (čvr-

stih čestica veličine  $< 0,1 \mu\text{m}$  raspršenih u tekućoj fazi), grubljih suspenzija (čvrstih čestica veličine  $> 0,1 \mu\text{m}$  raspršenih u tekućoj fazi) i emulzija (sitnih kapljica jedne tekućine raspršenih u drugoj tekućini). Osim toga isplake sadrže inertne dispergirane čvrste tvari kao što su oteživači, pijesak i čestice nabušenih stijena i kemikalije potrebne za održavanje svojstva isplake u željenim granicama.

Sa stanovišta trošenja, za nas je najznačajniji ovaj sadržaj čvrstih čestica. Pod pojmom čvrstih čestica u isplaci podrazumijevaju se sve čestice gline, barita i krhotina nabušenih stijena koje isplaka iznosi iz bušotine, bez obzira na granulometrijski sastav. Tablica 1 daje tvrdoće krutih čestica koje se mogu naći u isplaci.

Tablica — Table 1

Čvrste čestice u isplaci i njihove tvrdoće  
Hard particles in mud and their hardness

Čvrste čestice Hard particles	Tvrdoća / Hardness	
	Mosh	Vickers
Gline / Clays	1—2	
Vapnenac / Limestone	3	140
Barit / Barite	3,3	
Dolomit / Dolomite	3,5—4	370
Kvarc / Silica	7	900—1280

Na temelju tablice lako je uočiti da je glavni uzročnik abrazije kvarc koji potječe ili iz nabušenih stijena ili iz onečišćenja krutih dodataka isplaci.

Da bi se otklonile neželjene posljedice, isplaka se pročišćava. U primarni postupak pročišćavanja spada odstranjivanje krutih čestica pomoću vibracionih sita, flokulacijom i taloženjem.



## Dosadašnja saznanja o oblicima i mehanizmu oštećivanja

Najčešći oblici dotrajavanja cilindarskih košuljica nastaju zbog tri osnovna razloga (Matanović, 1984):

1. velikog postotka pijeska koji oštećuje površinu u vidu dubljih i plićih žljebova u smjeru kretanja klipa;
2. nedovoljnog punjenja isplakom što dovodi do pojave suhog trenja, porasta tlaka i temperature (700 °C) na dodirnim površinama i pojave lokalnih pukotina;
3. neadekvatnog materijala, odnosno loše toplinske ili druge obrade. Prilikom kaljenja, najčešće zbog ljudskog faktora, promijene se parametri toplinske obrade što uzrokuje lošu kvalitetu.

Isto tako, prema karakteru trošenja, intenzitetu trošenja i vremenu u kojem pojedini vid trošenja dominira, možemo podijeliti trošenje na tri stadija:

1. kontinuirano trošenje cilindarskih košuljica koje je uvjetovano abrazijskim djelovanjem čestica iz isplake i adhezijskim trošenjem uslijed kretanja klipa u košuljici, a to se očituje u povećanju promjera košuljice;
2. ulazak pijeska iz isplake u prostor između klipne manžete i košuljice i uležištenje tog pijeska u manžeti, koji tada kao sitni rezni alat »obrađuje« košuljicu čineći žlijeb na košuljici cijelom dužinom hoda klipa;
3. kad je žlijeb dovoljno velik, klipna manžeta na tom dijelu više ne brtvi i dolazi do vraćanja isplake kroz žlijeb, što uzrokuje vrlo naglo produbljivanje i proširenje tog žlijeba zbog erozionog djelovanja isplake.

U prvom stadiju dominantno je trošenje abrazijskom, a ono je prisutno u sva tri stadija. U drugom stadiju prisutan je jedan ili istovremeno i više prije opisanih oblika trošenja. U trećem stadiju dominantna je erozija. Taj stadij treba preduhitriti i mijenjati klipne manžete prije nego do njega dođe. To znači da treba pratiti promjene tlaka na izlazu iz sisaljke i reagirati kod svakog pada tlaka dok se ne otkloni uzrok.

Nova cilindarska košuljica ima fino obrađenu habajuću površinu. Međutim, tokom rada dolazi do razotkrivanja oštećenja, rupica, pukotina koje su nastale tokom izrade i obrade materijala košuljica.

Domaće cilindarske košuljice su toplinski obrađivane i brušene. U navedenim fazama obrade mogu nastati mikroskopske pukotine. Uzrok pojave tih pukotina obično je neodgovarajući materijal. Čelik s više od 0,5 % ugljika ne koristi se kada treba provesti površinsko kaljenje zbog izrazite sklonosti pojavi mikroskopskih pukotina. Pukotine su dubine do maksimalno 0,3 mm, a zatim se počinju simetrično račvati na sve strane paralelno s površinom.

Djelujući tako sljuštenog materijala utiskuju se u klipnu manžetu i time još više pospješuju abrazijsko trošenje.

Razotkrivanjem pukotina i rupica, te stvaranjem uzdužnih brazdi, habajuća površina više nije glatka kao u početnom stadiju trošenja. Kako klip prelazi preko takvih oštećenja, djelić klipne manžete koji se utisne u oštećenje na cilindru biva zbog kretanja klipa naprijed-natrag, zarobljen i otrgnut. Učestalim prelazima klipa po oštećenoj površini, materijal klipne manžete sve se više uništava — odnosi. Do probijanja isplake dolazi kada je klipna manžeta toliko istrošena da se izgubi kontinuitet brtvljenja po čitavoj dužini klipa. Ukoliko se to ne primijeti, erozijom će ubrzo biti oštećen i cilindar.

Slijedeći tip oštećenja zapravo je raspadanje brtvila uzrokovano time što se materijal brtvila natiskuje između dva tijela koja treba brtviti. Kako se trošenjem cilindra njegov unutrašnji promjer povećava, tako se povećava i zazor između cilindra i metalnog dijela klipa. Kod tlačenja isplake sada postoji mogućnost utiskivanja dijela klipne manžete u taj međuprostor. Kretanjem klipa taj dio materijala biva otrgnut. Ostvareni zazor obično nije jednak po cijelom obodu klipa. On ovisi o ekscentričnosti cilindra, klipne gume, a često i od utjecaja mase klipnjače. Najnepovoljniji slučaj je kada sa jedne strane postoji veliki zazor, a na drugoj strani je ostvaren kontakt metal-metal. Dok jedna strana biva netaknuta, druga se uništava adhezijskim trošenjem i stvorenom toplinom. Oštećenja cilindra nastala na ovaj način najlakše se determiniraju kod jednoradnih sisaljki jer postoji izrazito trošenje na dijelu cilindra po kojem se kreće klip. Kako napreduje trošenje tijela klipa i cilindra, povećava se i zazor između brtvenih površina. To omogućava sve veće utiskivanje gume klipne manžete u međuprostor uz kontinuirano trošenje. Na taj način, u nastavku trošenja može doći do probijanja isplake kroz klipnu manžetu uz tijelo klipa. Takav tip oštećenja nastupa vrlo brzo i drastično smanjuje trajanje klipne manžete i cilindra. Kretanjem klipa ovo oštećenje se povećava. Nakon nekog vremena ostvaruje se odmicanje oštećene manžete od završne pločice i metalnog dijela klipa. Na takvim mjestima dolazi do proboja isplake.

## Izbor materijala, načina izrade i obrade

Pošto su zadani elementi tribosistema i uvjeti rada, povećanje trajnosti funkcionalnih dijelova moguće je postići pravilnim izborom materijala. Prema Kragskyju (1982), dobri rezultati postižu se sistematskim postupkom izbora materijala u četiri faze.

U prvoj fazi treba analizom tribosistema utvrditi dominantan mehanizam trošenja za za-



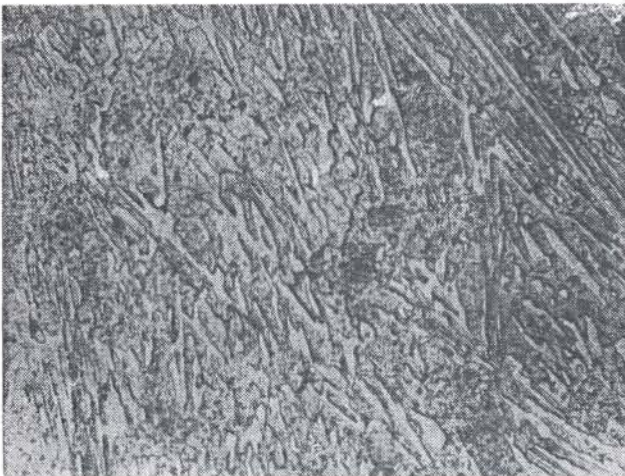
dani slučaj. U slijedećoj fazi biraju se varijantna rješenja na temelju ocjene relativne otpornosti trošenju. U ovoj fazi se redovito bira grupa potencijalno dobrih materijala. U fazi tri reducira se broj varijantnih rješenja i predlažu se materijali za eksploatacijsko ispitivanje. Konačno, u fazi četiri provjerom u eksploataciji dolazi se do konačnog rješenja. Relativna otpornost abrazijskom tipu trošenja ovisi kod metalnih materijala o sljedećim činiocima:

1. udjelu tvrde faze; s povećanjem udjela tvrde faze otpornost trošenju se povećava;
2. mikrotvrdoći faza; s povećanjem mikrotvrdoće faza povećava se otpornost trošenju;
3. veličini zrna tvrde faze; što su zrna sitnija, veća je otpornost trošenju;
4. mikrotvrdoći abraziva; veća mikrotvrdoća abraziva izaziva veće trošenje.

Navedene kriterije najbolje zadovoljavaju bijeli lijevovi kaljeni na zraku.

Ovi materijali, osim otpornosti prema abrazijskom trošenju, mogu se žarenjem dovesti u stanje olakšane mehaničke obrade. Mikrostruktura se sastoji od eutektičkih željezo kromnih karbida ( $(Cr, Fe)_7C_3$ ), kromom bogatih sekundarnih karbida i matice koja, ovisno o provedenoj toplinskoj obradi, može biti austenit, martenzit, bejnit ili prelit. Najbolja otpornost prema abrazijskom trošenju postiže se kada je matica čisti martenzit. U takvoj matrici karbidi su prisutni u 40 % do 50 % volumena. Snimka strukture navedenog materijala, dobivena pomoću skeniranja elektronskog mikroskopa, prikazana je na slici 4.

Za izradu cilindra iz navedenih materijala najpovoljnija je tehnologija centrifugalnog lijevanja, u našem slučaju s horizontalnom osi rotacije. Pri centrifugalnom lijevanju centrifugalna sila koja djeluje na materijal prisiljava



Sl. 4 SEM snimka strukture bijelog liva  
Fig. 4 SEM photograph showing white cast structure

teže sastojke da migriraju prema vanjskom obodu dalje od središta, dok se lakši (troska, plinovi i ostale nečistoće) zadržavaju bliže središtu. Nečistoće koncentrirane pretežno u središtu odstranjuju se pri obradi na potrebne mjere, tako da je početna habajuća površina bez pukotina i oštećenja.

U cilju ostvarivanja još veće tvrdoće habajuće površine moguće je korištenje termokemijskih postupaka vanadiranja i boriranja. Vanadiranje je termokemijski postupak kojim se ostvaruje difuzija vanadija u površinske slojeve metala i vezivanje s ugljikom iz osnovnog metala. Tako nastaje vanadijev karbid, a mikrotvrdoće kreću se od 2000 do 3400 HV. Slojevi su debljine do 20  $\mu\text{m}$ .

Boriranjem se ostvaruje termodifuzija bora u površinske slojeve metala. Formiraju se tri sloja. Prvi sloj je FeB, zatim sloj  $\text{Fe}_2\text{B}$ , a zatim slijedi zona difuzije bora u osnovni materijal. Tvrdoća boridnih slojeva je od 1800 do 2100 HV, a debljina slojeva je do 220  $\mu\text{m}$ .

Na temelju ovih pretpostavki i saznanja, odabrana su varijantna rješenja navedena u tablici 2 uz podatke dobivene laboratorijskim ispitivanjima. Klipna manžeta predstavlja problem koji je do sada relativno malo razmatran. Obično se izrađuje od materijala na bazi pri-

Tablica — Table 2  
Rezultati testa — metali  
Test results — metals

Uzorak Specimen	Oznaka Mark	Obrada Treatment	Gubitak volumena, mm <sup>3</sup> Volume loss
BL (15-3-2,5)	1a	vanadiranje <i>vanadizing</i>	8,06478
	1b	boriranje <i>boronizing</i>	3,99718
	1c	kaljenje <i>tempering</i>	8,46893
BL (16-2,8)	2a	vanadiranje <i>vanadizing</i>	0,90164
	2b	boriranje <i>boronizing</i>	1,82834
	2c	kaljenje <i>tempering</i>	34,86378
SL	3a	vanadiranje <i>vanadizing</i>	163,69227
	3b	boriranje <i>boronizing</i>	111,93905
	3c	kaljenje <i>tempering</i>	231,70523
Č.1730	4a	vanadiranje <i>vanadizing</i>	226,4456
	4b	boriranje <i>boronizing</i>	6,70933
	4c	kaljenje <i>tempering</i>	142,23320



rodnog ili sintetskog kaučuka s dodatkom punila. U cilju određivanja najpovoljnijeg materijala, potrebno je odrediti parametre koji karakteriziraju njegovu otpornost abrazijskom tipu trošenja. Karakterizacija materijala može se provesti određivanjem statičkog ili dinamičkog koeficijenta trenja, određivanjem linearnog istrošenja materijala, volumnog ili mase-nog gubitka materijala i prividne gustoće energije trenja.

Recepture po kojima se određeni materijali izrađuju poslovna su tajna proizvođača pa će pri određivanju sastava elastomera za proizvodnju klipnih manžeta biti potrebno obaviti opsežna ispitivanja utjecaja količina dodanog punila i temperature vulkanizacije. Zbog toga je u prvoj fazi ispitivanja materijala klipnih manžeta odabrano devet uzoraka materijala različitih proizvođača. Popis odabranih uzoraka dat je u poglavlju o laboratorijskim ispitivanjima. (Tablica 3)

Tablica — Table 3  
Rezultati testa — elastomeri  
Test results — elastomers

Oznaka Mark	Uzorak Specimen	Gubitak vol. Volume loss, mm <sup>3</sup>
1	API 7 M. Čavić	21,7811
2	Prirodni kaučuk, 7 M. Čavić	26,9733
3	Perbunan 7, M. Čavić	13,4943
4	Gumarna Maribor	14,0140
5	Polysar, M. Čavić	8,8243
6	Stabylia	24,2336
7	Vulkolan, Sava — Kranj	45,7919
8	Harrisburg API 6 3 1/4"	13,4202
9	Mission 6"	29,4073

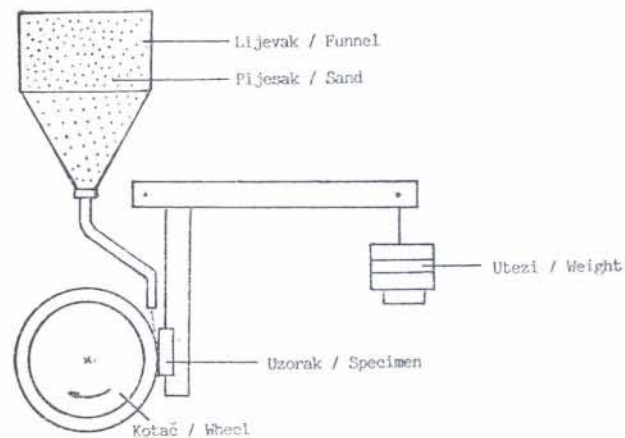
### Pregled laboratorijskih ispitivanja

#### Opis metode po ASTM G 65—80

Uređaj za laboratorijsko ispitivanje sastoji se od kotača — čeličnog diska sa slojem prirodne gume vulkanizirane po obodu. Tvrdoća vulkanizirane gume iznosi 64 Shore A. Promjer diska je 228,6 mm, a koristi se do istrošenja na 215,9 mm. Pogon je ostvaren elektromotorom s reduktorom nominalne snage 0,7 kW. Prijenos na kotač ostvaren je zupčastim prijenosnikom. Broj okretaja iznosi  $196 \text{ min}^{-1}$  i ostaje konstantan pod opterećenjem.

Dotok pijeska regulira se sapnicom koja svojim oblikom i otvorom osigurava točan protok i pravilno istjecanje. Protok je propisan s 250 do 350 g/min pijeska, s tim da istjecanje mora biti laminarno. Tokom rada otvor sapnice mora biti što bliže dodirnoj površini epruvete i gumenog oboda kotača. Držać epruvete učvršćen je na koljenastu polugu koja je na dužem

kraju opterećena utezima radi postizanja potrebne sile na kontaktu diska i epruvete. Dimenzije epruvete mogu biti različite, s tim da bi ispitivana površina trebala biti veća od traga trošenja. Postoje četiri varijante testa. Kod ovih ispitivanja odabrana je varijanta B. Uređaj za ispitivanje prikazan je skicom na slici 5, gdje je sila na epruvetu 130 N a broj okretaja kotača 2000.



Sl. 5 Osnovni dijelovi uređaja za ispitivanje metodom suhi pijesak — gumeni kotač

Fig. 5 Basic components of the dry sand — rubber wheel abrasion test equipment

Svrha primjene navedene metode je dobivanje podataka za rangiranje materijala prema njihovoj otpornosti abrazijskom tipu trošenja u uvjetima koji su standardom strogo određeni. Sam postupak obuhvaća abradiranje standardne epruvete pijeskom kontrolirane veličine zrna i sastava. Abraziv se dovodi između epruvete i rotirajućeg kotača obloženog prirodnom gumom. Epruveta je opterećena silom preko poluge, dok pijesak kontroliranim protokom dolazi do površine uzorka i abradira njegovu površinu. Kotač se na mjestu kontakta giba u smjeru istjecanja pijeska. Oslonac poluge leži u ravnini koja je tangencijalna na obod kotača, a okomita na horizontalni promjer u smjeru djelovanja sile.

Prije početka ispitivanja uzorak treba izvagati s točnošću od 0,0001 g. Uzorak se postavlja u držać, a poluga optereti utezima. Nakon što se uspostavi laminarni protok pijeska, uključuje se motor i uspostavi kontakt uzorka i kotača. Kad se na brojaču pojavi zadani broj okretaja postupak se prekida isključivanjem motora. Očišćena epruveta nanovo se važe kako bi se ustanovio gubitak mase, računa se gubitak volumena što je ujedno i mjerilo otpornosti materijala abrazijskom obliku trošenja. Kao abraziv koristi se čisti kvarcni pijesak (99,99% SiO<sub>2</sub>), tipiziran prema AFS standardu 50/70. Zrnca pijeska su zaobljena, a promjeri su u granicama 212 do 300 μm.



Da bismo mogli izračunati gustoću elastomera, potrebno je obaviti dva vaganja (»suh« i »mokro«) te poznavati gustoću medija u koji je uronjen predmet za vrijeme mokrog vaganja. Medij u koji je uronjen predmet za vrijeme mokrog vaganja je voda gustoće 1000 kg/m<sup>3</sup>. Mokro vaganje obavlja se pomoću Mohr-Westphalove vage. Koristeći se principom uzgona, odnosno spoznajom da je volumen istisnutog fluida izražen kao posljedica uranjanja nekog tijela u isti, jednak volumenu uronjenog tijela u dotični fluid, tj.  $V_v = V_t$ , pri čemu je  $V_v$  volumen istisnutog fluida a  $V_t$  volumen uronjenog tijela, i činjenicom da tijelo uronjeno u fluid prividno toliko gubi na masi koliko teži tim tijelom istisnuti fluid:

$$m_s = m_m + m_v \quad m_v = m_s - m_m$$

kako je  $m = \rho \times V$  i  $V_s = V_m = V_v \Rightarrow$

$$\frac{m_s}{\rho_s} = \frac{m_v}{\rho_v} = \frac{m_s - m_m}{\rho_v} = \\ = \rho_s = \rho_v \times \frac{m_s}{m_s - m_m} \quad [\text{kg/m}^3]$$

gdje su:

- $m_s$  — masa suhog tijela, kg
- $m_m$  — masa mokrog tijela, kg
- $m_v$  — masa vode, kg
- $\rho_s$  — obujamska masa suhog uzorka, kg/m<sup>3</sup>
- $\rho_m$  — obujamska masa mokrog uzorka, kg/m<sup>3</sup>
- $\rho_v$  — obujamska masa vode, kg/m<sup>3</sup>

#### Računanje i prikaz rezultata

Kako su ispitivani uzorci različitih gustoća, treba izmjeriti gubitak mase preračunati na gubitak volumena. On se računa na slijedeći način:

$$\text{gubitak volumena} \\ (\Delta V), \text{ mm}^3 = \frac{\text{gubitak mase, g}}{\text{gustoća, g cm}^{-3}} \times 10^3$$

Kako se promjer kotača trošenjem gume smanjuje, smanjuje se i relativni put kotača. Zbog toga, kao i zbog različitog broja okretaja kotača) očitani nakon testa i broja okretaja kotača definiranog varijantom postupka, treba računati korigirati gubitak volumena na slijedeći način:

$$\text{KGV} = \text{izmjereni gubitak volumena} \times \frac{D \times n}{D_1 \times n_1}$$

Primljeno: 6. I. 1989.

Prihvaćeno: 6. III. 1989.

gdje su:

- KGV — korigirani gubitak volumena, mm<sup>3</sup>
- $\Delta V$  — izmjereni gubitak volumena, mm<sup>3</sup>
- D — nominalni promjer kotača, mm
- $D_1$  — promjer kotača na kraju testa, mm
- n — broj okretaja kotača
- $n_1$  — očitani broj okretaja kotača

#### Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja materijala cilindara prikazani su tablicom 2. Iz tablice je vidljivo da postoje velike razlike u relativnoj otpornosti trošenju odabranih materijala. Izborom bijelih lijevova (kao osnovnih materijala te termokemijskih postupaka obrade dobivaju se uzorci najviše otpornosti na abrazijski tip trošenja.

Rezultati ispitivanja materijala klipnih manžeta prikazani su tablicom 3. Od dostupnih materijala najmanji gubitak mase prisutan je kod uzoraka br. 5 i br. 8. Materijale navedenih uzoraka potrebno je detaljno ispitivati i odrediti fizikalne i kemijske parametre koji ih karakteriziraju.

#### Zaključak

Na temelju provedenih ispitivanja moguće je izdvojiti materijale koji trebaju zadovoljiti u stvarnim uvjetima trošenja. Od odabranih varijanti za izradu cilindara to su sve vrste bijelih lijevova, uz preporuku da se površine obrade termokemijskim postupcima (vanadiranje ili boriranje). Kod navedenih lijevova ostvarena je željena martenzitna struktura s visokim udjelom karbida, a tvrdoće habajuće površine kreću se od 810 HV 0,2 za BL (15-3-2) vanadiran do 1740 HV 0,2 za BL (16-2,8) vanadiran. Rezanjem cilindra i ispitivanjem rasporeda tvrdoće po dubini, ustanovljen je postepeni pad tvrdoće od površine prema dubini uzorka. Centrifugalno lijevani cilindri su bez oštećenja na habajućoj površini pa klipna manžeta počinje raditi u zadovoljavajućim uvjetima.

Kod izbora materijala klipnih manžeta izvršena je tek prva faza predviđena za izbor odgovarajućih materijala. Prema dosadašnjim ispitivanjima, trebalo bi nadalje odrediti sve relevantne parametre za otpornost elastomera abrazijskom tipu trošenja i to za materijale Polysar i Perbunan (Cavić, Zagreb), klipne manžete Gumarne Maribor, te klipne manžete Harrisburg, SAD. Navedeni uzorci pokazali su tokom ispitivanja najveću otpornost prema abrazijskom tipu trošenja.

LITERATURA

- Grozdić, V. (1988): Ispitivanje materijala za izradu manžeta klipnih sisaljki, Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str. 48, Zagreb.
- Kragelsky, I. V. (1982): Friction and Wear Calculation Methods, Pergamon Press, str. 464, Oxford.
- Matanović, D. (1984): Analiza trošenja stublina domaće proizvodnje u isplacnim sisaljkama, *Nafta* 35, 5, 267—274, Zagreb.
- Matanović, D. (1986): Razvoj tehnologije izrade cilindara za isplacne pumpe iz domaćih materijala, Magistarski rad, Tehnološki fakultet, 127 str., Zagreb.
- Zgaga, R. (1979): Ekonomski aspekti tribologije, *Tribologija u industriji*, 2—4, Kragujevac.

**The Course in Testing the Wearing Out of Mud Pumps Parts**

*D. Matanović, D. Magdić and V. Grozdić*

Wearing out of parts made in Yugoslavia and foreign countries has been observed and the wear out analyses should contribute to the choice of material and processing technology for the production of non-durable parts of better quality.

The use of centrifugal casting of high chromium white cast irons was brought in. Also, the use of boronizing and vanadizing was brought in. By laboratory testing the best material and surface treatment has been determined.

The standard ASTM practice for the dry sand/rubber wheel test covers the laboratory procedures for determining the resistance of metallic materials to scratching abrasion. This test method will reproducibly rank materials in their resistance to abrasion under a special set of conditions. Abrasion test results are reported as volume loss in cubic millimeters

for the particular test procedure specified. Materials of higher abrasion resistance will have a lower volume loss. The dry sand/rubber wheel test is relatively severe test for ranking materials in a wide volume loss scale from low to extreme abrasion resistance.

The test method involves abrading a standard test specimen with a grid of controlled size and composition. Specimens are weighted before and after the test and the loss is recorded. It is necessary to convert the mass loss to volume loss in cubic millimeters due to the wide differences in the density of materials. Abrasion is reported as volume loss for specified procedure. The value of the test lies in predicting the relative ranking of various materials in an abrasive environment. The same method is used for elastomers testing and selection.