

ANALIZA REALNIH IN TESTNIH DELCEV V HIDRAVLIČNIH FILTRIHI –

1. DEL

Matej Kunavar, Nejc Novak, Franc Majdič

Izvleček:

V prvem delu prispevka predstavljamo razloge za pojav delcev znotraj hidravličnega olja. Gre predvsem za štiri vrste možnih notranjih obrab, dvo- in trotelesno abrazijo, erozijo in kavitacijo. Novonastali delci potujejo s hidravlično kapljevino in posledično vplivajo na povečanja obrabe. Filtracija je zato nujno potrebna. V standardiziranih testih se uporablja standardni testni prah, ki pa je zelo abraziven za hidravlične komponente. Cilj pričujočega prispevka je bil pokazati razliko med standardnim testnim prahom in dejanskimi delci znotraj hidravlične kapljevine v industrijskem obratu. Z namenom analize realnih in testnih delcev, smo razvili postopek pridobivanja realnih delcev iz odsluženih hidravličnih filtrov. Te so nam donirali v podjetju Acroni Jesenice. Filtre smo razrezali na manjše kose, jih vstavili v laboratorijske steklene epruvete in jih sprali s čistilnim alkoholom. Ta je odstranil delce, ki so se usedli na dno epruvete. Delce smo osušili in pripravili za pregled na optičnem in elektronskem mikroskopu.

Ključne besede:

hidravlika, hidravlične kapljevine, filtracija, čistoča, delci, obraba, mikroskopiranje

1 Uvod

Čistoča hidravlične kapljevine je ključna za dobro delovanje sistemov pogonsko-krmilne hidravlike in njihove želene uporabne dobe. Pri pravilno vzdrževanih hidravličnih sistemih večino umazanije predstavljajo delci, ki nastanejo pri obrabi površin hidravličnih komponent. Namen hidravličnega filtra je zagotoviti potreben nivo čistoče kapljevine. Filter testiramo po standardu s testnim prahom, ki ponazarja delce nečistoč. Poznavanje realnih delcev je zaenkrat izkustveno, saj se raziskave ukvarjajo z vplivom delcev, ne pa z delci samimi. Skladno s standardom se pri določanju zahtevane čistosti kapljevine osredotočamo zgolj na število in velikost delcev, medtem ko so oblika in mehanske lastnosti delcev skoraj popolnoma zanemarjeni. Obraba je kompleksen proces, saj deluje veliko delcev in dogodkov, ki so različno verjetni. Nepoznavanje delcev problematizira tudi sam način testiranja filtrov, med katerim pri testiranju po standardu ISO uporabljamo srednje velik testni prah, sestavljen iz t. i. puščavskega peska, ki je izrazito bolj abraziven od realnih delcev v industrijski hidravliki.

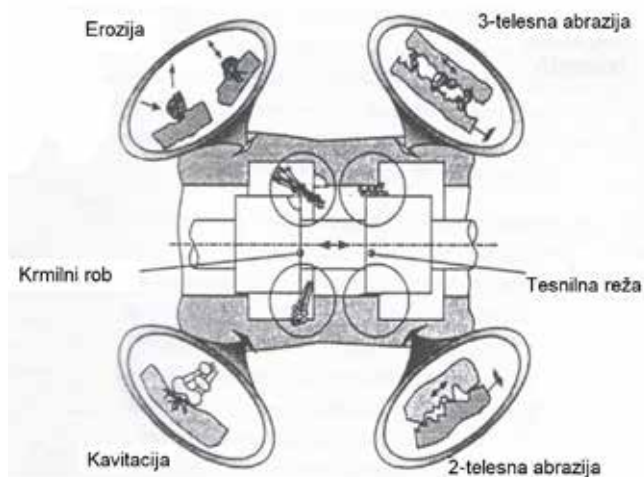
Matej Kunavar, dipl. inž., Kolektor ETRA, d. o. o., Ljubljana – Črnuče; **Nejc Novak**, mag. inž., **doc. dr. Franc Majdič**, univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

2 Delci v hidravlični kapljevini

Pojav trdih delcev v hidravličnih kapljevinah je nezaželen, a neizogiben. Nečistoče imajo dva izvora: zunanega in notranjega. Pri slednjem, ki je praviloma večinski, se delci generirajo znotraj sistema zaradi obrabe drsnih površin.

V splošnem poznamo 4 vrste osnovnih mehanizmov obrab v hidravličnih sistemih (*slika 1*):

1. erozija,
2. kavitacija,
3. dvotelesna abrazija in
4. trotelesna abrazija.



Slika 1 : Mehanizmi obrabe v hidravličnih sistemih na primeru potnega ventila [1]

V hidravliki so najpogostejši štirje mehanizmi obrabe (*slika 1*), in sicer: dve vrsti erozije na elementih hidravličnih komponent in dve vrsti abrazije. Ena vrsta erozije je lahko posledica trkov trdih delcev ob površine, druga pa pojav kavitacije ob tlačnih padcih v kapljevini. Abrazija je lahko 2-telesna (brez vmesnih delcev med elementoma z relativno hitrostjo) ali 3-telesna (z vmesnimi trdimi delci med elementoma z relativno hitrostjo).

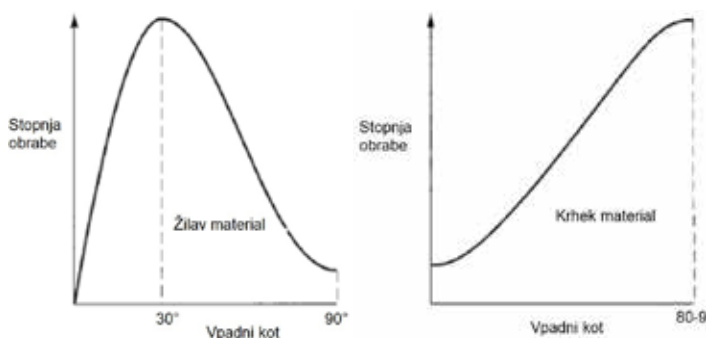
Erozija kot posledica trka trdih delcev

Takšna erozija je posledica pretokov hidravlične kapljevine, ki pogosto teče z visokimi hitrostmi skozi zožitve znotraj komponent. Hitrosti pretoka dosega tudi do nekaj sto m/s. Kapljevina vsebuje različne trde delce, ki odnašajo material z omočenih drsnih površin znotraj hidravličnih komponent. Material se z erodirane površine odtrga zaradi visoke kinetične energije hitro plavajočih delcev. Na stopnjo erozije vpliva več faktorjev [2]:

- ▶ mikrostruktura erodiranega materiala,
- ▶ mikrostruktura delcev,
- ▶ hitrost delcev,
- ▶ kot trka delcev in
- ▶ število delcev v kapljevini.

V poimenovanju mikrostruktura materiala in delcev je vsebovana tudi njihova trdota. Hitrost delcev je najpomembnejši faktor, ki vpliva na stopnjo erozije, saj je neposredno povezana s kinetično energijo delcev. Hitrejši delci lahko tako povzročijo večje napetosti in deformacije v materialu in pospešujejo obrabo. Pomemben vpliv imata tudi mikrostruktura erodiranega materiala in število delcev na volumen kapljevine. Iranski znanstveniki so testirali vpliv obeh faktorjev [2]. Ugotovili so, da stopnja erozije narašča z naraščanjem števila delcev samo do neke koncentracije, potem pa začne upadati zaradi medsebojnih trkov delcev [3]. Na univerzi v Ohio so z eksperimenti dokazali, da se bolj žilav material zaradi trkov najprej površinsko utruje, nato pa se začne luščiti [2].

Velik vpliv na stopnjo erozije ima tudi kot trka delcev. Vpliv je za žilave materiale drugačen kot za krh-



Slika 2 : Vpliv vpadnega kota na stopnjo obrabe materiala [2, 4]

ke (*slika 2*). Pri žilavih materialih imajo koti trka od 0° do 20° majhen vpliv na erozijo, koti trkov med 20° in 30° pa povzročajo največjo stopnjo erozije zaradi apliciranih strižnih napetosti. Kotom od 30° do 90° se stopnja erozijske obrabe zmanjšuje.

Drugače velja za krhke materiale, kjer je največja obraba pri kotu 90° in se trd material ne more več deformirati, zato pride do porušitve. Vpliv vpadnih kotov na stopnjo obrabe prikazujeta diagrama na *sliki 2* [2, 4].

Erozija kot posledica kavitacije

Kavitacijo predstavljajo implozije mehurčkov hidravlične kapljevine. Implozija nastane na območjih, kjer tlak v kapljevini hitro pade in povzroči nastanek mehurčkov, nato pa se hipoma poveča čez kritično mejo in povzroči, da mehurčki implodirajo. Za nastanek kavitacije so nujno potrebni prosti in zaostali plini v kapljevini, saj kapljevine brez zaostalih plinov prenašajo tudi negativne tlake, vse do tlakov uparjanja [5].

Hitrosti kapljevine, ki se tvorijo pri kolapsu mehurčkov, se gibljejo med 100 m/s in 500 m/s. Udar traja med 1 μ s in 1 ms. Implodiranje več mehurčkov hkrati povzroči lokalno povišanje tlaka za nekaj sto barov in valovanje z nekaj tisoč Hz. Mesta, kjer je kavitacija, razvijejo tudi tresenje z velikimi reakcijskimi silami [5]. Posledice udarov kavitacijskih mehurčkov na površini ventilske plošče aksialne batne hidra-

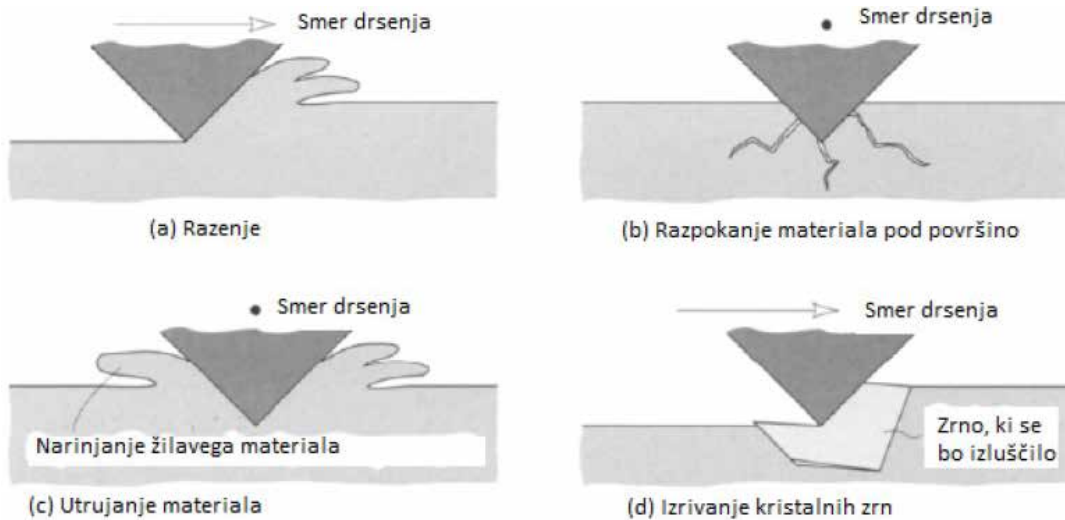


Slika 3 : Posledica kavitacijske obrabe na ventilski plošči hidravlične črpalke [6]

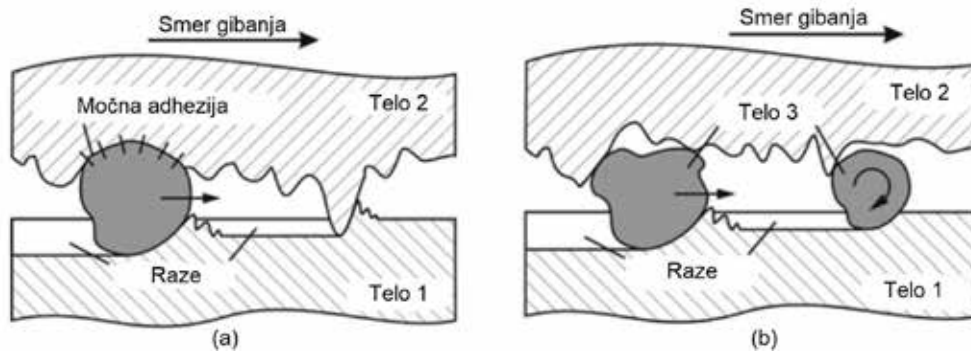
vlične črpalke prikazuje *slika 3*.

Abrazija

Poznamo več mehanizmov abrazijske obrabe. Rezanje ostrega delca v mehko površino materiala prikazuje *slika 4 (a)*. Pri obremenitvi krhkih materialov z ostrimi robovi se v globini materiala začnejo pojavljati razpoke, kar prikazuje *slika 4 (b)*. Pospešeno utrujanje materiala zaradi ponavljajoče se plastične



Slika 4 : Mehanizmi abrazijske obrabe materiala [4]



Slika 5 : Dvotelesna (a) in (b) trotelesna abrazija [4]

deformacije prikazuje *slika 4 (c)*. Ta mehanizem je značilen za žilave materiale. Najredkejši mehanizem je puljenje (izluščenje) zrn, na *sliki 4 (d)*, ki je posledica krhkih vezi med zrn materiala [4].

Abrazivno obrabo določa način, kako robovi prečkajo površino. Poznamo dva temeljna načina, in sicer dvotelesno abrazijo (*slika 5 (a)*) in tritelesno abrazijo (*slika 5 (b)*).

Eksperimenti so pokazali, da je stopnja obrabe pri trotelesni abraziji približno 10-krat manjša kot pri dvotelesni abraziji. Pri trotelesni abraziji mehanizem obrabe spominja na erozivno obrabo, saj gre tudi tu za naključne trke, odboje in rotacije delcev. Na drsni površini elementov hidravličnih komponent se pojavljajo tako dvo- kot trotelesna abrazija in tudi erozija [4].

Testni prah

Za testiranje hidravličnih filtrov poznamo več vrst testnega prahu. Standard ISO 12103-1 predstavlja štiri različne razrede, ki se med seboj razlikujejo po velikosti vsebovanih delcev [7]. Razvrstitev velikostnih razredov delcev po standardu ISO 12103-1 prikazuje *preglednica 1*.

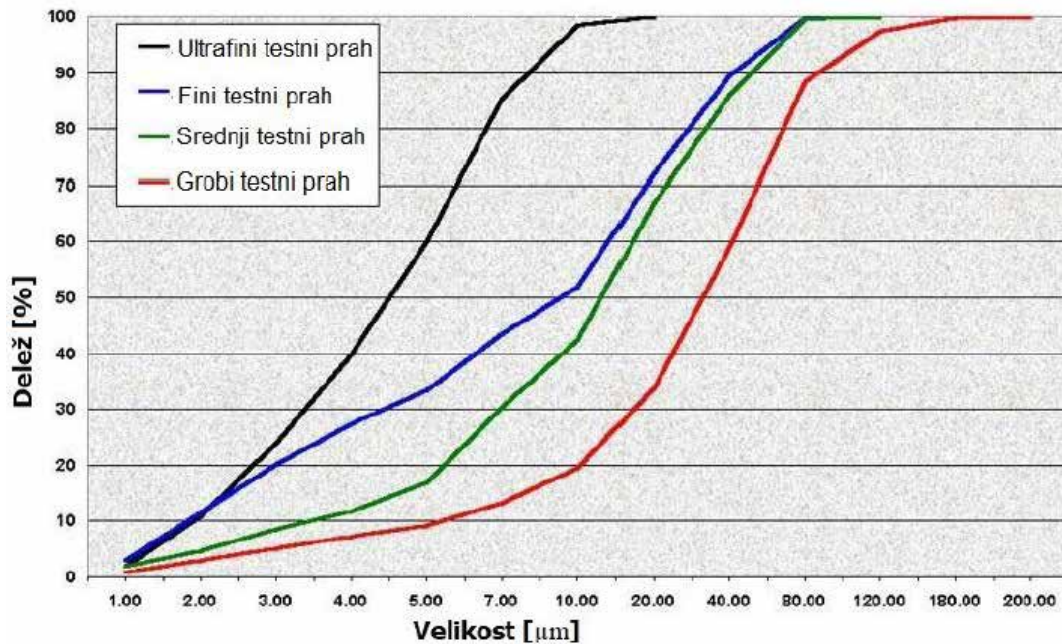
Preglednica 1 : Razredi velikosti testnega prahu po standardu ISO 12103-1, prirejeno po [8]

ISO 12103-1-A1	Ultrafini testni prah
ISO 12103-1-A2	Fini testni prah
ISO 12103-1-A3	Srednji testni prah (MTD)
ISO 12103-1-A4	Grobi testni prah

Slika 6 prikazuje diagram porazdelitve delcev različnih velikosti za posamezen velikostni razred testnega prahu [9].

Testni prah velja za zelo abrazivnega, zato se uporablja tudi za testiranje komponent, ki so izpostavljene majhnim delcem [7, 8]. Za nas je najbolj zanimiv testni prah, ki ga popisuje standard ISO 12103-1-A3, oziroma srednji testni prah MTD (ang *medium test dust*). Uporablja se namreč za večprehodno testiranje hidravličnih filtrov. Vpliv testnega prahu na hidravlične sestavine je v veliki meri odvisen od njihove velikosti in kemične sestave (*preglednica 2*) [7, 8].

Najpomembnejšo vlogo pri vplivu delcev na obrabo hidravličnih komponent med testom in v realnem



Slika 6 : Delež velikosti delcev za posamezen velikostni razred delcev [9]

Preglednica 2 : Kemična sestava delcev srednjega testnega prahu (ISO 12103-1-A3) [9]

Kemična zgradba delca	Delež glede na ostale delce [%]
SiO ₂	od 69 do 77
Al ₂ O ₃	od 8 do 14
CaO	od 2,5 do 5,5
K ₂ O	od 2 do 5
Na ₂ O	od 1 do 4
Fe ₂ O ₃	od 4 do 7
MgO	od 1 do 2
TiO ₂	od 0 do 1

okolju imajo materialne lastnosti delcev in hidravličnih sestavin. Pri testiranju hidravličnih sestavin so, upoštevajoč preglednico 2 in način izdelave večine hidravličnih komponent, najpogostejši materiali silicijev dioksid (SiO₂), aluminijev oksid (Al₂O₃) in navadno konstrukcijsko jeklo S235. Primerjavo materialnih lastnosti vseh treh materialov prikazuje preglednica 3.

Preglednica 3 : Primerjava najpogostejših materialov delcev, ki se pojavijo v hidravličnih sistemih. Prirejeno po [10, 11, 12].

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S235
Modul elastičnosti [GPa]	od 66,3 do 74,8	od 215 do 413	od 200 do 215
Natezna trdnost [MPa]	od 45 do 155	od 69 do 665	od 340 do 510
Strižni modul [GPa]	od 27,9 do 32,3	od 88 do 165	od 57 do 80
Poissonov količnik [/]	od 0,15 do 0.19	od 0,21 do 0.33	0,29

Analiza delcev SEM in EDS

Z analizo SEM (ang. *Scanning Electron Microscopy*) proučujemo površino, lahko pa tudi elementarno sestavo nekega vzorca. Rezultati analize so slike površine vzorca, ki dosegajo zelo visoko resolucijo. Gre za mikroskopiranje z elektronskim mikroskopom [13].

Mikroskopiranje deluje tako, da s pomočjo elektronske pištole generiramo elektrone, ki so najpogostejše termoioničnega izvora - iz katode, zgrajene iz volframovega filameta. Elektrone pospešujemo s pomočjo aplicirane napetosti. Nato elektronske leče konvergirajo tokove elektronov v snope oziroma žarke, ki padejo na majhno območje na površju vzorca. Določanje lokacije trka snopa elektrona je zelo natančno. Površino vzorca nato skeniramo z elektronskim mikroskopom v obliki pravokotnega rasterja. Z nastavljanjem velikosti skenirane površine prilagodimo povečavo, ki je pri elektronskih mikroskopih lahko od 10 do 3.000.000-kratna [13].

Ko pridejo elektroni v kontakt s skenirano površino, reagirajo z atomi proučevanega materiala. Elektro-

nu, ki trči v proučevano površino, rečemo primarni elektron, tistemu, ki zapusti to površino, pa sekundarni elektron. Primarni elektroni interirajo z materialom do globine približno 5 μm . Volumen, v katerem se zgodi interakcija, je v obliki kapljice in se zato imenuje interakcijski volumen. Globina in velikost interakcijskega volumna sta odvisna od energije elektrona, atomskega števila vzorca in gostote materiala vzorca. Izmenjava energije med snopom elektronov in vzorcem rezultira v emisiji elektronov in elektromagnetne radiacije (ang *x-ray*). Tako lahko povratni signali nosijo informacijo tudi o materialni kompoziciji vzorca. Detektorji pridobivajo razpršene odbite elektrone in sekundarne elektrone, jih ojačajo ter nato z njihovo pomočjo določajo obliko in zgradbo analizirane površine [13].

EDS (ang. *Energy-dispersive spectroscopy*) se nanaša na informacijo o kemijski sestavi vzorca. Temelji na predpostavki, da ima vsak atom s svojo edinstveno atomsko strukturo unikaten nabor vrhov v spektru elektromagnetnih emisij. Pomembna faktorja pri tej metodi sta debelina materiala, ki jo mora signal prepotovati in je lahko potencialna ovira na njegovi poti, ter verjetnost, da se bo signal vrnil na detektor in se ne bo izgubil v okolico.

Priprava preparatov, ki jih proučujemo po tej metodi, zahteva veliko pozornosti, sicer lahko dobimo nezadovoljive rezultate. Ni potrebno, da so vzorci veliki, saj lahko že z manjšim kakovostnim vzorcem dobimo želene rezultate. Posebno pozornost moramo nameniti električno neprevodnim materialom, saj med analizo akumulirajo električni naboj in oddajo zelo malo povratnega signala, zato moramo zagotoviti prevodnost vzorca vsaj na njegovi površini in pa njegovo ozemljenost. Posledično so kovinski in ostali vzorci prevodnih materialov časovno manj potratni za pripravo. Električno prevodnost vzorca dosežemo z raznimi dodajnimi materiali oziroma plašči. Trenutno so v uporabi materiali, kot so zlato, paladij, platina, iridij, volfram, krom, osmij, najpogosteje pa ogljik. Oplaščenje s težkimi kovinami lahko poveča razmerje med signalom in šumom za atome z nizkim atomskim številom.

3 Razvoj metodologije pridobivanja delcev

Z namenom raziskave smo testirali hidravlični filter, ki je bil prej na proizvodni liniji železarne SIJ Acroni, d. o. o. Primer vgradnje dveh filtrov proizvodne linije, ki obratujeta v podobnih razmerah in v istem podjetju kot testirani filter, prikazuje *slika 7*.

Proučevanemu vložku (filtrskemu elementu) (na *sliki 8*) smo na spletu poiskali kataloški list in mu določili interno oznako, prikazano v *preglednici 4*.



Slika 7 : Filtri postrojenja za valjanje pločevine v SIJ Acroni, d. o. o.

Preglednica 4 : Testirani hidravlični filter z interno oznako

Interna oznaka filtra	Kataloška oznaka filtra
1.1	R928017668



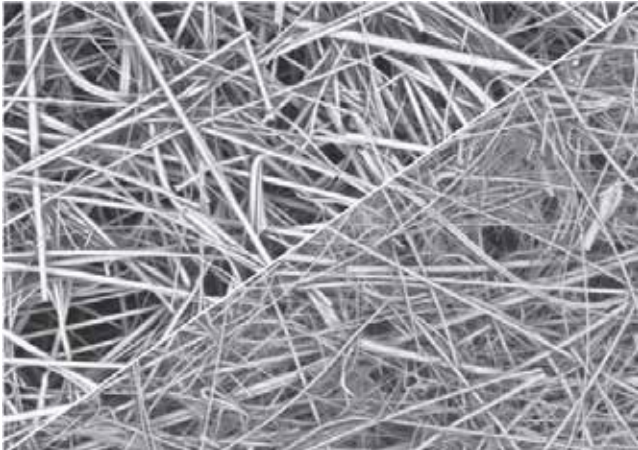
Slika 8 : Filter (vložek oz. element) z interno oznako 1.1

Filter 1.1

Proizvajalec filtra je podjetje Rexroth. Gre za filter tipa 10 z nabavno oznako 10.1300LA H6XL A00 6 M SO3000. Filtrirni material omenjenega filtra so nepletена steklena vlakna, ki tvorijo šest plasti in dva med seboj različna efektivna sloja. Oba sloja pod elektronskim mikroskopom prikazuje *slika 9*. Material dosega nazivno prepustnost do 6 μm . Največji dopustni tlačni padec na filtrirnem elementu je 30 bar. Najvišja dopustna temperatura obratovanja je 100 °C. Filtrirni element ima tudi obtočni vod s

Preglednica 5 : Beta vrednosti za nekatere velikosti delcev filtra 1.1 [15]

Velikost delca [μm]	β vrednost
4,8	≥ 75
5,5	≥ 200
7,5	≥ 1000



Slika 9 : Vlakna obeh različnih učinkovitih slojev filtra 1.1 [14]

tlačnim (prelivnim) ventilom, ki se odpre pri $\Delta p = 3$ bar. Filter zagotavlja čistočo hidravličnega olja med 15/12/10 in 19/14/11. Beta vrednost filtra za nekatere velikosti delcev prikazuje *preglednica 5*. Beta vrednosti so določene pri tlačnem padcu 2,2 bar [14].

V nadaljevanju smo se lotili jemanja vzorcev delcev iz filtra. Zanima nas realna slika delcev iz rabljenih industrijskih filtrov v primerjavi z delci standardiziranega testnega prahu za laboratorijsko testiranje hidravličnih filtrov. Ker postopek za jemanje industrijskih vzorcev še ni standardiziran, smo ga razvili sami. Pri jemanju vzorca delcev je potrebno



Slika 10 : Izrezovanje dela filtra

eliminirati prisotnost olja in drugih neželenih snovi v vzorcu delcev. Metoda pridobivanja delcev ima naslednje korake:

1. izrezovanje vzorcev filterskega elementa,
2. izpiranje vzorcev,
3. sušenje izpranega materiala,
4. priprava preparatov za mikroskopiranje z optičnim mikroskopom,
5. priprava preparatov za mikroskopiranje z elektronskim mikroskopom in
6. mikroskopiranje vzorcev.

Izrezovanje vzorcev filtra

Pri izrazu »filter« gre seveda samo za filterske elemente (vložke), ki prevzemajo delce nečistoč. Vzorec filtra je velik približno 10 x 10 mm. Vzorce smo izrezali s tapetniškim nožem in škarjami. Vzorec mora vsebovati vse plasti navadno večplastnega filtra, da lahko opazujemo delce vseh velikosti. Izrezkov filtra se je treba čim manj dotikati, da jih ne kontaminiramo. *Slika 10* in *slika 11* prikazujeta izrezovanje vzorca filtra. Vzorce smo sproti shranjevali v hermetično zaprte epruvete in jih označevali.

Izpiranje vzorcev

Vzorce v eprugetah (premera 10 mm in višine 120 mm) smo zalili s 96-odstotnim etilnim denaturiranim alkoholom (*slika 12*) in jih nato pretresli. Pri zalivanju vzorcev z alkoholom je priročna uporaba injekcije. Hidravlično olje se raztopi v alkoholu, ki se nato obarva v rjav odtenek, kar je razvidno na *sliki 13*. Ker na koncu ne želimo, da so delci prekriti z oljem, je potrebno tako kontaminiran alkohol v eprugeti delno zamenjati in postopek večkrat ponoviti. Postopek ponavljamo toliko časa, dokler nam po pretresanju v eprugeti ne ostane transparenten brezbarven alkohol.



Slika 11 : Rezanje na manjše kose



Slika 12 : Vzorci filtra v epruveti, zaliti z alkoholom



Slika 13 : Zmes alkohola in olja, ki se obarva rjavo

Mešanico olja in alkohola iz epruvete odstranimo takrat, ko se vsi delci posedejo na njeno dno, kar je trajalo približno 20 minut. Tekočino nato s pipeto počasi odstranjujemo iz epruvete (*slika 14*). Pri odstranjevanju smo se držali načela, da morajo biti vzorci filtrov na koncu še vedno pod gladino in da ustje pipete nikoli ni pod nivojem zgornjega roba filtra.

Če epruveto držimo z golo roko za dno, ustvarimo konvekcijske tokove in tako delce zopet dvignemo. Če se nam slednje zaradi katerega koli vzroka zgodi, je potrebno zopet počakati, da se delci posedejo



Slika 14 : Odstranjevanje alkohola iz epruvete (pipetiranje)

nazaj na dno. Če so se delci v večini že posedli, se včasih ne vidi najbolje. To lahko na hitro preizkusimo tudi tako, da magnet prislonimo ob epruveto v višini gladine alkohola in nato takoj odstranimo, da magnetno polje z dna ne dvigne še ostalih delcev. Nato damo epruveto pod luč. Če se delci še niso dovolj posedli, bi morali na mestu, kjer smo prislonili magnet, videti skupke črnih delcev oziroma kakršne koli sivine, ki lebdijo ob steni epruvete.

Sušenje izpranega materiala

Ko se po pretresanju vzorcev v alkoholu ta ne obarva več, zopet počakamo, da se delci usedejo. Najprej s pomočjo pincete odstranimo koščke filtra, ki jih pri ustju epruvete s pomočjo injekcije še malo speremo. Zopet počakamo, da se delci posedejo, nato pa odstranimo čim več alkohola, vendar ne toliko, da bi se med pipetiranjem začeli delci dvi-



Slika 15 : Ostanek alkohola z delci pred sušenjem



Slika 16 : Sušenje delcev v odprti epruveti na podstavku



Slika 17 : Posušen vzorec delcev

govati. Ko smo odstranili alkohol (slika 15), pustimo epruveto na stojalu odprto in počakamo, da se vsebina posuši (slika 16). Posušeni delci morajo imeti suh in nemasten videz. Na sliki 17 vidimo že posušene delce v epruveti. Lahko se zgodi, da se delci, čeprav so očiščeni, sprimejo na dnu epruvete. To ne predstavlja težav, saj se te sprijete skupke brez težav razbije s čistim dolgim trdim predmetom. Priporočljive so laboratorijske steklene palčke.

4 Zaključne misli k prvemu delu

Prvi del prispevka predstavlja razloge za pojav delcev znotraj hidravlične kapljevine. To so štiri možne vrste obrab, dvo- in trotelesna abrazija ter erozija in kavitacija. Novo nastali delci potujejo s hidravlično kapljevino skozi komponente ter tokovodnike in še povečujejo obrabo. Filtracija je zato nujno potrebna.

V standardiziranih testih naj bi se uporabljal testni prah, ki pa je za hidravlične komponente zelo abraziven.

Namen tega prispevka (in nadaljevalnega) je prikazati razliko med standardnim testnim prahom in dejanskimi delci, ki so v hidravlični tekočini industrijskega postrojenja.

Razvili smo metodo vzorčenja delcev iz zamašene hidravličnega filtra iz železarne SIJ Acroni Jesenice. Filtrirni material razrežemo na manjše kose, ga namestimo v epruveto ter spiramo s čistilnim alkoholom. Ko na dnu epruvete ostanejo čisti delci, jih osušimo in pripravimo za opazovanje na optičnem ter na elektronskem mikroskopu.

Nadaljevanje prispevka bo objavljeno v naslednji številki revije Ventil. V drugem delu bomo prikazali postopek analize iz industrijskega filtra pridoblje-

nih vzorcev delcev. Prikazali bomo njihove oblike ter material in jih primerjali s standardnim testnim prahom.

Literatura

- [1] F. Majdič. 2. predavanje – teoretične osnove – FT_30176, dostopno na: <https://visfs.uni-lj.si/main.asp> (23. 4. 2020).
- [2] P. Shewman, G. Sundararajan. The erosion of metals. *Ann. Rev. Mater. Sci.* 13 (1983), str. 301-318.
- [3] A. Jafari et al. Experimental comparison of abrasive and erosive wear characteristic of four wear-resistant steels: *Wear*. Author's accepted manuscript. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.09.010> (25. 4. 2020).
- [4] G. Stachowiak, A. Batchelor. *Abrasive, Erosive and Cavitation wear: Engineering Tribology*. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005, str. 501-552.
- [5] F. Majdič. Kavitacija in erozija v povezavi z abrazijo – obraba znotraj sestavin pogonsko-krmilne hidravlike: 2. izpit tribologija. Ljubljana, december 04-marec 05.
- [6] Reparation pompe et moteur hydraulique. Dostopno na: http://hydro.tg.free.fr/reparation_pompe/cavitation/cavitation.jpg, ogled: 15. 6. 2020.
- [7] N. Čegovnik, F. Majdič. Preizkušanje hidravličnih filtrov – večprehodni test po standardu ISO 16889:2008. *Ventil* 5, letnik 24 (2018), str. 382-389.
- [8] SIST ISO 12103-1:1997. Road vehicles-Test dust for filter evaluation- Part 1: Arizona test dust.
- [9] R. A. Fletcher, D. S. Bright. Shape factors of ISO 12103-A3 (medium test dust). *Surface and microanalysis science division*. November 2000, str. 49-56.
- [10] Silica-Silicon dioxide (SiO₂). Dostopno na:

- <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=1114>, ogled: 27. 6. 2020.
- [11] Alumina-aluminium oxide – Al₂O₃ – refractory ceramic oxide. Dostopno na: <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=52>, ogled: 27. 6. 2020.
- [12] EN 10025 Grade S235JRG2C as-rolled condition (+AR). Dostopno na: <https://matmatch.com/materials/minfm33146-din-17100-en-10025>, ogled: 28. 6. 2020.
- [13] K. Vos, N. Vandenberghe, J. Elsen. Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation. Earth-science reviews, volume 128, str. 93–104.
- [14] Filter elements for installation in hydac filter housings: type 9. and 10. filter elements. Rexroth bosch group: The drive and control company. RE 51457 (2013).
- [15] Filterelemente: typ 10., zum einbau in hydac filtergehäuse. Rexroth bosch group: The drive and control company. RE 51531 (2019).

Analysis of real and test particles in hydraulic filters – 1st part

Abstract:

In the first part of the paper, the reasons for the appearance of particles inside the hydraulic liquid are presented. These are the four possible types of wear, two-body abrasive wear, three-body abrasive wear, erosion and cavitation. The newly formed particles migrate through the hydraulic fluid and further increase the wear. Filtration is therefore essential.

Test powder is expected to be used in standardized tests, but it is very abrasive to hydraulic components.

The aim of the present work was to show the difference between the standardized test powder and the actual particles present in the hydraulic fluid of an industrial plant.

We have developed a method to sample particles from a clogged hydraulic filter of SIJ iron plant Acroni Jesenice. Cut the filter material into smaller pieces, place it in a test tube, and rinse it with cleaning alcohol. If clean particles remain at the bottom of the tube, dry them and prepare them for observation on an optical and electron microscope.

The continuation of the article will appear in the next issue of Ventil magazine. In the second part, we will present the process of analyzing particle samples obtained from an industrial filter. We will show their shapes and material and compare them with standard test powder.

Keywords:

hydraulics, hydraulic fluids, filtration, cleanliness, particles, wear, microscopy

Zahvala

Vodji vzdrževanja hidravlike v SIJ ACRONI Metodu Smoleju, dipl. inž. str., se avtorji zahvaljujemo za darovane testirane rabljene filtre.

Vodji katedre in laboratorija TINT prof. dr. Mitjanu Kalinu in dr. Muhammadu Shahidu Arshadu se zahvaljujemo za pomoč pri mikroskopiranju delcev.

LABORATORIJ ZA FLUIDNO TEHNIKO

Smo laboratorij z dolgoletno tradicijo na področju fluidne tehnike. Ukvarjamo se z oljno in tudi ekološko prijazno vodno pogonsko-krmilno hidravliko, pri tem pa uporabljamo sofisticirano in sodobno merilno in programsko opremo.

Obrnite se na nas, če potrebujete:

- razvoj in optimiranje hidravličnih komponent in naprav,
- izdelavo hidravličnih naprav,
- izboljšave in popravila hidravličnih strojev in naprav,
- izdelavo sodobnega krmilja za hidravlične stroje,
- industrijsko izobraževanje na področju fluidne tehnike,
- ekološke hidravlične naprave na pitno vodo,
- nudimo visokotlačne trajnostne teste,
- nudimo testiranje hidravličnih filtrov ter izdelavo sodobne filtrirne naprave, ...



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Laboratorij za fluidno tehniko
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana
T: 01/4771115, 01/4771411
E: fft@fs.uni-lj.si
<http://lab.fs.uni-lj.si/fft/>