

VZDRŽEVANJE HIDRAVLIČNIH NAPRAV – 15. DEL

Franc Majdič

V štirinajstem delu *Vzdrževanja hidravličnih naprav* smo predstavili kako ovrednotiti servisno hidravlično podjetje. Preden se odločite, ali boste za popravilo vaše hidravlične naprave izbrali dobavitelja stroja, proizvajalca hidravličnih komponent ali pa neodvisen servis, se najprej pozanimajte o njihovih zmožnostih in referencah. Poleg osnovnih pogojev, kot so čisto in suho okolje, je pomembno, da ima izbrani serviser tudi ustrezne izkušnje in servisno ter merilno opremo. V drugem delu tega prispevka smo vas seznanili z možnimi prevarami posameznih serviserjev pri popravilu vaše hidravlične opreme.

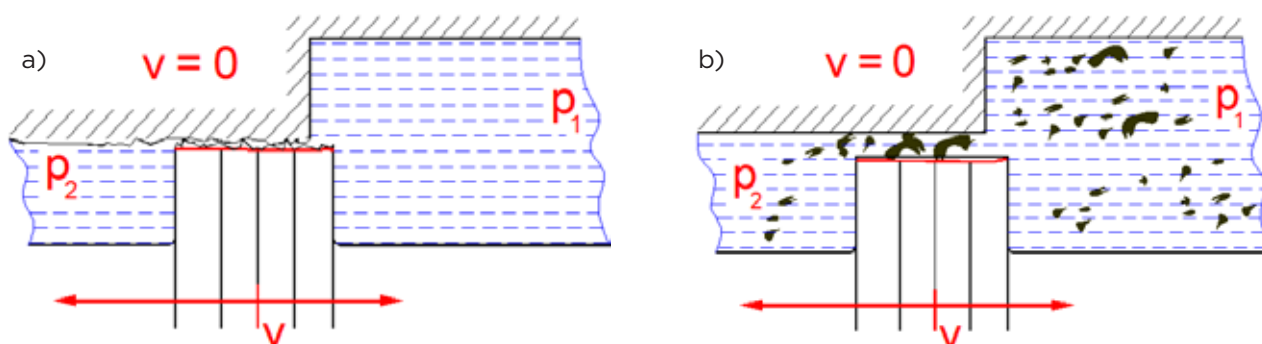
Povzetek:

V 15. delu vzdrževanja hidravličnih naprav bomo pisali o obrabi znotraj hidravličnih komponent, predvsem hidravličnih črpalk in drsniških ventilov. Vsi stroji se med delovanjem obrabljajo, izjema pri tem niso niti hidravlični. S tega vidika je namen proaktivnega vzdrževanja, da upočasni obrabo hidravličnih komponent in podaljša njihovo uporabno dobo. Da bi bili pri tem učinkoviti, je pomembno, da razumemo obrabne mehanizme in pogoje, pri katerih se komponente obrabljajo. Intenzivna obraba posledično skrajšuje uporabno dobo komponent. V prispevku bomo predstavili možne vrste obrab znotraj hidravličnih komponent, kako jih zmanjšati, in vrste mazanja, da dosežemo čim daljše delovanje hidravličnih strojev.

1 Vzroki za obrabo hidravličnih komponent in kako jo zmanjšati

Abrazivna obraba pomeni praskanje in razenje drsniških mazanih površin. Delimo jo na dvo- in tritelesno abrazijo. Dvotelesna abrazija (*slika 1a*) se pojavi, ko se dve mazani drsni površini dotakneta, običajno je

to posledica izrivanja oljnega filma. Tritelesna abrazija (*slika 1b*) se pojavi, ko se v režo med dve drsni površini zagosti trd delec in brazdi po drsni površinah. Posledica abrazivne obrabe (dvo- in tritelesne) je povečanje tesnilne reže znotraj hidravlične komponente, kar vodi v večje notranje puščanje, povečane volumetrične izgube in povišanje delovne temperature hidravlične kapljevine.



Slika 1 : Abrazivna obraba: a) dvotelesna in b) tritelesna

Izr. prof. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž.,
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-4.06>

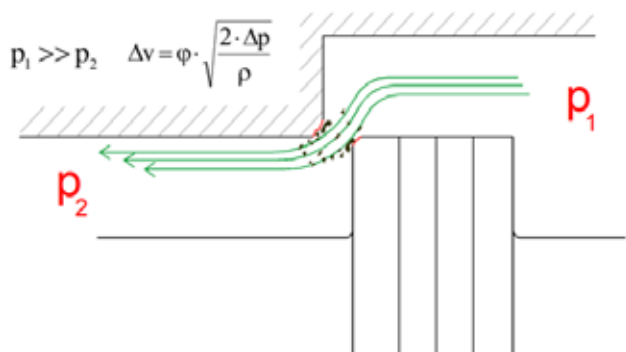
Adhezivna obraba pogosto izhaja iz dvotelesne abrazije. Ko se mazalni film med dvema drsnima površinama odstrani, se ti dve površini začneta obrabljati (dvotelesna abrazija). Rezultat brazdenja in poškodb drsniških površin vodi v višje trenje in poviša-



Slika 2 : Utrujnostna obraba – fizikalni princip

no temperaturo. Če sta trenje in ustvarjena toplota dovolj visoka, pride do adhezivnega – tornega zvara dveh drsnih površin. Čeprav je popolno zvarjenje dveh drsnih površin mogoče, je precej bolj pogost adhezivni prenos materiala (z mikroskopsko višjih vršičkov hrapavosti) z ene drsne površine na drugo.

Utrujnostna obraba (slika 2) se pojavi pri zelo obremenjenih mazanih kontaktih – posebej v ležajih in zobnikih, v hidravliki predvsem znotraj hidravličnih črpalk in motorjev. Točkovne obremenitve povzročijo najprej elastične deformacije drsne površine. Dolgotrajne dinamično-spreminjajoče se elastične napetosti drsnih površin sčasoma povzročijo utrujnostne poškodbe, kot so površinske razpoke in kasnejše lomljenje drsne površine.

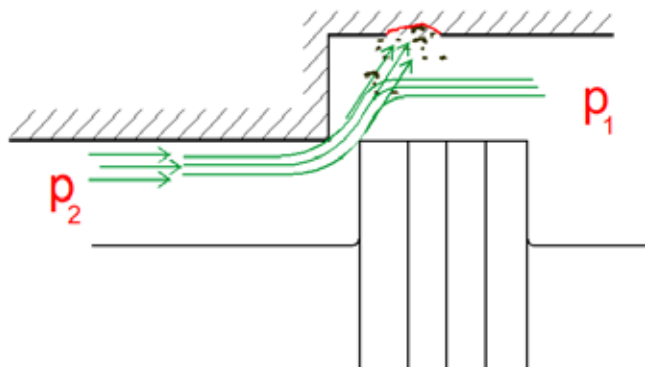
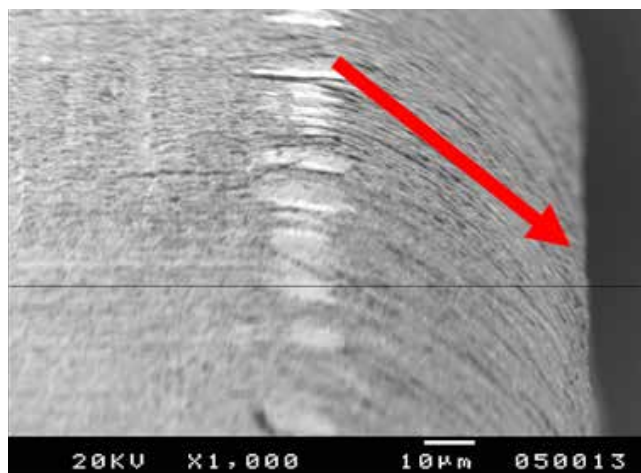


Slika 3 : Erozivna obraba znotraj hidravličnih sestavin: a) fizikalni princip, b) povečana slika erozijsko obrabljenega krmilnega roba bata potnega ventila – SEM

Erozijska obraba se pojavi predvsem takrat, ko je v hidravlični kapljevini velika količina zelo majhnih – kot mulj velikih trdih delcev (manjših od 2 mikrometra). Ko s trdimi delci kontaminirana kapljevina z veliko hitrostjo potuje mimo mazanih drsnih površin, predvsem na krmilnih robovih ventilov, erozivno odnaša material v tesnilni reži. Erozivna obraba (slika 3) znotraj hidravličnih sistemov je podobna klasični polirni pasti, ki polira in odnaša material. Posledice erozivne obrabe so povečana tesnilna reža, večje notranje puščanje hidravlične kapljevine in njena višja delovna temperatura.

Kavitacijska obraba se pojavi zaradi pojava parnih oljnih ali zračnih mehurčkov iz olja, npr. na vstopni – sesalni strani črpalke. Ti mehurčki se na izhodu – na tlačni strani – pod tlakom zmanjšajo. Mikrocurki zračnih mehurčkov, pomešanih v olju, imajo dovolj veliko energijo, da odnašajo (erodirajo) okoliški material s površine (slika 4). Posledično nastanejo poškodbe tesnilnih površin in novi delci, ki v nadaljevanju povzročajo tritelesno abrazijo ter erozijo.

Korozivna obraba se pojavi takrat, ko kemične reakcije povzročijo odnašanje materiala s površine. Rjavenje kovinskih materialov je najbolj pogost primer. Do rjavenja znotraj oljno-hidravličnih sistemov pri-



Slika 4 : Kavitacijska obraba: a) fizikalni princip, b) kavitacijsko obrabljena ventilska plošča zobniške črpalke z notranjim ozobjem

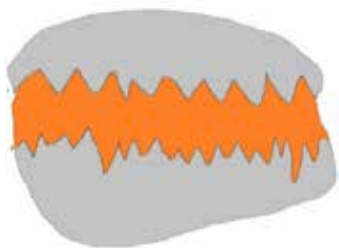


haja ob vstopu vode ali pri povišani temperaturi, ko kemični stranski produkti reagirajo z nekaterimi kovinami. Poleg tega so barvne kovine (broni) lahko občutljive na kemične napade nekaterih dodatkov, še posebej, če je v olju voda.

2 Osnove mazanja hidravličnih komponent

Omenjeno obrabo lahko znatno zmanjšamo z vzdrževanjem ustreznega mazanja. Poznamo tri glavne režime: hidrodinamično, elasto-hidrodinamično in mejno mazanje.

Hidrodinamično mazanje imenujemo tudi mazanje s »polnim« filmom. Obe drsni površini sta ločeni zaradi hidrodinamičnih sil in viskoznosti kapljevine (*slika 5*). Formiranje hidrodinamičnega filma je odvisno od geometrije površine, hitrosti, obremenitve in viskoznosti maziva. Debelina hidrodinamičnega mazalnega filma je običajno večja od 0,25 mikrometra.

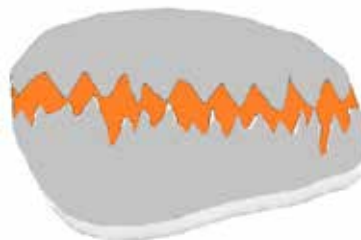


Slika 5 : Polni mazalni film prepreči kovinski kontakt drsnih površin.

Elasto-hidrodinamično mazanje (EHD) se imenuje tako zaradi formiranja hidrodinamičnega filma, ki je odvisen od elastične deformacije drsnih površin. EHD se pojavi, ko se drsne površine zbližajo v točki ali črti, kot je nagibna črta dveh zob zobnikov, ali v krogličnih in valjčnih ležajih. Ker se večji del obremenitve kratkotrajno prenaša preko majhnih površin, je kontaktni tlak zelo visok – vse do 35 tisoč bar. Tako visok kontaktni tlak povzroči, da olje med kontaktom postane trdo (viskoznost se mu ekstremno poveča). Debeline EHD filma so med 0,025 in 1 mikrometer.

Mejno mazanje se pojavi, ko oljni film ne prekrije vseh vršičkov hrapavosti obeh drsnih površin (*slika 6*). Pri teh pogojih sta trenje in obraba odvisna od kemičnih karakteristik maziva – hidravlične kapljevine. Mejno mazanje se zagotovi z dodatki hidravlični kapljevini, ki reagira z drsno površino, da oblikuje mehke, milnate filme in poveča mazljivost pri mejnih triboloških kontaktih. Ti dodatki se imenujejo protiobrabni (angl. AW – anti-wear) ali proti praskam (angl. anti-scuff). Najbolj uporabljeni protiobrabni dodatek hidravličnemu olju je cink dialkil

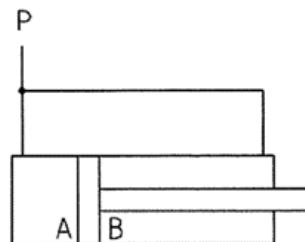
ditiofosfat (ZDDP, angl. Zinc dialkyl dithiophosphate). Pogoji za mejno mazanje so nezaželeni in se jim poskušamo izogniti, kjer je to le mogoče. To rešujemo z ustrežno kinematično viskoznostjo kapljevine, da ta lahko tvori polni mazalni film.



Slika 6 : Mejno mazanje - mazalni film prepreči kovinski kontakt drsnih površin.

Hidrostatično ravnotežje

Hidravlične komponente so edinstvene po tem, da je pri njih pogosto mogoče izravnati ali uravnotežiti hidrostatične sile za zmanjšanje obremenitev na mazanih površinah. Z zmanjšanjem površinske obremenitve v kontaktu lahko dosežemo pogoje za vzdrževanje polnega mazalnega filma. To pomeni, da se mejno mazanje pojavi z manjšo verjetnostjo. Hidrostatična sila je produkt tlaka in površine. Uravnoveženje hidrostatične sile dosežemo z enakim tlakom na nasprotni površini. Diferencialni hidravlični valj na *sliki 7* predstavlja ta koncept uravnoveženja tlakov.

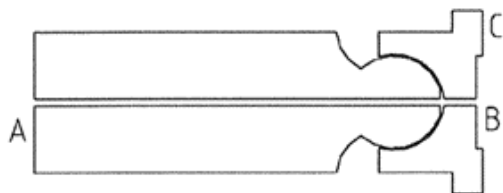


Slika 7 : Hidrostatično uravnovežen diferencialni hidravlični valj z obremenjenima mazalnima površinama.

Efektivna površina bata na strani batnice B predstavlja 75 % površine A. To pomeni, da je sila batnice hidravličnega valja (pri pomikanju ven iz cevi) 25 % sile, ki jo ustvari tlak na površini A. To je posledica uravnoveženja sile zaradi enakega tlaka na površini B. Ob predpostavki, da je viskoznost olja ustrezna, se lahko ustvari polni mazalni film.

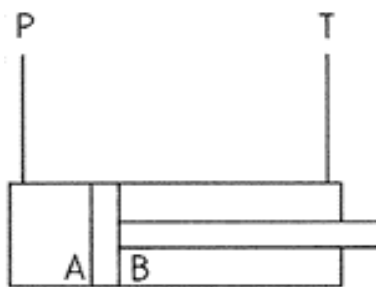
Enak princip se pojavi pri batu aksialne batne črpalke z nagibno ploščo (*slika 8*). Površina bata A je izpostavljena visokemu sistemskemu tlaku, ki prav tako deluje na površini B – na drsnem čevlju, ki drsi po nagibni plošči (ni prikazana na sliki). Površina B preko izvrtine v batu in čevlju predstavlja uravnoveženje sile. Površina C je drsno mazana površina drsnega čevlja na nagibni plošči. Razmerja

velikosti površin znotraj aksialnih batnih črpalk so različna. Predpostavimo, da je površina B 50 % od površine A in površina C 140 % površine A. To pomeni, da je sila na površini C za 50 % manjša od sile na površini A in se razdeli na 1,4-krat večji površini, tako se obremenitev drsnih površin čveljca na nagibni plošči znatno zmanjša.



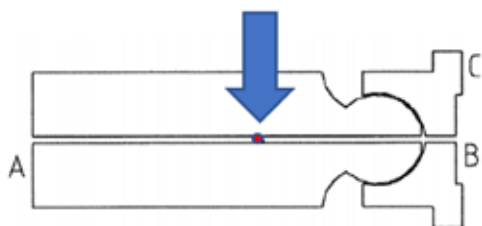
Slika 8 : Prerez bata z drsnim čveljcem aksialne batne črpalke

Če se hidrostatsko ravnotežje spremeni – pri HV npr. ni tlaka na površini B (*slika 9*) – se sila na batnici hidravličnega valja poveča na 100 % sile, kar je posledica tlaka na površino bata A (površina kroga). Če je polni mazalni film odvisen od hidrostatskega ravnotežja znotraj HV, potem je v tem neuravnoteženem primeru mejno mazanje. To pa pogosto vodi v dvotelesno abrazijo.



Slika 9 : Hidrostatsko neuravnotežen diferencialni hidravlični valj

Prav tako se hidrostatsko ravnotežje poruši pri aksialni batni črpalci, če nečistoča znotraj hidravlične kapljavine zamaši mazalni kanal v batu z drsnim čveljcem (*slika 10*). Posledica je, da se 100-odstotna sila na površini bata A prenese na površino C. Posledica zamašitve mazalnega kanala v batu je mejno mazanje in dvotelesna abrazija med drsnim čveljcem in nagibno ploščo. To povzroči intenzivno obrabo drsnih čveljcev in uničenje črpalke (*slika 11*).



Slika 10 : Prerez zamašenega mazalnega kanala v batu z drsnim čveljcem pri aksialni batni črpalci



Slika 10 : Preobremenjen drsni čveljec aksialne batne črpalke zaradi zamašenega mazalnega kanala

3 Sklepne misli

Hidrostatsko balansirani mazalni kontakti so zelo zaželeni v vseh hidravličnih komponentah. Delci znotraj hidravlične kapljavine lahko zamašijo mazalne kanale in povzročijo hidrostatsko neravnotežje ter posledično mejno mazanje, povečane obremenitve površine in povečano obrabo. V omenjenem primeru je najpogostejša adhezivna in abrazivna obraba. Poleg čistoče pa je najpomembnejši dejavnik, ki prepreči omenjeno obrabo, vzdrževanje ustrezne kinematične viskoznosti kapljavine. Ta vpliva na tvorjenje polnega mazalnega filma in prepreči mejno mazanje. Pri tem je vsekakor zelo pomembna uporaba ustrezne hidravlične kapljavine.

Viri

- [1] Casey, B.: Insider secrets to hydraulics, Brendan Casey, West Perth, 2002.
- [2] Pezdinik, J., Majdič, F.: Hidravlika in pnevmatika, skripta, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2011.
- [3] Findeisen, D.: Ölhydraulik, 5. Auflage, Berlin, 2005.

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL

