

Diagnosticiranje napak hidravličnega motorja

Franc MAJDIČ, Jakob PINTAR

Izveček: Hidravlični stroji in naprave se uporabljajo skoraj v vseh vejah tehnike. Ena od široko uporabljenih hidravličnih sestavin so hidravlični motorji, med drugimi tudi zobniški, tipa gerotor. Prispevek predstavlja odkrivanje napak na hidravličnem motorju s pomočjo precizne merilne opreme. Na del drsne površine rotorja hidravličnega motorja je bila namenoma vnesena napaka. Z natančnim inkrementalnim magnetnim kotnim dajalnikom smo to napako zaznali in dokazali, da je mogoče zgodnje odkrivanje napak s pomočjo tovrstne merilne opreme.

Gljučne besede: mobilna hidravlika, hidravlični motor, meritve, diagnostika, inkrementalni kotni dajalnik

1 Uvod

Hidravlični sistemi se uporabljajo za krmiljenje in prenos energije na različnih področjih, od raznovrstne industrije, avtomobilizma, gradbene mehanizacije, kmetijske mehanizacije, ladjedelništva do letalstva itd. V splošnem hidravlični pogonsko-krmilni sistemi izvajajo kontroliran prenos hidravlične energije v linearna in rotacijska gibanja. Linearna gibanja izvajamo s hidravličnimi valji, rotacijska pa z zasučnimi valji in s hidravličnimi motorji. Obstaja več konstrukcijskih izvedb hidravličnih motorjev, in sicer, batne, lamelne in zobniške. Med zobniške izvedbe sodi tudi izvedba gerotor [1, 2]. Prednost omenjenih hidravličnih motorjev gerotor je v veliki iztisnini glede na njihovo velikost, v visokem vrtilnem momentu, majhnem številu sestavnih delov in razmeroma nizki ceni. To so bili razlogi, ki so Laboratorij za fluidno tehniko sodelujočega industrijskega partnerja (KGL d. o. o.) vodili k odločitvi za razvoj in serijsko izdelavo [3].

Med razvojem hidravličnega motorja tipa gerotor smo se pogosto

Doc. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., Jakob Pintar, dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

srečevali z obrabo drsnih površin in z različnimi okvarami. Za določitev okvar in obrab je bilo treba hidravlični motor večkrat razstaviti in vizualno pregledati, kar pa je bilo časovno zelo potratno. Iz omenjenega razloga smo se odločili, da zgradimo preizkuševališče, ki bo merilo karakteristike hidravličnega motorja v odvisnosti od kota zasuka med delovanjem v obremenjenem stanju. Primernost novega preizkuševališča in njegove merilne verige smo preverili z namensko vneseno napako. Na vrh drsne površine enega izmed devetih zob rotorja smo zarezali kanal in z meritvami preverili vpliv te poškodbe na delovne parametre hidravličnega motorja.

2 Testirani hidravlični motor

Glavna prednost hidravličnih motorjev tipa gerotor je torej v velikih navorih pri nizkih vrtiljajih pogonske gredi. V mobilni hidravliki so take potrebe pri kolesnih pogonih, prenosnikih rotacijskega gibanja, gozdarskih dvigalih, gozdarskih kleščah, mešalnikih betona ipd.

Testirani hidravlični motor (sl. 1) ima naslednje glavne sestavne dele: gred, rotor, rotorjev obroč, ohišje, ventilsko in pritisno ploščo, krožnikasto vzmet, dva tlačno omejlina

ventila, statična in dinamična visokotlačna rotacijska tesnila ter dva aksialno radialna ležaja. Rotor se centrično vrti na dveh ležajih, medtem ko rotorjev obroč le oscilira med zobmi rotorja in ohišja.

Rotacija gredi hidravličnega motorja in navor na gredi nastaneta zaradi dveh dejavnikov. Prvi, manj vpliven, je v razliki površin, ki v prid smeri vrtenja prinese le 5 % od celotnega navora motorja. Glavni izvor rotacije in navora na gredi hidravličnega motorja pa je v odriivanju rotorja od rotorjevega obroča zaradi sočasnega delovanja tlaka v treh tlačnih komorah. Posledica odriivanja je kotaljenje rotorja po rotorjevem obroču. Navor, ki je posledica odriivanja rotorja od rotorjevega obroča, izračunamo po enačbi (1) [4].

$$M = \left(\left(\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot r_{R \max}}{z} \right) \cdot b \cdot p \right) \cdot (\cos \alpha + \cos \beta + \cos \gamma) \right) \cdot \left(\left(r_{R \max} - \frac{2h}{3} \right) \cdot 0,001 \right) \quad (1)$$

V enačbi (1) za računsko izbrani položaj rotorja proti obroču rotorja veljajo vrednosti: kot $\alpha = 48^\circ$; kot $\beta = 10^\circ$; kot $\gamma = 25^\circ$; $r_{R \max}$ je največji polmer rotorja [mm]; h je višina zoba rotorja [mm]; b je ši-

rina rotorja [mm] in p je tlak [MPa]. Opisani parametri so že bili natančneje pojasnjeni v prispevku [4].

Kot je znano, nižanje volumetričnega izkoristka ne vpliva na navor hidravličnega motorja. Upošteva se to dejstvo, smo namensko vnesli poškodbo na vrh zoba rotorja (sl. 5). To je mesto, kjer je »kovinsko tesnjenje« med rotorjem in njegovim rotorjev obročem, tu je le nekaj mikrometerska reža. Ta minimalna višina reže predstavlja tesnjenje med komorami z na eni strani visokim in na drugi strani nizkim tlakom znotraj hidravličnega motorja. Natančno smo merili parametre v odvisnosti od zasuka gredi in posledično njene kotne hitrosti. Iztisnino hidravličnega motorja izračunamo po enačbi (2) [2]. Povprečni oziroma konstantni, a dejansko pulzirajoči iztok hidravlične kapljevine iz motorja pa izračunamo po znani številski enačbi (3).

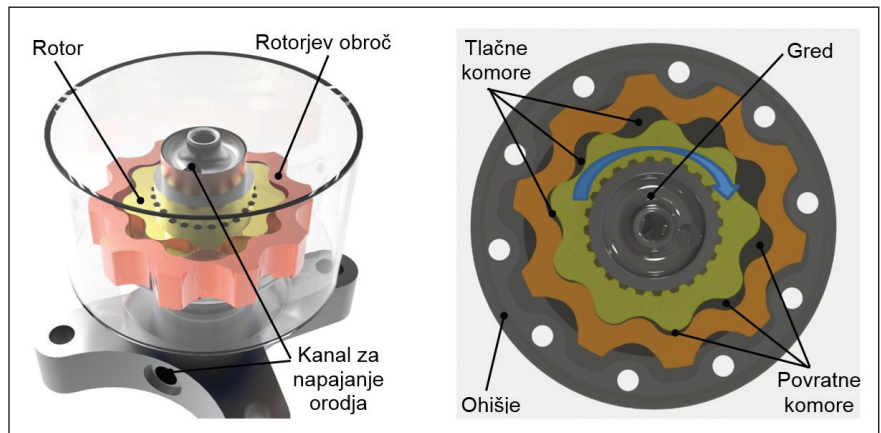
$$q_{HM} = e \cdot b \cdot d_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \frac{1}{8 \cdot z_2}\right) \cdot z_2 \quad (2)$$

V enačbi (2) je q_{HM} [m³/vrt.] iztisnina hidravličnega motorja, e [m] višina zoba rotorja (od kinematičnega radija do vrha zoba), b [m] debelina rotorja, d_2 [m] kinematični premer rotorja in z_2 [m] število zob rotorja.

$$Q_{HM} = \frac{q_{HM} \cdot n_{HM} \cdot \eta_{vol, HM}}{1000} \quad (3)$$

V enačbi (3) je Q_{HM} [l/min] iztočna količina hidravlične kapljevine iz hidravličnega motorja v povratni vod, q_{HM} [cm³/vrt.] iztisnina hidravličnega motorja, n_{HM} [vrt./min] vrtilna frekvenca pogonske gredi hidravličnega motorja in $\eta_{vol, HM}$ [/] volumetrični izkoristek.

Hidravlični motor deluje tako, da dovedemo hidravlično kapljevino sočasno v tri tlačne komore med rotor in rotorjev obroč (slika 1). Na drugi strani kotalnega stika rotorja v rotorjevem obroču pa se olje po treh povratnih komorah umika ven iz hidravličnega motorja. Omenjene komore se med rotacijo neprestano premikajo po obodu. Ko se ena tlačna komora zapre, se

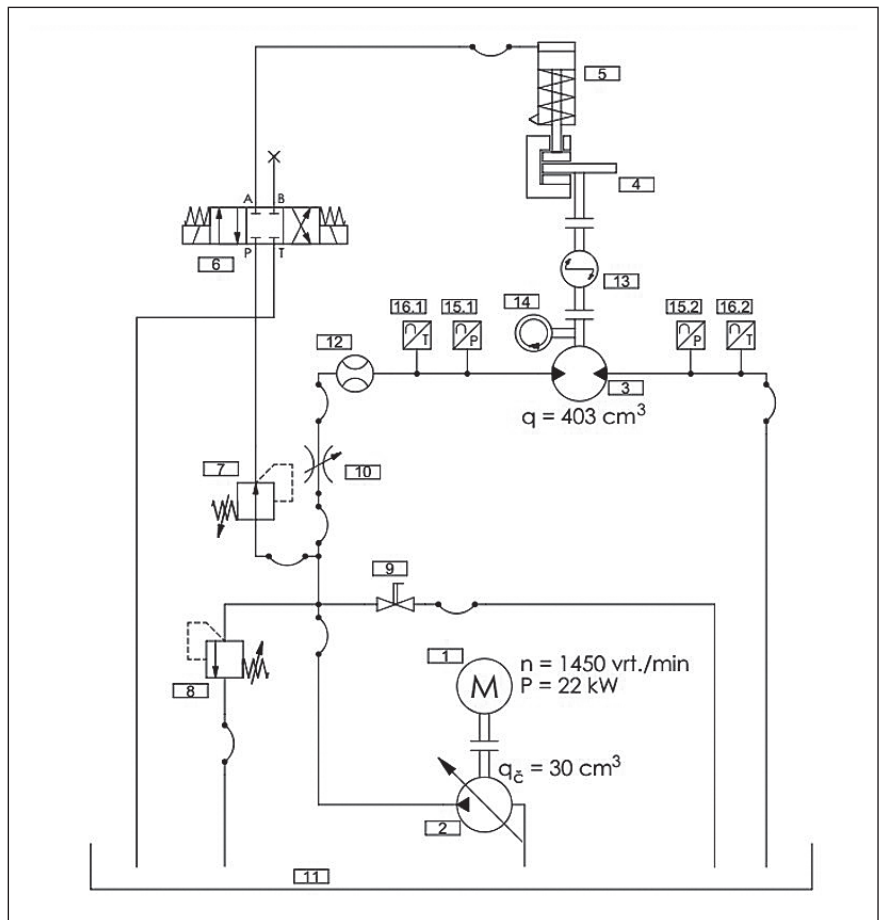


Slika 1. Glavni sestavni deli testiranega hidravličnega motorja

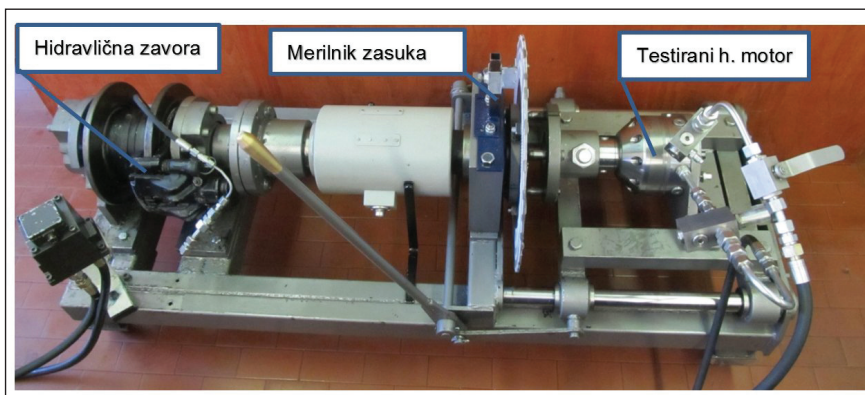
odpre nova. Prav tako je s povratnimi komorami. Za opisano premikanje tlačnih in povratnih komor po obodu pri rotirajočem rotorju skrbi ustrezno zasnovana ventilska plošča z izmeničnimi, to je tlačnimi in povratnimi izvrtinami.

Ključ do funkcionalnega delovanja hidravličnega motorja se torej skriva v pravilnem odpiranju in zapiranju rež, za kar skrbita rotor

in ventilska plošča. V enem obratu rotorja in posledično gredi hidravličnega motorja se reže tlačnih izvrtin tridesetkrat sinhrono odprejo in tridesetkrat zaprejo »po zaslugi« desetih lukenj v ventilski plošči. Enako je tudi z režami povratnih izvrtin. Zelo pomembno je, da so tlačne komore dobro tesnjene, saj to vpliva na volumetrični izkoristek motorja in posledično na vrtilno frekvenco gredi.



Slika 2. Hidravlična shema preizkuševališča za merjenje karakteristik hidravličnega motorja



Slika 3. Preizkuševališče za merjenje karakteristik hidravličnega motorja

Tehnični podatki testiranega hidravličnega motorja [3]:

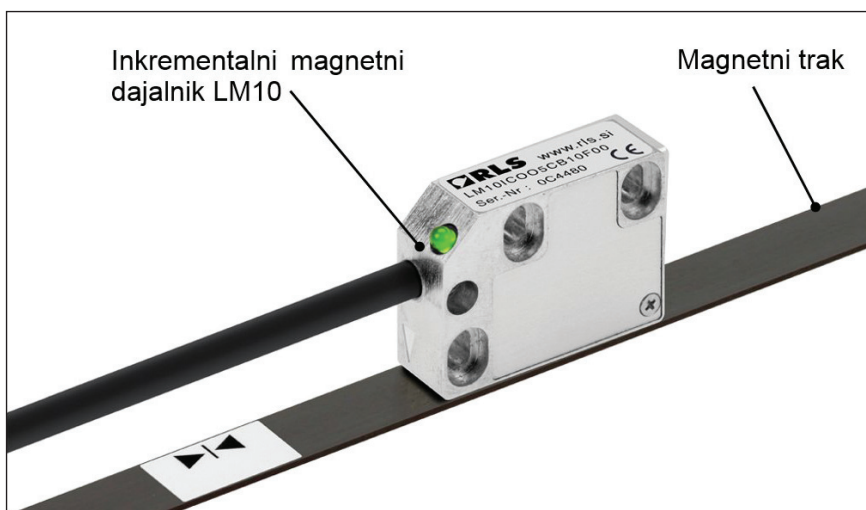
- iztislina: 403 cm³/vrt,
- najvišja dopustna tlačna razlika med vstopnim in izstopnim priključkom: 300 bar,
- dopustno število vrtljajev gredi: od 0,5 do 30 vrt./min,
- navor: do 1200 Nm pri tlačni razliki 300 bar.

■ 3 Merjenje karakteristik hidravličnega motorja

3.1 Zgradba preizkuševališča

Hidravlična shema preizkuševališča je prikazana na *sliki 2*. Za krmiljenje preizkuševališča in zajemanje izmerjenih podatkov z zaznaval (poz. 12, 13, 14, 15 in 16) smo uporabili nadzorno-merilni sistem CRIO podjetja National Instruments. Elektromotor (poz. 1) poganja črpalko s spremenljivo iztislino (poz.

2). V črpalko vteka hidravlično olje ISO VG 46 iz 200-litrskega rezervoarja (poz. 11). Črpalka olje tlačni v tlačni vod po tokovnem ventilu (poz. 10), zaznavalu pretoka (poz. 12) in temperaturnem (poz. 16.1) ter tlačnem (poz. 15.1) zaznavalu do testiranega hidravličnega motorja (poz. 3). Olje se iz testiranega hidravličnega motorja vrača mimo tlačnega (poz. 15.2) in temperaturnega (poz. 16.2) zaznavala po ceveh nazaj v rezervoar. Dopustni sistemski tlak je nastavljen s tlačnim omejiteljskim ventilom (poz. 8). Rotacijska obremenitev hidravličnega motorja je zagotovljena s hidravlično zavoro (poz. 4 in poz. 5). Tlak zaviranja in posledično zaviralni navor se nastavi s tlačnim reducirnim ventilom (poz. 7). Zavora se vklopi, izklopi in razbremeni z elektromagnetnim monostabilnim 4/3 potnim ventilom (poz. 6). Položaj gredi merimo z inkrementalnim kotnim dajalnikom (poz. 14), navor pa z zaznavalom navora (poz. 13). Tlačno raz-



Slika 4. Inkrementalno linearno magnetno zaznavalo LM10 – RLS [3]

bremenitev pri zagonu zagotovimo s krogelnim ventilom (poz. 9).

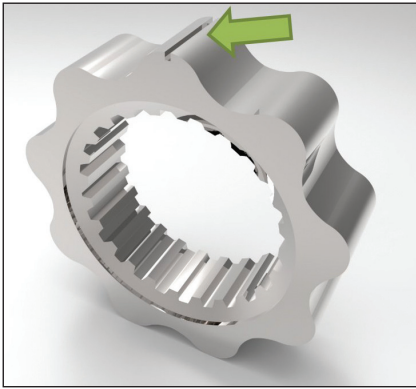
Glavni del preizkuševališča je prikazan na *sliki 3*, kjer so vidni testirani hidravlični motor (sl. 2, poz. 3), nastavljiva hidravlična zavora (sl. 2, poz. 4, 5, 6 in 7) ter zaznavala (sl. 2, poz. 12, 13, 14, 15 in 16). Hidravlični motor je povezan z zavoro, ki predstavlja rotacijsko obremenitev hidravličnega motorja. Zaznavala so vgrajena na mestih pred vstopom in po izstopu hidravlične kapljavine iz hidravličnega motorja. Tako je mogoče jasno določiti vplivne parametre hidravličnega motorja med delovanjem.

Za zajem podatkov iz zaznaval smo uporabili strojno in programsko opremo proizvajalca National Instruments. S to opremo zajemamo podatke do 20 kHz in več. Zaradi visoke frekvence zajemanja smo v glavnem izbrali zaznavala z analognim izhodnim signalom. Za razliko od zaznaval z digitalnim izhodnim signalom pa je hitrost zajemanja podatkov omejena, saj so ti podatki v diskretni obliki (0–1).

Pri merilniku kota zasuka smo imeli na voljo samo digitalna zaznavala. Zato smo izbrali merilnik, ki je primeren za takšne hitrosti zajemanja podatkov. Izbrali smo inkrementalno linearno magnetno zaznavalo LM10 proizvajalca RLS [5]. To zaznavalo kotnega zasuka je sestavljeno iz inkrementalnega magnetnega dajalnika in magnetnega traku. Dajalnik mora biti vpet na nepremično mesto, magnetni trak, sklenjen v krog, pa se namesti na mesto, kjer želimo meriti kot zasuka gredi. Dajalnik nato v neposredni bližini magnetnega traku bere njegovo pozicijo in vrtilno hitrost. V našem primeru je magnetni trak nameščen na valj premera 350 mm, trak ima resolucijo 5 µm, največja dopustna hitrost vrtenja pa je 120 vrt./min.

3.2 Postopek prepoznavanja napak

Za preizkus delovanja opisanega preizkuševališča hidravličnih motorjev smo na drsno površino ro-

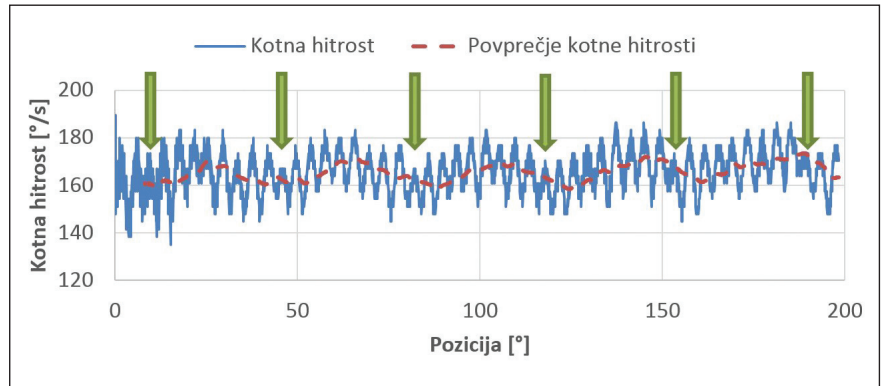


Slika 5. Namensko vnesena poškodba (zareza) rotorja

torja vnesli znano napako – vrh enega izmed zob smo zarezali po širini rotorja. Tako smo dobili hidravlični motor z napako, saj smo z zarezo umetno povečali notranje puščanje med dvema komorama in poslabšali volumetrični izkoristek. Nato smo izmerili karakteristike delovanja motorja z znano poškodbo na rotorju.

■ 4 Rezultati meritev karakteristik z napako

Povečanje notranjega puščanja zaradi namenske poškodbe rotorja se najbolj odraža na kotni hitrosti obremenjene gredi hidravličnega motorja. Tako kot pri večini hidravličnih motorjev je tudi za obravnavane motorje gerotor značilno, da kotna hitrost neprestano enakomerno niha. Iz meritev pri kotni hitrosti 28 vrt./min (sl. 6) je razvidno, da je nihanje povprečne kotne hitrosti ponovljivo. Vsak izmerjen vrh kotne hitrosti predstavlja posame-



Slika 6. Izmerjena kotna hitrost gredi hidravličnega motorja s poškodbo na enem zobu rotorja

zen rotorjev zob. Ob natančnejšem pogledu na rezultate meritev (sl. 6) pa ugotovimo, da je vsak deveti vrh pri kotni hitrosti najmanjši. Na *sliki 6* so s puščicami označeni nižji vrhovi kotnih hitrosti, ki predstavljajo namenoma poškodovano drsno površino na enem izmed devetih vrhov zob rotorja. To pomeni, da je v tistih pozicijah hidravlična kapljevina bolj puščala iz ene v drugo komoro, kar ima za posledico nižjo kotno hitrost.

■ 5 Zaključek

Zasnovali in izdelali smo kompleksno hidravlično preizkuševališče za določitev karakteristik hidravličnih motorjev. Z ustrezno merilno opremo je mogoče diagnosticirati morebitne napake in jih odkriti še v zgodnji fazi nastanka. V prispevku prikazujemo uspešno uporabo natančnega merilnika zasuka gredi. Ta nam lahko točno locira napako znotraj hidravličnega motorja. Tak pristop vodi h kvalitetnejšemu napo-

vednemu vzdrževanju, ki zmanjšuje število rezervnih delov v skladišču. Glavni namen takega vzdrževanja pa so, poleg zanesljivega delovanja, predvsem nižji stroški obratovanja.

Literatura

- [1] Pezdirnik, J., Majdič, F.: Hidravlika in pnevmatika, 2011.
- [2] Ivantysyn, J., Ivantysynova, M.: Hydrostatic pumps and motors: Principles, Design, Performance, Modelling, Analysis, Control and Testing; Akademia Books International, 2001.
- [3] KGL, Kataloški list hidravličnega rotatorja Modularis drive 5 t, Litija, 2013.
- [4] Majdič, F., Voje, R., Ljoki, A.: Nov hidravlični rotator »modularis drive« nosilnosti 5 in 10 ton, Ventil, vol. 19, 2013.
- [5] RLS, Kataloški list LM10 Linear Magnetic Encoder, dostopno na: <http://www.rls.si/lm10-linear-magnetic-encoder-system>.

Error Diagnostics of Hydraulic Motor

Abstract: Presence of hydraulic devices and machines are almost in all branches of technics. One of wide use hydraulic components are hydraulic motors, also gear type gerotor. Article presents fault diagnostics on hydraulic motor with precise measuring equipment. The one part of hydraulic motor rotor sliding surface has been intentional damaged. Error on the rotor was detected with precision incremental magnetic encoder. It has been proven that the early detection of faults on the hydraulic motor is possible with an angular encoder.

Key words: Mobile hydraulics, Hydraulic motor, Measurements, Diagnostics, Incremental angle sensor

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeva podjetju RLS Merilna tehnika, d. o. o. za donacijo inkrementalnega linearnega magnetnega zaznavala LM10.