

Naprava za merjenje karakteristike elektromagneta

Jernej BRADEŠKO, Jožef GARTNAR

Izvleček: V prispevku sta opisana razvoj in izdelava naprave za merjenje karakteristike elektromagnetov, ki se uporabljajo na hidravličnih ventilih. Karakteristika elektromagneta predstavlja velikost sile, ki jo elektromagnet proizvede v odvisnosti od giba kotve, tj. od razdalje med jedrom elektromagneta in kotvo, ob določenem napajalnem toku.

Naprava je izdelana za potrebe meritev elektromagnetov, ki se proizvajajo in vgrajujejo na hidravlične ventile v podjetju Kladivar, Poclain Hydraulics.

Ključne besede: merilna naprava, karakteristika elektromagneta, hidravlični ventili

1 Uvod

Razvoj tehničnega proizvoda predstavlja iskanje rešitev za podane zahteve, ki jim mora proizvod ustrezati. Pogoji za dobre razvojne rešitve so dobro popisane zahteve in natančni vhodni podatki. Pri razvoju elektromagnetno krmiljenih hidravličnih ventilov je eden takih podatkov karakteristika elektromagneta, ki predstavlja velikost sile v odvisnosti od giba kotve elektromagneta, tj. od razdalje med kotvo in jedrom. Gib kotve je prikazan na *sliki 1*. Za potrebe meritve karakteristike je bila v podjetju Kladivar, Poclain Hydraulics, zasnovana in izdelana namenska naprava [1].

2 Elektromagnet

Elektromagnet je vrsta magneta, ki izkorišča fizikalni pojav ustvarjanja magnetnega polja okoli vodnika, po katerem teče električni tok. Osnova je navita žica oz. navitje, ki ustvari

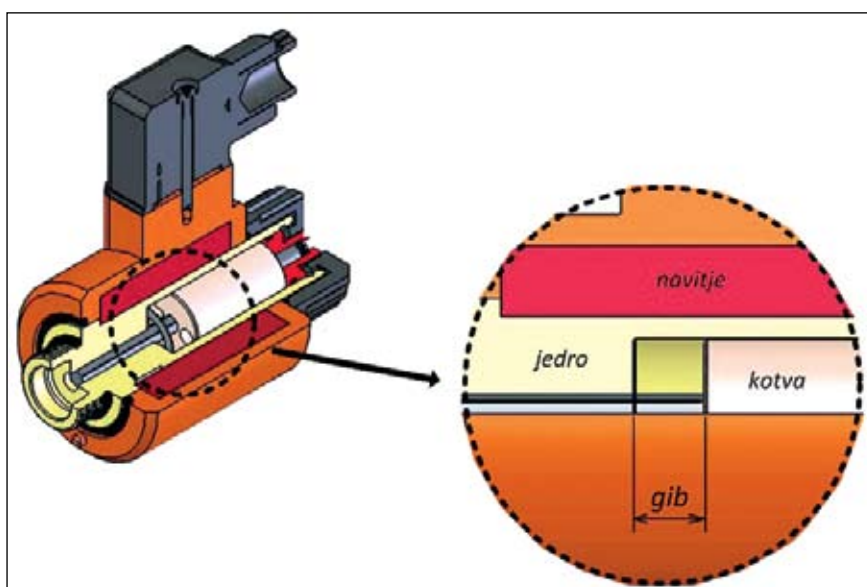
magnetno polje. Z vstavljanjem jedra iz feromagnetnega materiala v navitje lahko dosežemo veliko močnejše magnetno polje. Faktor ojačanja magnetnega polja v jedru popiše lastnost materiala, imenovano magnetna permeabilnost.

Po načinu delovanja in krmiljenja delimo elektromagnete na stikalne in proporcionalne. Naloga stikalnega tipa EM je preklon ventila iz enega v drug položaj. Pri tem mora elektromagnet zagotavljati dovolj sile. Delovanje proporcionalnih elektro-

magnetov je drugačno v tem, da se uporabljajo tudi kot regulacijski element v tem smislu, da poleg osnovnih položajev (npr. odprto-zaprto) ob primernem krmilju omogoča tudi sorazmerno (proporcionalno) odprtje ventila.

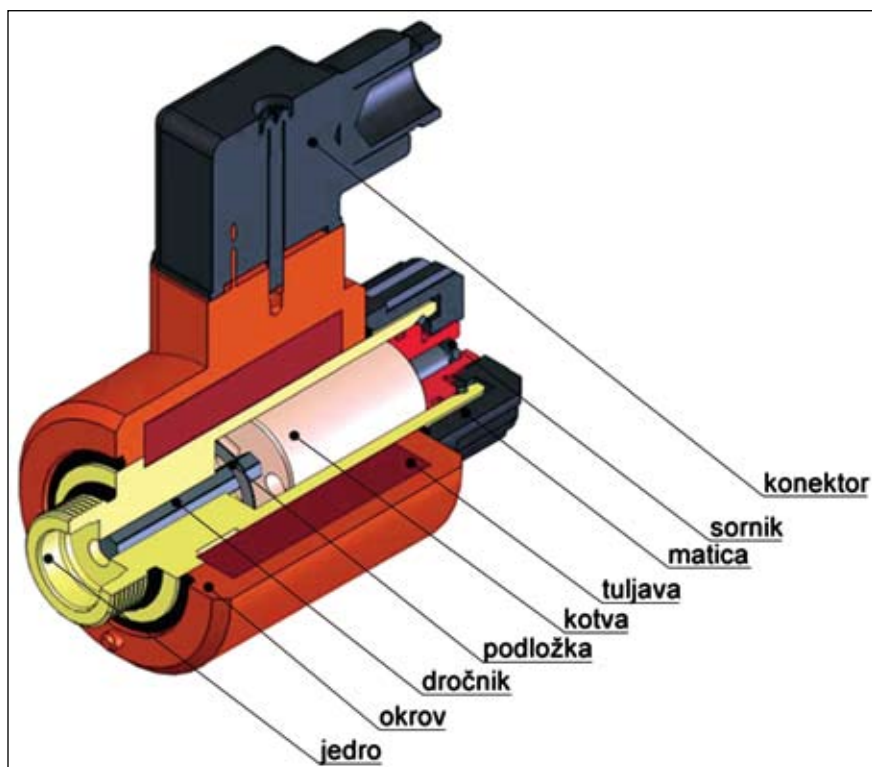
2.1 Sestava elektromagneta

Sestava elektromagneta (*slika 2*) je v nadaljevanju predstavljena na primeru Kladivarjevega elektromagneta MR 045 kot tipičnem merjencu na napravi [2, 3].



Slika1. Gib kotve elektromagneta

Jernej Bradeško, univ. dipl. inž.,
Poclain Hydraulics Group – Kladivar Žiri, Žiri
Jožef Gartnar, univ. dipl. inž.,
Poclain Hydraulics Group – Kladivar Žiri, Žiri



Slika 2. Osnovni sestavni deli elektromagneta

Konstruktivsko so elektromagneti primerni za napajanje z enosmerno napetostjo. Priklop na izmenično napetost je možen ob uporabi konektorja z vgrajenim usmerniškim mostičem. Električni tok steče po tuljavi in ustvari magnetno polje. Njegove silnice povzročijo premik kotve, ki potisne dročnik. Ta pritiska ob bat ventila. Podložka je vgrajena zato, da zmanjša pojav lepljenja kotve ob jedro ob zamenjavi smeri gibanja (izklop elektromagneta). Posebnost elektromagnetov v hidravliki je še v tem, da morajo biti na ventil vgrajeni oljetesno, zaradi česar je v konstrukciji predviden prostor za tesnila. Ker se v elektromagnetu med delovanjem lahko zadržuje tudi olje pod tlakom, je kotva po sredini prevrtana, da se tlak na obeh straneh izenači.

2.2 Karakteristika elektromagneta

Elektromagnet lahko popišemo z več različnimi karakteristikami, ki se največkrat prikažejo v obliki grafa. Pri tem je odvisna spremenljivka običajno velikost sile, ki jo proizvede aktuator. Podaja se v odvisnosti od giba, električnega toka ali temperature. Odvisnost od giba se podaja

za določeno vrednost napajalnega toka, odvisnost od el. toka pa se običajno meri na sredini delovnega giba kotve. S spremljanjem napajalnih parametrov po času lahko razberemo lastnosti, kot sta vklopni in izklopni čas aktuatorja.

Primarna naloga naprave je popis karakteristike sila-gib, kar se obravnava tudi v tem prispevku. Primer karakteristike iz kataloga proizvajalca je prikazan na *sliki 3*.

Karakteristika proporcionalnega elektromagneta se podaja za obe smeri giba kotve, s tem se prikaže tudi histereza. Običajno se na istem

diagramu pokaže večje število karakteristik, izmerjenih pri različnih vrednostih napajalnega toka. S tem dobimo t. i. polje karakteristik.

2.3 Vloga karakteristike v razvoju ventilov

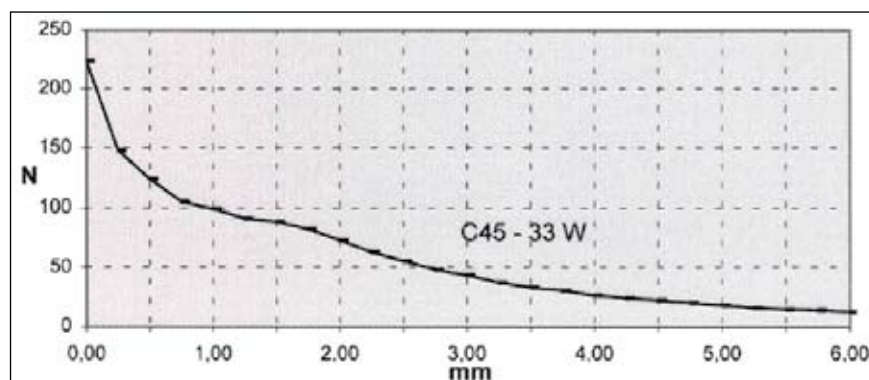
Razvoj ventila se začne z definiranjem osnovnih zahtev delovanja ventila. Ti parametri so največji tlak, največji pretok in funkcija ventila, ki se predstavi s simbolom.

Med razvojem ventila za preklopno delovanje, torej preklapljanje med položaji, moramo gledati na to, da je sila elektromagneta večja od ostalih sil, ki delujejo na krmilni bat, da bo ta lahko preklopil. Te sile so sila vzmeti, ki vrača bat v osnovni položaj, tokovne sile, sila trenja itd. Pri razvoju proporcionalnih ventilov iz polja karakteristik dobi odvisnost sile od nastavljenega toka. V tem primeru mora biti karakteristika čim bolj konstantna preko celotnega delovnega giba elektromagneta, saj kontrolirana sprememba napajalnega toka le tako lahko povzroči kontrolirano spremembo v delovanju (odprtju) ventila.

3 Zasnova naprave

Po definiciji, kot je predstavljena v prejšnjem poglavju, karakteristika elektromagneta pomeni velikost sile v odvisnosti od giba kotve elektromagneta. Na podlagi definicije lahko že določimo glavne funkcijske dele naprave, s katero bo možno karakteristiko pomeriti:

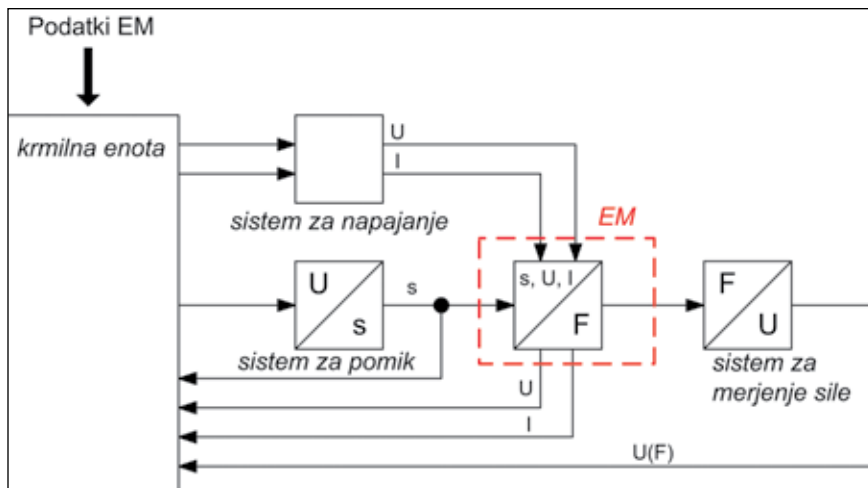
- merjenje sile,
- krmiljenje pomika,



Slika 3. Primer grafičnega prikaza karakteristike elektromagneta

- merjenje položaja,
- nastavljanje in merjenje napajalnih parametrov.

Posamezne funkcijske dele naprave med seboj poveže ustrezna krmilna enota, kot je prikazano na *sliki 4*.



Slika 4. Funkcijska shema naprave

Pred izbiro delov naprave je potrebno z več vidikov analizirati nabor elektromagnetov, ki jih moramo meriti z napravo. Preverimo, za kakšne napajalne parametre so grajeni elektromagneti, kako velike sile proizvedejo, velikost giba in gabaritne mere. Zadnji trije parametri se načeloma pojavljajo v sorazmerju, kar pomeni, da večji, kot je magnet dimenzijsko, večjo silo proizvede in ima običajno tudi večji gib.

3.1 Sistem za merjenje sile

Karakteristika elektromagneta je po svoji naravi statična, zato temu primerno zasnujemo sistem za merjenje sile. Nekateri merilniki, npr. piezoelektrični, so namenjeni izrazito dinamičnim meritvam, saj se jim s časom naboj zmanjšuje. Tak merilnik tukaj ne pride v poštev. Za namene meritve se zato odločimo za merjenje sile po principu odklonskega Wheatstonovega mostiča. Za potrebe naprave zadostuje, da z merilnikom merimo tlačno silo, saj so vsi elektromagneti iz nabora za merjenje potisne izvedbe.

3.2 Sistem za pomik

Linearni premik, potreben za meritve, naredi elektromagnet ob miru-

jočem merilniku sile. Premik mora biti relativno natančno in enostavno kontroliran. Kot široko uveljavljena rešitev za namene pozicioniranja se uporabi koračni motor. Pretvorbo iz vrtenja v premo gibanje opravi linearni modul, ki je v osnovi navojno

nost merjenja položaja na 0,01 mm, merjenje sile pa z natančnostjo 2 N na območju od 0 do 500 N.

4 Izdelava naprave

Glede na odločitve pri zasnovi smo poiskali ustrezne komponente in izdelali napravo.

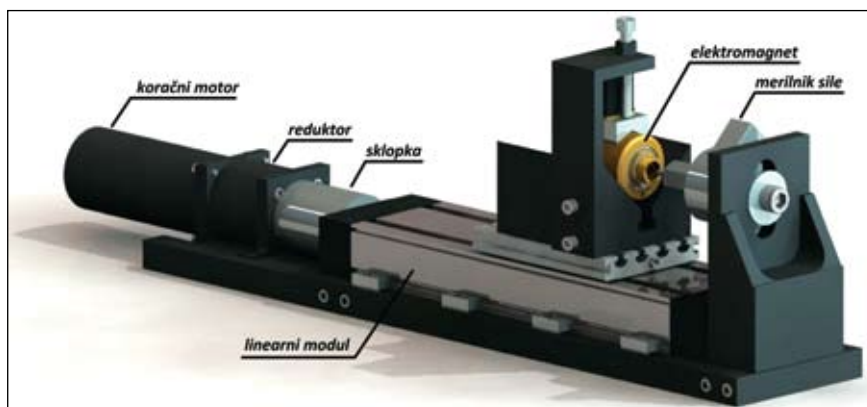
4.1 Strojna oprema

Pri gradnji strojne opreme smo upoštevali dejstvo, da bo naprava postavljena v laboratorijsko okolje, v katerem se ne pričakuje večjih temperaturnih nihanj, vibracij, prahu itd.

Ključne komponente naprave so naslednje:

- koračni motor (200 korakov na vrtljaj, držalni moment 1,25 Nm),
- reduktor (prestavno razmerje 1 : 8),
- sklopka,
- linearni modul (korak navoja 2 mm),
- napajalnik elektromagneta (nazivna napetost 32 V DC, tok 10 A),
- krmilnik koračnega motorja,
- merilnik sile z ojačevalnikom,
- stikala (referenčno in dve končni),
- računalnik s karticama za zajemanje podatkov (DAQ).

Komponente sistema smo poskušali sestaviti čim bolj kompaktno, ker je tako naprava bolj pregledna, primerna za selitev itd. Na *sliki 5* je prikazan osrednji del naprave. Zasnova je predvidela odprtozančni sistem, vseeno pa na napravi potrebujemo neke referenčne točke za položaj. V ta namen smo na linearni modul vgradili tri Hallova stikala, ki jih



Slika 5. Model zgradbe naprave

proži magnet, vgrajen v gibajoči se del modula.

Reduktor, vgrajen k motorju, poveča ločljivost pozicioniranja, hkrati pa tudi zmanjša potrebno moč motorja ter s tem njegovo velikost. Sklopka med reduktorjem in vretenom kompenzira montažne netočnosti in preprečuje morebitne sunke. Napajalnik elektromagneta ima analogno-digitalni vmesnik, preko katerega ga nastavljamo in dobivamo tudi povratno informacijo o dejanskem toku in napetosti. S tem dobimo možnost večje avtomatizacije naprave in merilnega postopka.

4.2 Programska oprema

Programska oprema naprave je izdelana v programskem okolju Lab-View.

Program je razdeljen na tri vzporedne zanke, ki se izvajajo z različno periodo. V eni od zank poteka spremljanje vhodnih signalov. Ti signali so stanje stikal, meritev sile in napajalnih parametrov ter spremljanje pozicije (štetje krmilnih pulzov). Vzporedna zanka te signale spremlja in glede na njih usmerja potek programa. Vseh signalov ni potrebno spremljati na vseh delih programa, ampak odvisno od namena le na določenih. Med iskanjem referenčne točke tako na primer meritve napajalnih parametrov nimajo vpliva na potek programa.

Tretja zanka ob programskem ukazu začne shranjevati merjene veličine v začasni pomnilnik (buffer). Shranjevanje se prekine oz zaključí, ko je sprožen ukaz za konec shranjevanja oz. ko je pomnilnik poln.

V nadaljevanju so opisani glavni sklopi programa in s tem tudi merilnega postopka.

Inicializacija

Na začetku se vrednosti spremenljivk v programu nastavijo na začetne vrednosti. Vzpostavi se uporabniški vmesnik.

Iskanje referenčne točke

Postopek iskanja teče glede na stanje stikal na linearnem modulu. Referenčnemu stikalu se nosilec linearnega modula vedno približa z iste strani, da se odstrani vpliv histereze stikala.

Vnos parametrov

V tem koraku uporabnik vpiše podatke elektromagneta in meritve v polja uporabniškega vmesnika, kot kaže *slika 6*.

Slika 6. Vnos parametrov preko uporabniškega vmesnika

Določanje začetne točke

Začetna točka oz. vrednost giba 0 mm ni fiksno določena z nekim položajem glede na stikala, temveč se poišče pri vsaki meritvi posebej. Razlog je v ne povsem ponovljivem načinu pritrditve elektromagneta na nosilec modula in adapterja na merilniku sile. Določimo jo glede na porast sile na merilniku ob počasnem približevanju vklopljenega elektromagneta.

Meritev karakteristike

Postopka meritve karakteristike se za stikalni in proporcionalni tip elektromagneta med seboj razlikujeta. Stikalnemu izmerimo karakteristiko ob približevanju kotve jedru, torej s premikom od vrednosti celotnega giba proti vrednosti giba 0 mm, kakršen je tudi premik kotve ob vklopu elektromagnetov. Sila elektromagneta proporcionalnega tipa se meri tako za gib naprej kot za gib nazaj. S tem dobimo tudi podatek o histerezi delovanja.

Obdelava podatkov

Po končani meritvi obdelamo vsebinsko začasnega pomnilnika. Niz podatkov peljemo čez nizkoprepustni filter. Niz podatkov položaja spremenimo glede na vrednost prej določene začetne točke, da dobimo niz podatkov absolutne vrednosti giba.

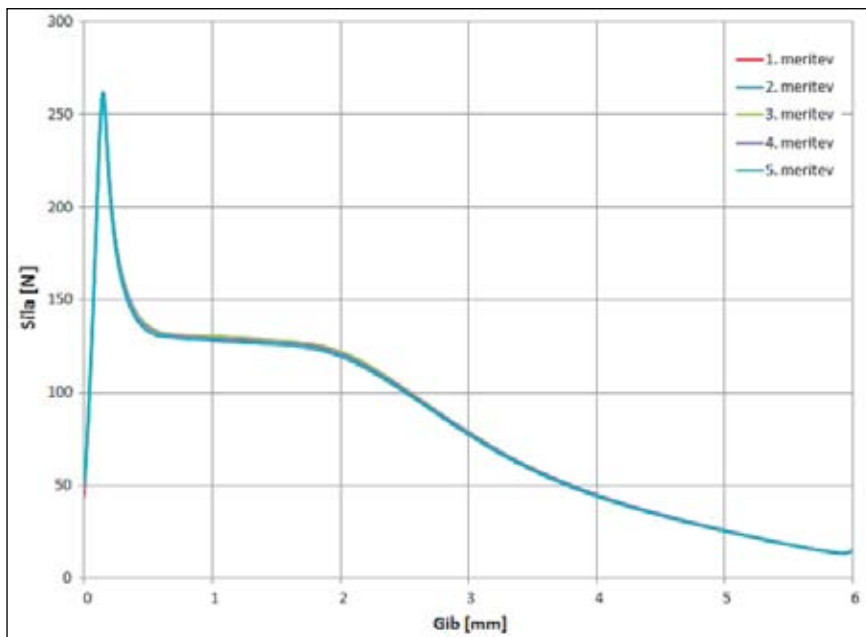
Prikaz

Po meritvi in obdelavi prikažemo karakteristiko v obliki XY-grafa na zaslonu. Pri merjenju polja karakteristik proporcionalnega elektromagneta se vsaka meritev doda prejšnjim na isti graf. Dodajanje je enostavno, ker imamo za vsako meritev polje parov vrednosti za gib in silo.

Shranjevanje

Pred shranjevanjem se iz podatkovnega tipa signal (»waveform«), v katerem so zapisane meritve, izberejo polja podatkov (izmerjenih vrednosti). Nizi podatkov se pretvorijo v znakovni niz (»string«) z določenim tabulatorjem.

Podatki se shranijo v tekstovno datoteko. Pred vsakim zapisom meritve se v datoteko zapiše tudi glava



Slika 7. Niz meritev stikalnega elektromagneta

s podatki o meritvi. Zapišejo se naziv merjenega elektromagneta, napajalni parametri in datum ter čas meritve. Ti podatki se zajamejo iz vnosa uporabnika pred meritvijo. Ko so meritve shranjene, se začasni pomnilnik lahko sprazni.

5 Testiranje

S testiranjem smo preverili delovanje naprave med meritvijo obeh tipov elektromagnetov, tako stikalnega kot proporcionalnega. Merilna postopka se med seboj namreč v določeni meri razlikujeta. Na podlagi rezultatov smo ovrednotili ponovljivost merilnega postopka.

Izvedli smo niz zaporednih meritev po enega od predstavnikov obeh vrst elektromagnetov pod vedno enakimi pogoji, tj. pri nespremenjenih napajalnih parametrih. Na sliki 7 so združene pomerjene karakteristike petih zaporednih meritev stikalnega elektromagneta MR-045 pri napajalni napetosti 24 V DC.

Iz diagrama je razvidno, da se izmerjene karakteristike skoraj popolnoma prekrivajo. Poleg oblike so skladne tudi po mestu na abscisni in ordinatni osi. Iz tega je moč sklepati, da je na napravi zadovoljiva ponovljivost nastavljanja napajalnih parametrov

(napetost ali tok), izvedbe giba v predpisani dolžini, iskanja začetne točke, merjenja sile in pozicioniranja.

Sprememba v napajalnem toku pomeni neposredno spremembo v proizvedeni sili, kar bi se v diagramu poznalo z zamikom karakteristike vzdolž ordinatne osi. Določanje začetne točke oziroma vrednosti giba 0 mm je ponovljivo, na kar kaže skladnost po abscisni osi. Vsako odstopanje bi namreč odčitek sile pripisalo napačnemu položaju (gibu) kotve in posledično zamaknilo karakteristiko na diagramu.

Z uspešnim testiranjem naprave se je kot dobra potrdila tudi odločitev za odprtozračni krmilni sistem pomika na napravi.

6 Zaključek

Naprava za merjenje karakteristike je postala uporaben pripomoček pri razvojnem delu. Ker je merilni postopek avtomatiziran, je upravljanje z njo enostavno in na voljo širšemu krogu uporabnikov. Z modifikacijo programske opreme je napravo možno tudi nadgrajevati glede na potrebe po dodatnih ali spremenjenih meritvah.

Viri

- [1] Bradeško, J.: Naprava za merjenje in analizo karakteristike elektromagneta, diplomsko delo, Ljubljana, 2012.
- [2] Katalog hidravličnih sestavin, Kladivar – Poclain Hydraulics Group, 2009.
- [3] Temelj, F.: Kladivarjev elektromagnet MR-045, Ventil 4 (vol 2), 1998.

Device for measuring the characteristics of an electromagnet

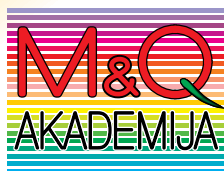
Abstract: This work presents the development and realisation of a device for measuring the characteristics of electromagnets that are used for actuating hydraulic valves. The characteristics represent a relationship between the magnitude of the force generated by the electromagnet at a certain electric current and the plunger position, i.e., the force-stroke characteristics.

The device is made for measuring electromagnets that are produced or used on hydraulic valves in Kladivar, Poclain Hydraulics.

Keywords: measuring device, characteristics of an electromagnet, hydraulic valves

VSE KAR MORATE

VEDETI O: TEMPERATURI, VLAGI - 21.9.2012
 DOLŽINI - 25.9.2012
 TEHTANJU - 27.9.2012
 PIPETIRANJU - 17.10.2012
 SISTEMI VODENJA KAKOVOSTI - 19.10.2012
 TLAKU - 23.10.2012
 ZVOKU - 25.10.2012



LOTRIČ

METROLOGY

LOTRIČ d.o.o., Selca 163, 4227 Selca
 tel: +386 4 517 07 00, fax: +386 4 517 07 07
 info@lotric.si, www.lotric.si



INTRONIKA

Mednarodni strokovni sejem
 za industrijsko in profesionalno
 elektroniko

International Trade Fair
 for industrial and professional
 electronic



30.1. - 01.02. 2013

Slovenija, www.intronika.si