

Nov hidravlični rotator »modularis drive« nosilnosti 5 in 10 ton

Franc MAJDIČ, Rafko VOJE, Alen LJOKI

Povzetek: V mobilni hidravliki se poleg hidravličnih motorjev pogosto uporabljajo tudi hidravlični rotatorji. Njihov namen je obračanje in ob tem kotno pozicioniranje bremen. Poleg osnovne funkcije je njihova naloga tudi napajanje orodja s hidravličnim oljem pod tlakom skozi rotator. Slabost rotatorjev je slabši mehansko-hidravlični izkoristek v primerjavi s hidravličnimi motorji, medtem ko je volumetrični izkoristek primerljiv z izkoristki hidravličnih motorjev, dostopnih na tržišču.

V prispevku je prikazan nov patentiran modularni koncept hidravličnega rotatorja, imenovanega »modularis drive«. Predstavljeni so: osnove delovanja rotatorja, podobnega zobniškemu motorju z notranjim ozobjem, numerični in analitični izračuni ter rezultati prvih meritev. Predstavljeni rezultati meritev našega hidravličnega rotatorja so na koncu primerjani še z rezultati meritev, izvedenih na konkurenčnih rotatorjih. Naštete so tudi prednosti in slabosti v primerjavi s konkurenčnimi rotatorji.

Ključne besede: mobilna hidravlika, hidravlični rotator, »modularis drive«©, prototip, numerični izračuni, analitični izračuni, meritve

■ 1 Uvod

Hidravlični rotatorji se uporabljajo za počasno in kontrolirano oziroma krmiljeno obračanje težjih bremen. Z njimi lahko dosežemo velike napore pri nizkih vrtilnih frekvencah. Izdelovalci rotatorjev običajno predpišejo najnižjo priporočeno vrtilno frekvenco, pri kateri se pogonska gred rotatorja še zvezno vrti [1].

Rotator deluje tako, da hidravlično kapljevino pod tlakom vedno dovajamo v 3 tlačne komore, medtem ko na nasprotni strani odvajamo kapljevino v rezervoar. V našem primeru je hidravlična kapljevina mineralno hidravlično olje ob najvišjem dopustnem tlaku 350 bar.

Oblika ozobja je takšna, da vedno tesni 3 tlačne komore in ne prepu-

Dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; Rafko Voje, dipl. inž., KGL, d. o. o., Litija; Alen Ljoki, dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

šča olja pod tlakom v preostali del rotatorja. Seveda je to le teoretično, saj v praksi vedno nastopi notranje puščanje, ki zmanjšuje volumetrični izkoristek.

Slika 1 prikazuje prototip hidravličnega rotatorja za viseča bremena do 10 ton. Na zgornji strani ima 2 čepa, ki zapirata dovodni in odvodni kanal za napajanje orodja. Ostale izvrtine po obodu so namenjene pritrditvi orodja.

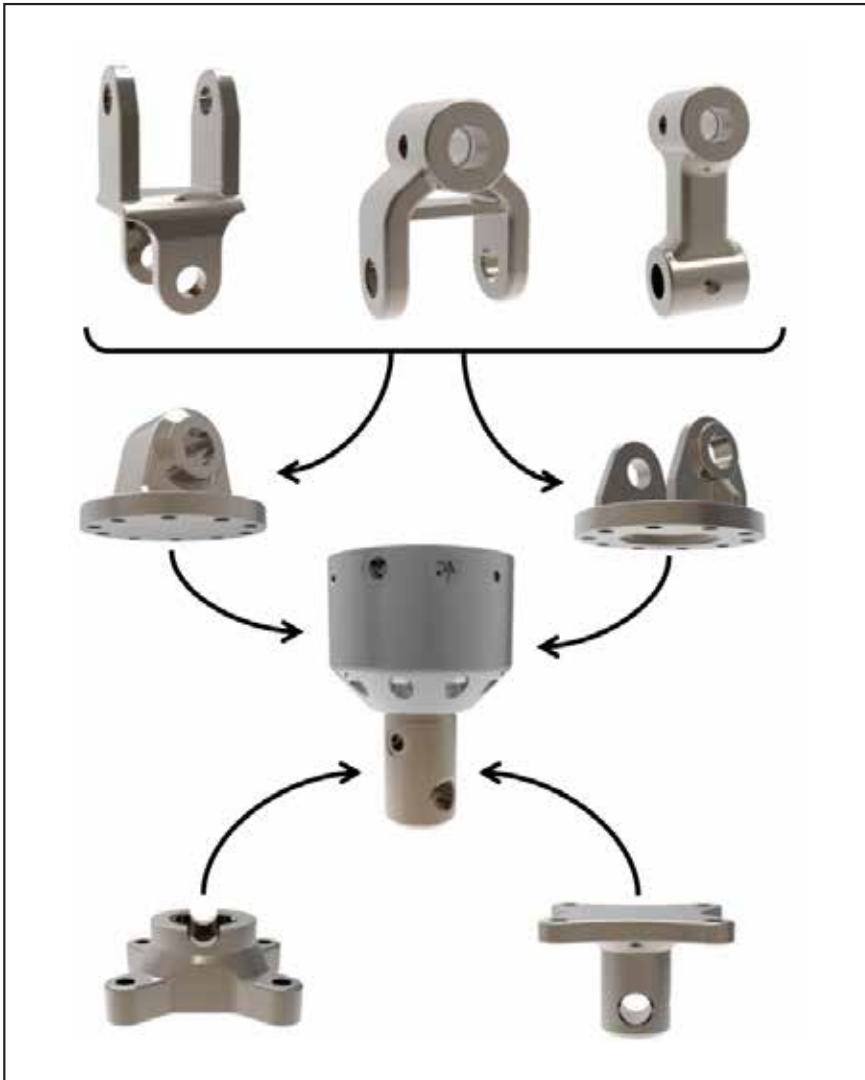
■ 2 Hidravlični rotator »modularis drive«

Hidravlični rotator »modularis drive« je tipa gerotor in spada med zobniške hidravlične motorje z notranjim ozobjem.

Navor na odgonski gredi nastane ob naslonu rotorjevega obroča na ohišje rotatorja, pri tem mu prosto gibanje omejuje rotor. Kapljevino pod tlakom dovajamo med rotor in rotorjev obroč.



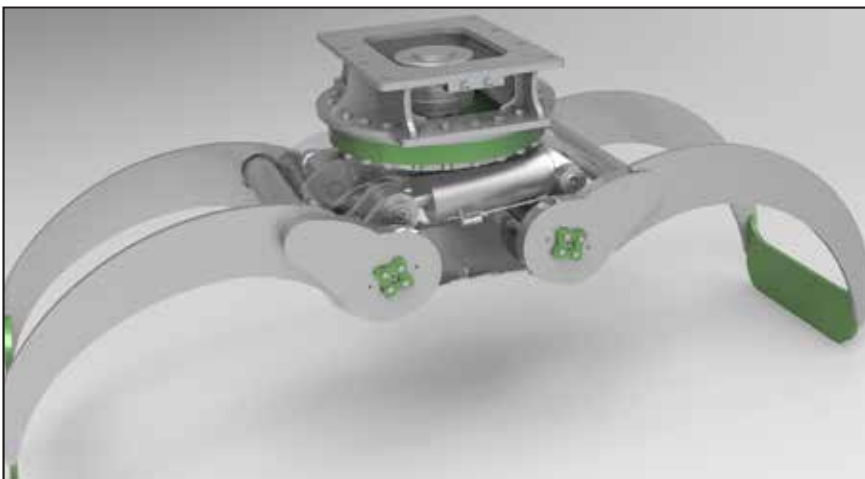
Slika 1. Prototip hidravličnega rotatorja KGL 10 t v fazi razvoja



Slika 2. Hidravlični rotator »modularis drive« z dodatki za pritrnitev različnih tipov orodij

Slika 2 prikazuje dodatke, ki bodo na voljo za različne tipe orodij, primernih za priključitev na hidravlični rotator.

Sestav na sliki 3 prikazuje hidravlični rotator aksialne nosilnosti 5 t v kompletu z orodjem in hidravličnima valjema za odpiranje in zapiranje klešč.



Slika 3. Hidravlični rotator, nameščen na klešče (zgoraj na sredini), za delo s hlodovino

■ 3 Analitično določeni in izmerjeni navor

Za primerjavo med izmerjenim in analitično določenim navorom na odgonski gredi smo izpeljali enačbo za izračun navora. Pri izpeljavi smo si pomagali s sliko 4, ki prikazuje fizikalno-geometrijske razmere rotatorja. Razvidne so tri tlačne komore, tri razbremenilne komore in vse pomembne dimenzije za izračun. Skupni navor na odgonski gredi sestavljata: navor, ki sledi iz delovanja tlaka na površino, in navor, ki je posledica odtrivanja rotorja od rotorjevega obroča [2]. Navor, ki nastane zaradi delovanja tlaka na razliko površin ploskev rotorja, znaša približno 5 % celotnega navora. Zaradi odtrivanja rotorja od rotorjevega obroča dobimo največji navor, ki znaša 95 % celotnega navora na odgonski gredi rotatorja. Predstavljena je enačba (1) za izračun navora zaradi odtrivanja rotorja od rotorjevega obroča [3].

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

Kjer za računsko izbran položaj rotorja proti obroču veljajo vrednosti: kot $\alpha = 48^\circ$
kot $\beta = 10^\circ$
kot $\gamma = 25^\circ$

$r_{R \max}$ – največji polmer rotorja [mm]

h – višina zoba rotorja [mm]

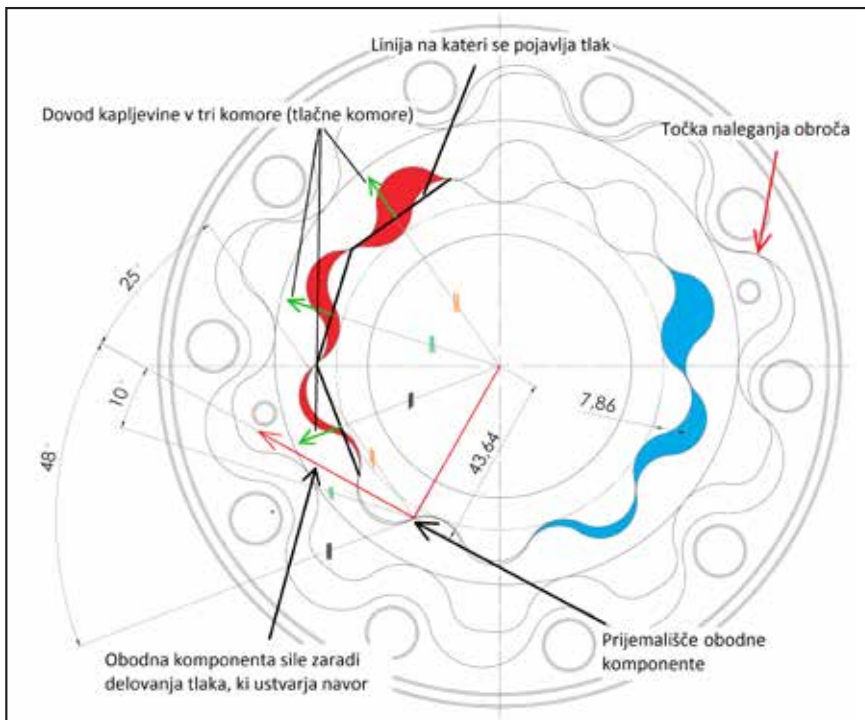
b – širina rotorja [mm]

p – tlak [N/mm²]

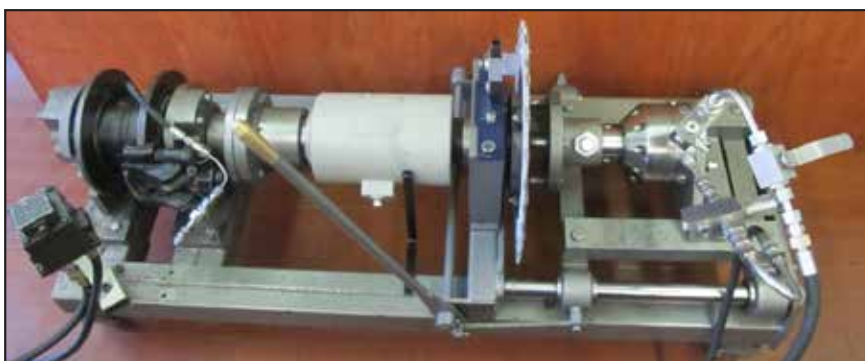
Celoten navor je vsota navora, zapisanega v enačbi 1, in navora, ki nastane zaradi delovanja tlaka na razliko površin ploskev.

Koti α , β in γ se med delovanjem hidravličnega rotatorja spreminjajo.

Merjenje navora smo izvajali v Laboratoriju za pogonsko-krmilno hidravliko (LPKH) na posebnem preizkuševališču za hidravlične motorje



Slika 4. Dimenzije, potrebne za analitični preračun navora na odgonski gredi hidravličnega rotatorja [3]



Slika 5. Preizkuševališče za testiranje hidravličnega rotatorja; sestavljajo ga: hidravlična zavora, merilnik navora, merilniki tlaka in pretoka.

in rotatorje. Slika 5 prikazuje prototip rotatorja nosilnosti 5 t, nameščena na preizkuševališču.

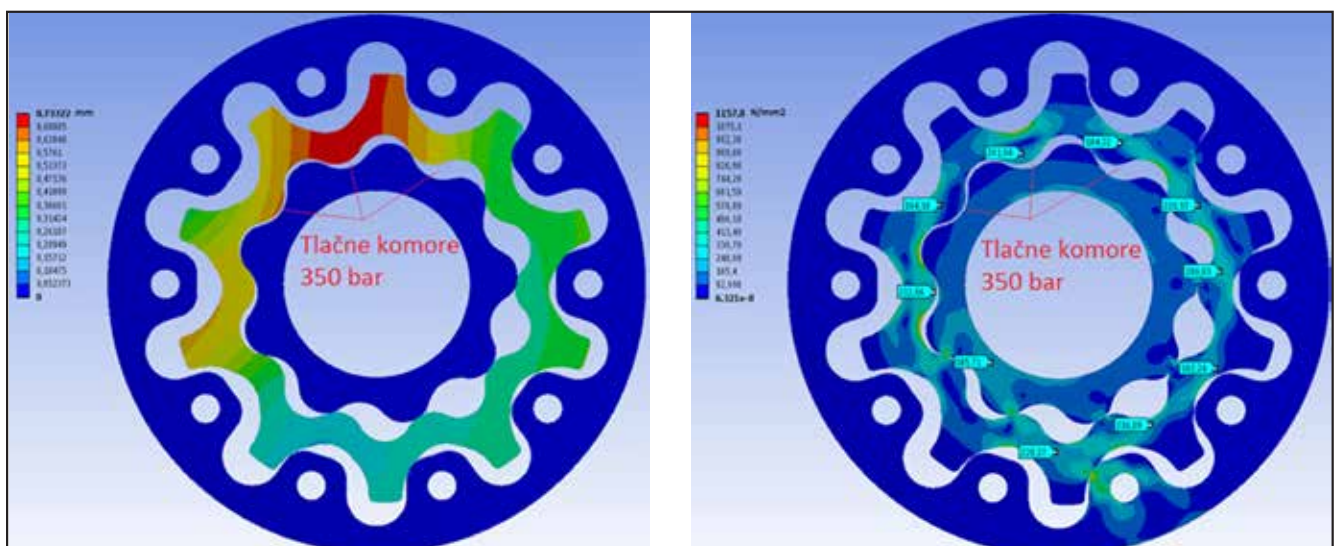
4 Numerični preračun delovanja

Pri trdnostnem preračunu rotatorja smo si pomagali s programom, namenjenem izračunu končnih elementov. Tako smo lahko ob različnih kombinacijah oblike ozobja po iterativni metodi dobili želen rezultat. Pri napetostih smo bili omejeni z mejo plastičnosti ustreznega materiala. Izvedli smo približno 60 numeričnih simulacij [4].

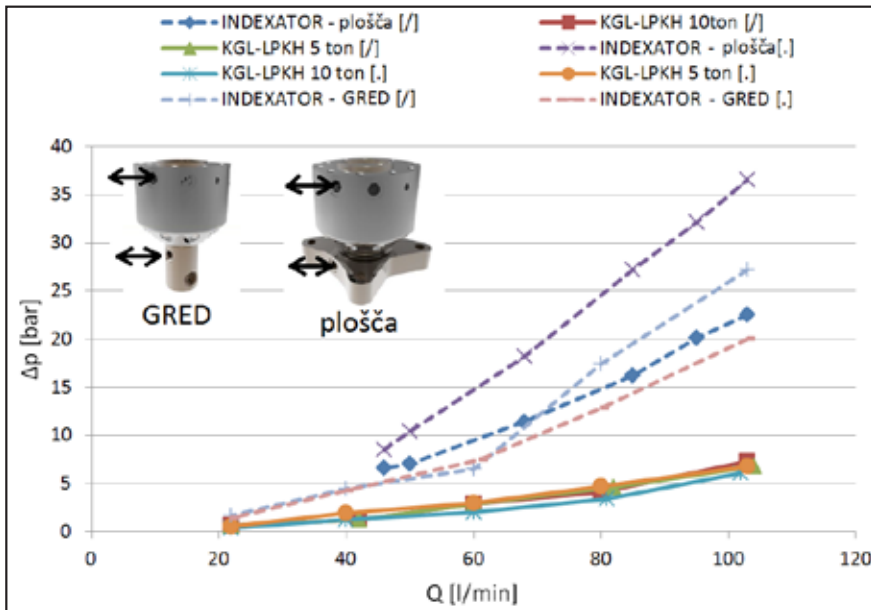
Slika 6 prikazuje obremenitvene razmere na rotatorju. Največje globalne napetosti znašajo do 230 MPa in so pod mejo plastičnosti za izbrani material.

5 Meritve prototipov nosilnosti 5 in 10 t in »primerjalne« meritve

Izvedli smo meritve treh različnih parametrov, in sicer: padeč tlaka v odvisnosti od pretoka pri napajanju orodja skozi rotator, navor na odgonski gredi v odvisnosti od vtočnega tlaka v rotator in padeč tlaka pri vrtenju gredi. Rezultate meritev prvih dveh parametrov naših in konkurenčnih rotatorjev podajamo na slikah 7 in 8.



Slika 6. Numerično izračunane napetosti pri največji obremenitvi rotatorja; globalne napetosti znašajo do 230 MPa (slika levo) [4], največje deformacije se pojavijo na rotorjevem obroču in znašajo 0,72 mm (slika desno) [4].



Slika 7. Izmerjeni padec tlaka v odvisnosti od pretoka pri napajanju orodja skozi rotator [5]

Slika 7 prikazuje rezultate meritev padca tlaka skozi rotator pri napajanju orodja za oba tipa našega rotatorja (nosilnosti 5 t in 10 t) in za primerjavo rezultate meritev, izvedenih na konkurenčnih rotatorjih [5].

Slika 8 prikazuje rezultate meritev navora dveh naših rotatorjev aksialne nosilnosti 5 t in 10 t in štirih konkurenčnih rotatorjev nosilnosti vsak po 5 t. Na teh štirih smo opravili meritve, večina konkurenčnih rotatorjev pa ni primernih za našo namensko uporabo zaradi velike razlike tlaka med vstopnim in izstopnim priključkom (padec tlaka Δp) (nekateri dosegajo do 320 bar), zato jih nismo testirali. Največji navor, ki ga je dal naš rotator (10 t), je znašal 2500 Nm.

6 Zaključek

Za razvoj novega hidravličnega rotatorja smo se odločili zaradi njegovih pričakovanih prednosti v primerjavi z ostalimi rotatorji in hidravličnimi motorji. Kljub njegovi kompleksnejši obliki, v primerjavi s kon-

kurenčnimi, je možno ob dobrem optimiranju izdelati rotator za konkurenčno ceno. Pri optimiranju rotatorja smo si pomagali z numeričnimi izračuni in meritvami; tako smo lahko občutno zmanjšali njegovo težo. Pri razvojno-raziskovalnem delu smo si pomagali tudi s CFD-analizo, na podlagi katere smo določili ustrezno obliko vseh pretočnih kanalov.

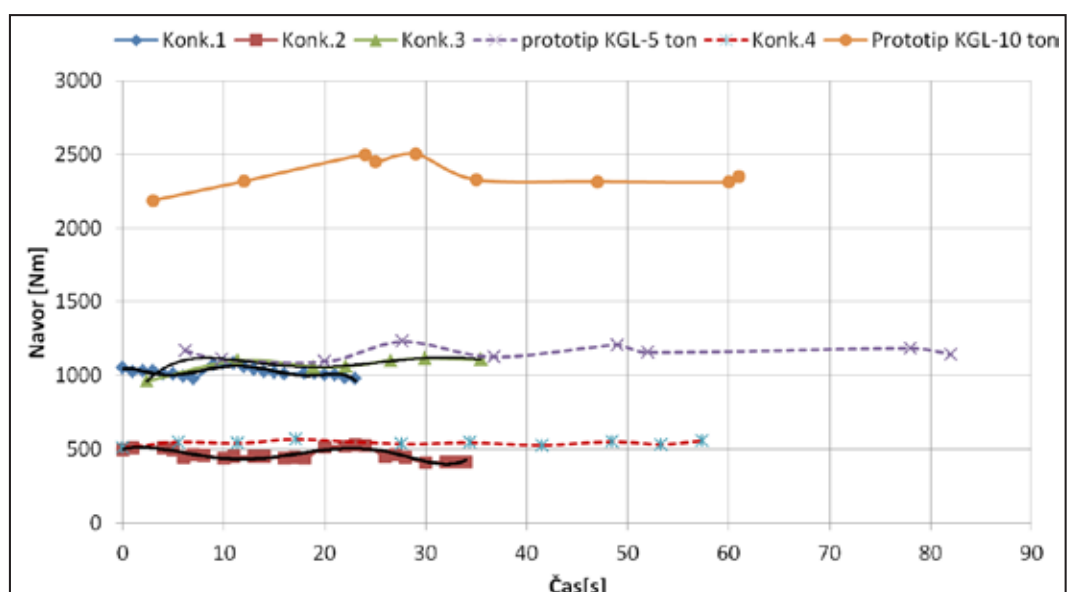
Prednosti našega rotatorja so v modularni gradnji, pri enakih ustreznih parametrih dosegajo večje navore od konkurenčnih pri sorazmerno majhni lastni teži, so kompaktni in

imajo bistveno manjše padce tlaka kot konkurenčni pri napajanju orodja skozi rotator. Ta padec tlaka znaša pri našem rotatorju (enako za izvedbi 5 in 10 ton) 6 bar, pri konkurenčnem rotatorju (enem izmed najboljših trenutno dostopnih na tržišču) pa tudi do 36 bar. S tem se pri uporabi našega rotatorja v primerjavi s konkurenčnimi privarčuje do 5 kW pogonske moči.

V nadaljevanju razvoja sledita izvedba trajnostnih testov rotatorja in izboljšava mehansko-hidravličnega izkoristka.

Literatura

- [1] Pezdarnik, J., Majdič, F.: Hidravlika in pnevmatika, Ljubljana, 2011.
- [2] Ivantysyn, J., Ivantysynova, M.: Hydrostatic pumps and motors: Principles, Design, Performance, Modelling, Analysis, Control and Testing, Akademia Books International; 2001.
- [3] Majdič, F., Meden, M., Ljoki, A.: Interni izračun iztislnine in momenta gerotor hidravličnega motorja, 2012.
- [4] Ljoki, A., Pezdarnik, J.: Interna analiza hidravličnega motorja tipa gerotor, Ljubljana, 2012.
- [5] Majdič, F., Ljoki, A.: Interno poročilo meritev oljnega hidravličnega KGL gerotorja, 2012.



Slika 8. Izmerjeni navor pri vtočnem tlaku 320 bar in 10 vrt./min [5]

The new 5- and 10-ton concept for the hydraulic rotator "modularis drive"

Abstract: In the field of mobile hydraulics, in addition to hydraulic motors there are the commonly used hydraulic rotators. Their purpose is rotating and the angular positioning of loads. As well as the rotator basic function is the supply of tools with hydraulic oil under pressure through the rotator. The biggest disadvantage of the currently available hydraulic rotators is the reduced mechanical-hydraulic efficiency, while the volumetric efficiency is comparable to the efficiency of the hydraulic motors available on the market.

The article shows a newly patented modular concept of hydraulic rotator called "modularis drive." Presented are the basic operations of the gear motor with an internal gear, numerical and analytical calculations and the results of the first measurements. Here we show the results of our measurements of the hydraulic rotator and a comparison with competing motors. At the end are listed the advantages and disadvantages of these competing rotators.

Keywords: mobile hydraulics, hydraulic rotators, "modularis drive" ©, prototypes, numerical calculations, analytical calculations, measurements



6. INDUSTRIJSKI FORUM IRT 2014

Portorož
9. - 11. junij 2014

Dodatne informacije:

Industrijski forum IRT, Motnica 7 A, 1236 Trzin
tel.: 01/5800 884 | faks: 01/5800 803
e-pošta: info@forum-irt.si | www.forum-irt.si

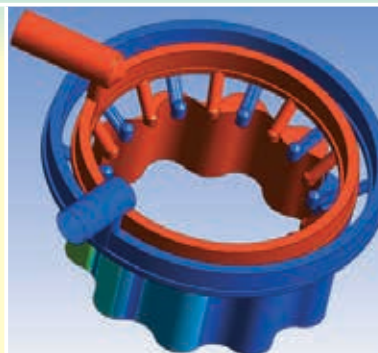
**NAJPOMEMBNEJŠI STROKOVNI
DOGODEK ZA INDUSTRIJO**

LABORATORIJ ZA POGONSKO-KRMILNO HIDRAVLIKO

Smo laboratorij z dolgoletno tradicijo na področju pogonsko-krmilne hidravlike. Ukvarjamo se z oljno in tudi ekološko prijazno vodno PK hidravliko, pri tem pa uporabljamo sofisticirano in sodobno merilno in programsko opremo. To se odraža v večjem številu uspešno zaključenih projektov in sodelovanju z uspešnimi slovenskimi podjetji.

Obrnite se na nas, če potrebujete:

- razvoj in optimiranje hidravličnih sestavin in naprav
- izdelavo hidravličnih naprav
- izboljšave in popravilo hidravličnih naprav in strojev
- izdelavo sodobnega krmilja za hidravlične stroje
- izobraževanje na področju hidravlike
- ekološke hidravlične naprave za pitno vodo
- izdelavo ali izris hidravličnih shem
- itd.



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

