

DSHplus simulacija hidravličnih in pnevmatičnih ventilov na fleksibilen način

Marko ŠIMIC, Niko HERAKOVIČ

Izvleček: V prispevku je predstavljen nov pristop simulacije hidravličnih in pnevmatičnih potnih ventilov, sestavljenih s pomočjo funkcionalnih elementov nove knjižnice »mikro« komponent simulacijskega orodja DSHplus. Prav modularna gradnja krmilnega bata ventila daje novi metodi izredno fleksibilnost in možnost kreativnosti raziskovalnega dela.

Predstavljeni model karakteristike volumnskega toka krmilnega roba potnega ventila, ki omogoča obravnavo različnih oblik zarez, je eden od pomembnejših funkcijskih elementov knjižnice. Na podlagi razvitega modela je omogočeno analiziranje in optimiranje predvsem dinamičnih tokovnih sil v ventilu, ki sta se do sedaj izvajalci z namenskimi orodji ali pa z eksperimentalnimi preizkusi.

Ključne besede: Hidravlični ventili, karakteristika volumnskega toka, analitični pristop, DSHplus knjižnica mikro komponent

■ 1 Uvod

Zahteve po povečanju dinamike hidravličnih in pnevmatičnih sistemov ob hkratnem zmanjšanju porabe energije narekujejo nenehen razvoj hidravličnih in pnevmatičnih komponent, še posebej glavnih krmilnih elementov ventilov [1]. Za doseganje zgoraj omenjenih lastnosti se zato razvijajo nove tehnologije naprednih materialov po eni strani ter nove oblikovne zahteve krmilnih batov ventilov za doseganje kompenzacije tlačnih in dinamičnih tokovnih sil [2]. Ravno kompenzacijske metode danes slonijo na uporabi namenskih računalniških simulacijskih orodij, kot je to Ansys CFD, ki jih uporabljajo razvojni oddelki z ekspertnim znanjem. Le-ti omogočajo analizo posameznih parametrov, rezultate

analiz pa je moč uporabiti v nadaljnjih simulacijskih metodah.

Da bi bilo mogoče kompenzacijske metode približati širši množici brez posebnega ekspertnega znanja na področju programske opreme, se odpirajo nove ideje in možnosti simulacijskih orodij, kot je to predstavljeno z novo knjižnico »mikro« komponent (v nadaljevanju MCL – Micro Component Library) programskega orodja DSHplus.

■ 2 Knjižnice programskega orodja

Programski paket DSHplus je simulacijsko orodje za analizo statičnih in dinamičnih lastnosti hidravličnih in pnevmatičnih sistemov ter komponent [3]. Predhodne verzije programa, ki so do sedaj zadoščale simulaciji večine industrijskih primerov, predvsem razvoj in optimizacijo sistemov, so vsebovale štiri glavne sklope, ki jih lahko najdemo na *sliki 1* [4]: hidravlika, pnev-

matika, mehanika in krmiljenje. Za specifične potrebe so se nadalje razvijale nove knjižnice, kot so: termo-hidravlika, knjižnica komponent za avtomobilsko industrijo, knjižnica delcev snovi in knjižnice specifičnih namenskih komponent. Nenazadnje je potreba po razvoju in analizi hidravličnih in pnevmatičnih ventilov ter valjev obudila nove zahteve za razvoj tako imenovane knjižnice MCL, ki pa bo podrobneje predstavljena v naslednjih poglavjih prispevka.

■ 3 Modeliranje hidravličnih in pnevmatičnih ventilov

Hidravlični ali pnevmatični bat potnega ventila ima običajno štiri krmilne robove, za katere pa ni nujno, da so geometrijsko enaki. Programski paket DSHplus do sedaj ni omogočal analize realnih hidravličnih in pnevmatičnih komponent (ventilov), ki bi popisovale časovno in položajno odvisno spreminjanje volumnskega toka za posamezen krmilni rob

Marko Šimic, univ. dipl. inž.,
izr. prof. dr. Niko Herakovič,
univ. dipl. inž., oba Univerza
v Ljubljani, Fakulteta za
strojništvo



Slika 1. Knjižnice programskega orodja DSHplus

[4]. Matematični model volumskega toka je temeljil na osnovni enačbi 1 [5], kjer je eden od glavnih parametrov za določanje oblike krmilnega roba presečna površina A [mm²]:

$$Q = \alpha_D \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

Ostali vplivni parametri enačbe (1) so: α_D -pretočni koeficient [/], ρ -gostota fluida [kg/m³] in Δp -tlačna diferenca krmilnega roba [bar].

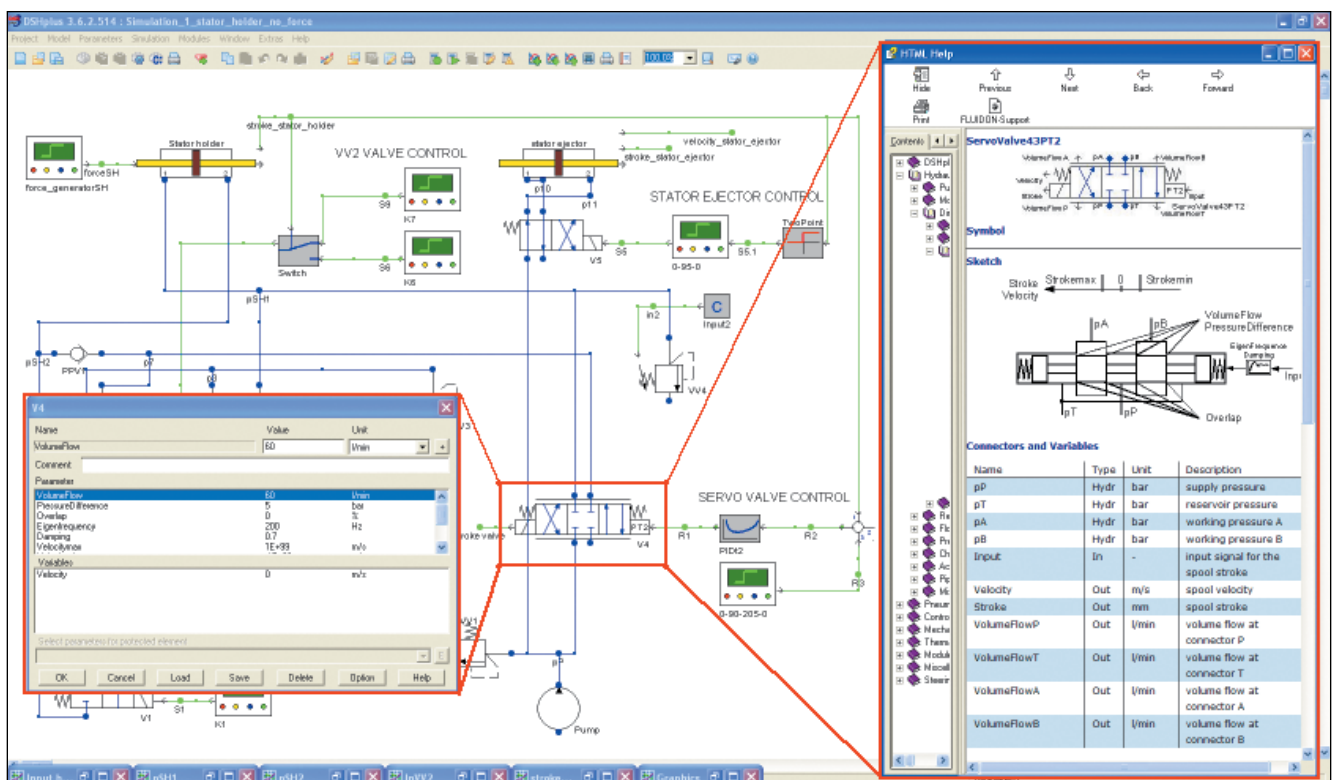
Parametre, ki jih je moč nastaviti simulacijskemu modelu ventila obstoječega simulacijskega programa DSHplus, prikazanega na *sliki 2*, so:

- volumski tok ventila [l/min],
- tlačna razlika za določen volumski tok [bar],
- stopnja prekritja krmilnega roba bata [%],
- resonančna frekvenca krmiljenja ventila [Hz],
- maksimalna hitrost [m/s] in pospešek [m/s²] krmilnega bata,
- krmilna napetost [V] in
- minimalni in maksimalni pomik krmilnega bata [mm].

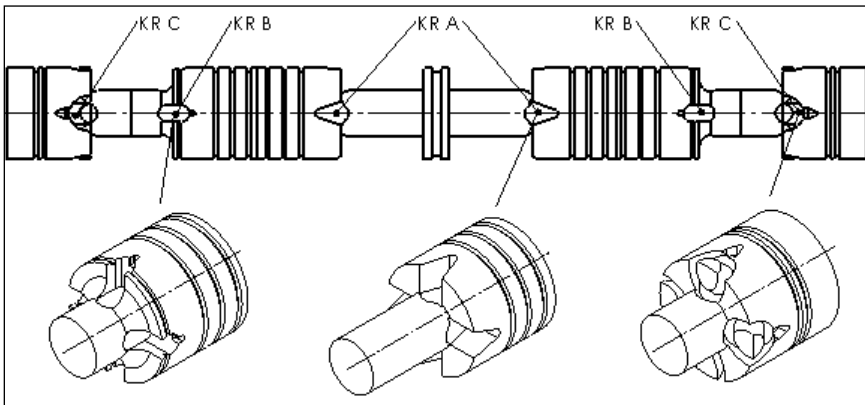
Za analizo tlačnih in tokovnih sil v ventilu omenjeni parametri ne zadostujejo. Poleg vrste in smeri toka je pomemben parameter tudi geometrija roba oz. geometrija presečne površine, kjer prehaja fluid [2]. Primer krmilnega bata z različnimi oblikami krmilnih robov za tlačno in tokovno kompenzacijo je prikazan na *sliki 3* [6].

4 Modeliranje ventilov s knjižnico mikro komponent

Zadnja leta se odpirajo nove smernice razvoja simulacijskih programov, ki združujejo analitične pristope posameznih komponent z namenom boljše in realne simulacije celostnih sistemov. Glavna ideja se kaže v nadgradnji obstoječih ali pa kar razvoj



Slika 2. Nastavitev parametrov hidravličnega servoventila



Slika 3. Oblike krmilnih robov batov za različne funkcionalne namene

novih knjižnic z novimi komponentami, ki bi simulacijske pristope združevale z analitičnimi metodami v obliki kodnega zapisa matematičnih modelov znotraj simulacijskih modelov komponent.

4.1 Modularna gradnja

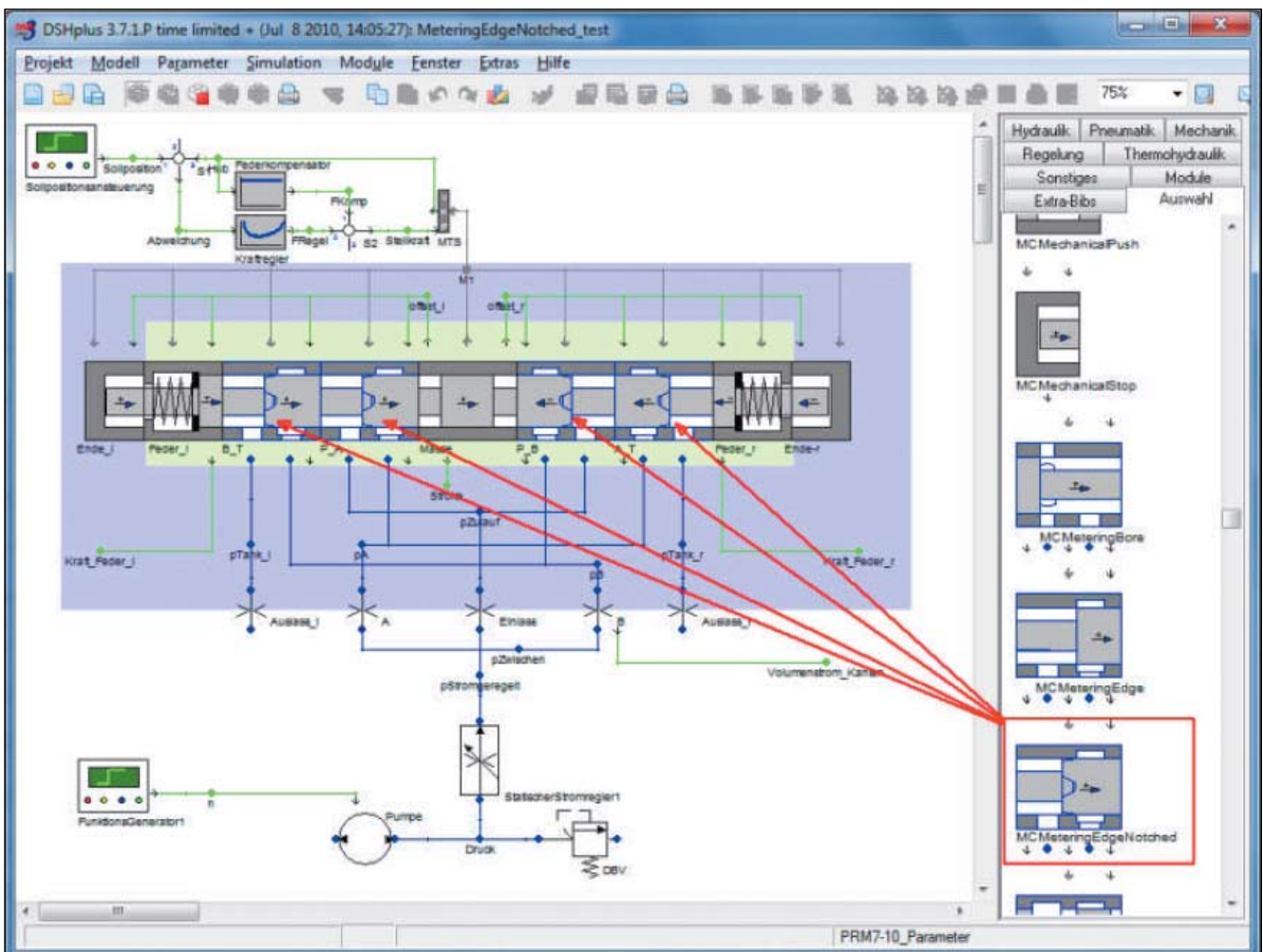
Z razdelitvijo hidravličnega bata na različne funkcionalne elemen-

te MCL, ki jim je možno analitično popisati geometrijo in s tem karakteristiko volumnskega toka v odvisnosti od premika krmilnega bata, postanejo simulacije hidravličnih in pnevmatičnih ventilov realne. Na ta način bi bilo mogoče popisati tudi tlačne in tokovne razmere hidravličnih in pnevmatičnih ventilov z namenom analize in kompenzacije dinamičnih tokovnih sil znotraj

ventila. Uporabo merjenih rezultatov parametrov eksperimentalnih preizkusov je na ta način možno eliminirati.

Slika 4 prikazuje simulacijski model, modularno sestavljen s pomočjo desetih funkcijskih elementov knjižnice MCL programskega okolja DSHplus. Elementi predstavljajo specifične mehanske podkomponente, kot so [4]:

- masni elementi, za katere je možno parametrirati pomik, način mehanske povezave, hitrost in trenje,
- mehanski omejevalci pomika,
- karakterizacija tlačnih in tokovnih sil je izvedena s pomočjo geometrije masnih elementov,
- vzmetni in dušilni elementi za karakterizacijo pospeševanja in dušenja in
- elementi z zareznim krmilnim robom za natančen popis volumnskega toka.



Slika 4. Krmilni bat ventila, sestavljen iz funkcijskih elementov MCL

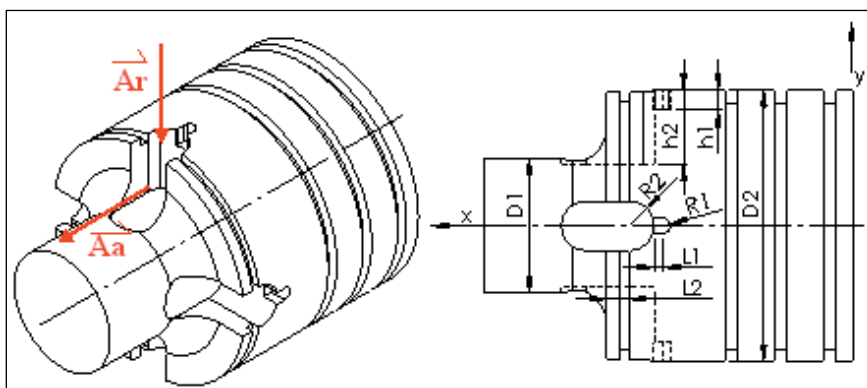
Hidravlična povezava je izvršena s pomočjo različnih priključnih elementov (dovodni vod, rezervoar, izhodna delovna priključka A in B). Upoštevan je model trenja za vsak posamezen funkcijski element hidravličnega bata, ki je opisan s Stribeckovo krivuljo.

4.2 Analitični pristop pri razvoju funkcijskih elementov

Matematični model karakteristike volumskega toka temelji na analitičnem preračunu presečne površine A , skozi katero prehaja volumski tok fluida in je odvisna od geometrije krmilnega roba in od velikosti odprtja ventila x . Rezultat predstavlja odvisnost volumskega toka od stopnje premika krmilnega bata in je za vnos v novi funkcijski element knjižnice MCL pripravljen tabelarično in grafično.

Na primeru krmilnega roba s slike si pogledjmo metodologijo analitičnega določanja minimalne presečne površine volumskega toka fluida.

Ob podrobnejši analizi funkcijskega elementa krmilnega roba (slika 5) opazimo, da se soočamo z dvema presečnima površinama: aksialno A_a in radialno A_r . Smer toka je prikazana z vektorjema $\vec{A_r}$ in $\vec{A_a}$. Fluid teče običajno najprej skozi radialni presek in nato skozi aksialni presek v komoro hidravličnega ventila. Realna karakteristika volumskega toka je odvisna od minimalne presečne površine A_{min} , zato je treba upoštevati minimalno velikost obeh površin pri danem pomiku krmilnega bata x .



Slika 5. Smer toka fluida, parametri za izračun presečne površine

Posamezna zarez krmilnega roba modela je sestavljena iz dveh krožnih (R_1 in R_2) in dveh pravokotnih (L_1 in L_2) predelov. Analitični popis krožnega predela zareze (slika 6a) je predstavljen z rešitvijo trigonometričnih enačb za računanje krožnega odseka (enačbi 2 in 3) [7]. Model pravokotnega predela (slika 6b) zareze zaradi enostavnosti ni podrobneje predstavljen v prispisku.

Matematični model ploščine radialnega krožnega dela zareze (slika 6a):

$$A_{ir} = Ri^2 \cdot \arccos\left(\frac{Ri - x}{Ri}\right) - (Ri - x) \cdot \sqrt{2 \cdot Ri \cdot x - x^2} \quad (2)$$

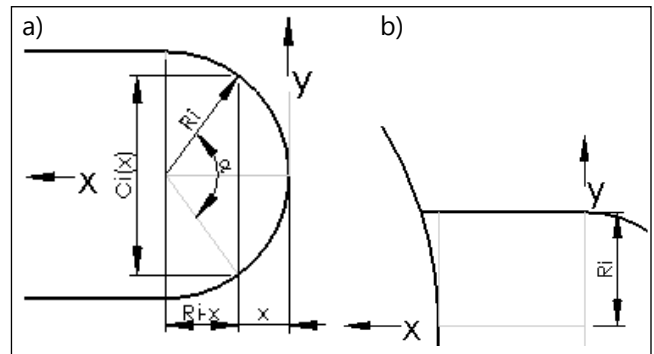
Matematični model površine aksialnega krožnega dela zareze (slika 6b):

$$A_{ia} = Ci(x) \cdot hi$$

$$Ci(x) = \frac{2 \cdot Ri \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{Ri \cdot \sqrt{2 - 2 \cdot \cos \alpha}} \quad (3)$$

kjer hi predstavlja globino zareze.

Radialna površina A_{ir} je odvisna le od radija Ri ter pomika bata x in se z večanjem pomika seštevata, medtem ko je aksialna površina A_{ia} odvisna od



Slika 6. a) parametri krožnega in b) pravokotnega dela zareze

spremembe parametra $Ci(x)$ in globine zareze hi pri danem premiku bata x in se ne seštevata. Končna modela A_r in A_a (enačbi 4 in 5) upoštevata še število zarez n , razporejenih po krmilnem robu hidravličnega bata.

Matematični model celotne radialne površine zarez:

$$A_r = n \cdot \sum_{i=1}^4 A_{ir} \quad (4)$$

Matematični model celotne aksialne površine zarez:

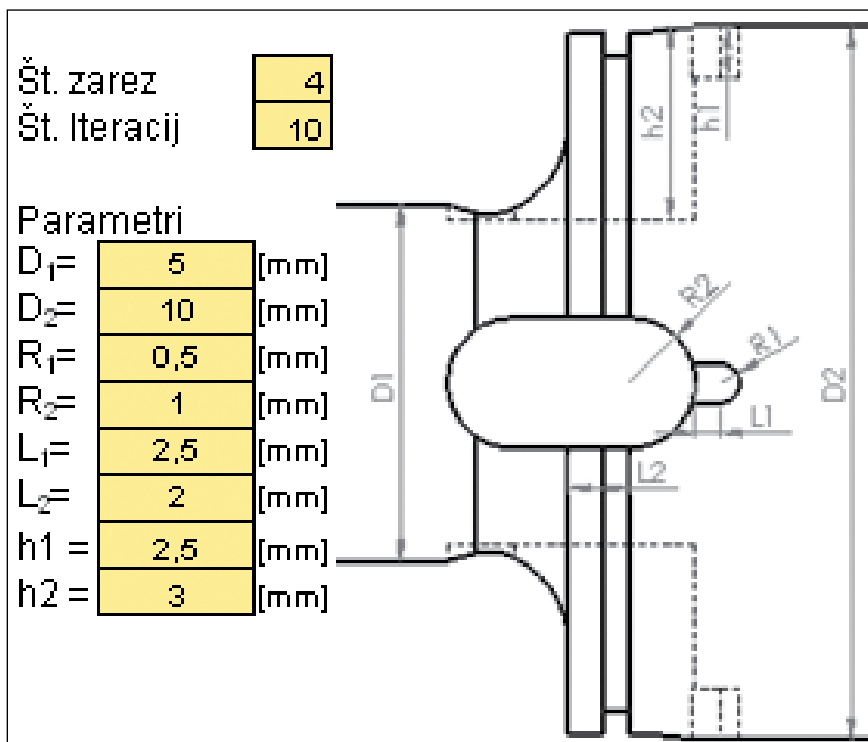
$$A_a = n \cdot \min(A_{ia}) \quad (5)$$

4.3 Testiranje matematičnega modela in prikaz rezultatov

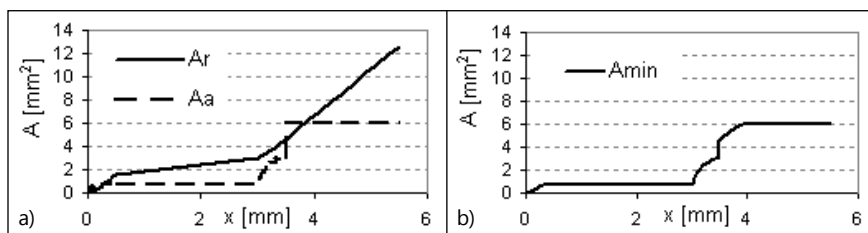
Matematični model je preverjen na podlagi analize rezultatov vnosa različnih variant parametrov v polja programskega okna, prikazanega na sliki 7.

Na podlagi vnesenih parametrov s pomočjo matematičnih modelov izračunamo karakteristiko radialne A_r in aksialne A_a površine preseka zareze za celotno območje pomika hidravličnega bata. Grafični prikaz izračunane vrednosti spreminjanja presečne površine prikazuje slika 8. Potek minimalne presečne površine v odvisnosti od pomika krmilnega bata x pa slika 9.

Na podlagi ustrezne karakteristike presečne površine se karakteristika volumskega toka izračuna po enačbi 1, predstavljeni v tretjem poglavju.



Slika 7. Programsko okno za vpis geometrijskih parametrov zareze hidravličnega bata



Slika 8. a) radialna in aksialna presečna površina, b) minimalna površina v odvisnosti od pomika krmilnega bata

5 Sklep

Analitični popis zapletene geometrije zareza krmilnega roba hidravličnega krmilnega bata odpira nove možnosti in nove pristope simulacijskih metod. Prispevek prikazuje uspešnost povezovanja analitičnih pristopov (matematičnega modeliranja geometrije) s simulacijskimi modeli z namenom izboljšanja popisa, analize in optimizacije dinamičnih lastnosti ventila. Razviti matematični model karakteristike volumnskega toka fluida za značilno obliko zareze je uspešno implementiran kot karakteristika volumnskega toka funkcijskega elementa mikro knjižnice programskega simulacijskega orodja DSHplus z namenom simulacije dinamičnih karakteristik hidravličnih in pnevmatičnih komponent. Na ta način

je možno vnaprej tlačno, tokovno in dinamično optimirati hidravlične in pnevmatične ventile.

Literatura

- [1] Herakovič, N., *Analiza vpliva materiala in aktuatorjev na lastnosti pnevmatičnega ventila*, Materiali in tehnologije / Materials and technology, 44 (2010) 1, 37–40.
- [2] Herakovič, N., *Flow-force analysis in a hydraulic sliding-spool valve*. Strojarstvo, 2009, letn. 51, št. 6, str. 555–564.
- [3] Herakovič, N., *DSHplus – programski paket za simulacijo hidravličnih sistemov*. Ventil (Ljublj.), 1996, let. 2, št. 3, str. 122–129.
- [4] FUIDON GmbH, DSHplus, Micro Component Library, 2010, <http://www.fluidon.com/>.

- [5] Murrenhoff, H.: *Grundlagen der Fluidtechnik*, Teil 1: Hydraulik, Shaker Verlag, Aachen, 2001, ISBN 3-8265-9446-0.
- [6] Spool Notch Geometry for Hydraulic Spool Valve, Wasson et al., US-Patent 6,450,194 B1, Sept. 17, 2002.
- [7] Bronštejn, I. N., *Matematični priročnik*, Tehniška založba Slovenije, 2009.

DSHplus simulation method of the hydraulic and pneumatic valves used in a very flexible way

Abstract: The paper presents a very new approach to the simulation of hydraulic and pneumatic valves. The valves consist of the new functional elements which are part of the new "micro" components library of the DSHplus simulation tool. Flexibility of the new method is achieved by using the modular construction of the valve piston which also provides creativity and flexibility of the research work.

The presented mathematical and simulation model of the volume flow characteristic of the different metering edges is one of the major functional elements of the new developed DSHplus library. Analyses and optimization methods of the dynamic flow forces can be done by using the new analytically determined functional elements. Defining the influence parameters of the volume flow characteristic by using the advanced simulation tools or experimental testing is therefore eliminated.

Key words: DSHplus simulation method of the hydraulic and pneumatic valves used in a very flexible way