

Modeliranje in simulacije tokovnih karakteristik hidravličnih batnih ventilov

Alen LJOKI, Jakob PINTAR, Jan RAK, Franc MAJDIČ, Anže ČELIK

Izvleček: V odprtih in zaprtih hidravličnih tokokrogih so batni ventili skorajda nepogrešljiv sestavni del. S funkcionalnega kot tudi s konstrukcijskega vidika jih delimo na ventile sedežnega in ventile drsniškega tipa. Poznavanje njihovih karakteristik je bistvenega pomena za pravilno izbiro pri vgradnji v hidravlični tokokrog. V fazi razvoja novega produkta, pa tudi za vrednotenje že obstoječih, uporaba virtualnih analiz (tj. trdnostnih, tokovnih ...) omogoča detajlni vpogled v obnašanje izdelka in vnaprejšnje napovedovanje njegovih karakteristik.

V prispevku je prikazan postopek gradnje simulacijskih modelov potnega ventila (tip KV), prelivnega ventila (tip VE) in delilnika toka (tip DTP); vsi omenjeni modeli so plod uspešnega sodelovanja med podjetjem Poclain Hydraulics, d. o. o., ter Laboratorijem za fluidno tehniko LFT (UL FS). Numerično modeliranje kakor tudi simulacije so potekale v enodimenzionalnem virtualnem okolju programskega paketa AMESim. Ključni parametri, potrebni za celovitejši popis realnih razmer v ventilih, so bili dobljeni na osnovi tridimenzionalne tokovne simulacije v programskem paketu ANSYS CFX. Eksperimentalno merjenje hidravličnih veličin je posledično služilo zgolj za vrednotenje oz. potrditev numeričnega pristopa.

Na osnovi umerjenih simulacijskih orodij so bile izdelane virtualne knjižnice za obravnavane družine ventilov. Slednje bodo omenjenemu podjetju služile kot pripomoček za boljše razumevanje delovanja posameznega izdelka kakor tudi pri njegovi integraciji v globalni hidravlični tokokrog.

Ključne besede: hidravlika, ventili, bati, tokovne sile, notranje puščanje, zaprti tokokrogi, drsniški tipi, sedežni tipi, modeliranje, simulacije

1 Uvod

Hidravlični batni drsniški ventili se uporabljajo v najrazličnejše namene: kot protipovratni ventili, potni ventili (posredno ali pa elektromagnetno prekrmljeni), omejevalniki tlaka, tokovni ventili, zavorni ventili idr. Uporabljajo se tako v odprtih (slika 1) kot tudi v zaprtih hidravličnih tokokrogih (slika 2).

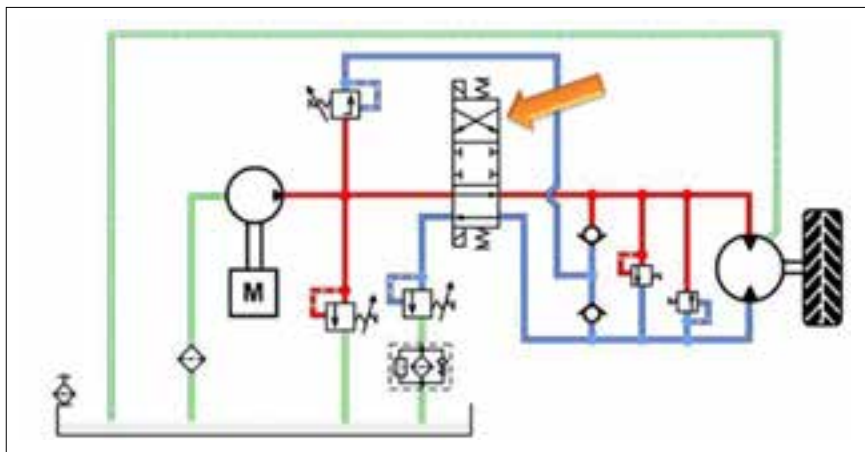
Glede na konstrukcijo in njihovo funkcijo se batni ventili delijo na

ventile sedežnega in drsniškega tipa (slika 3). Ena izmed pomembnejših razlik med obema tipoma ventilov je prav gotovo odzivni čas, ki ga pogojuje t. i. mrtvi gib bata oz. prekritje. Slednji je pri ventilu drsniškega tipa različen od nič, medtem ko je v primeru

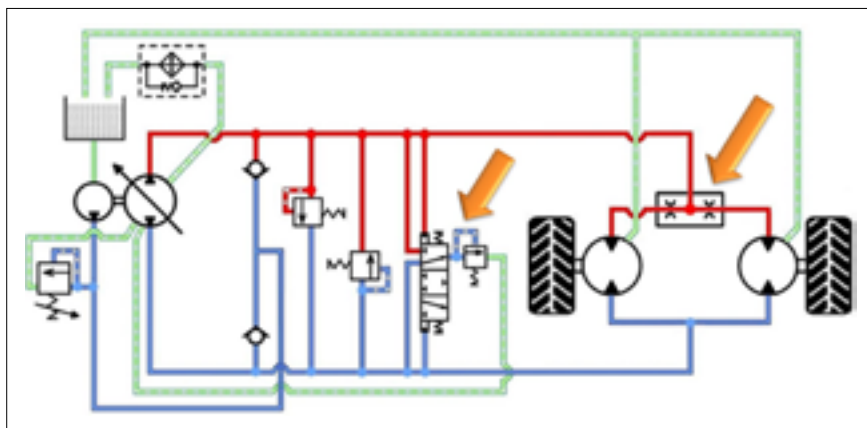
sedežnega tipa ventila prekritje nično. Vsak od ventilov ima svoje prednosti in slabosti, izbiro pa praviloma določa način uporabe (tj. aplikacija).

Tokovne karakteristike hidravličnih (batnih) ventilov pogojujejo tlačne

Alen Ljoki, dipl. inž., Jakob Pintar, dipl. inž., Jan Rak, univ. dipl. inž., doc. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., Vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; Anže Čelik, univ. dipl. inž., Poclain Hydraulics, d. o. o., Žiri



Slika 1. Prikaz pozicije batnih drsniških ventilov v odprtih tokokrogih



Slika 2. Prikaz pozicije batnih drsniških ventilov v zaprtih tokokrogih

izgube v sistemih. V večini primerov se največje tlačne izgube oz. tlačni padci pojavijo pri pretoku hidravlične kapljevine skozi reže, ki predstavljajo lokalni (tj. singularni) tip izgub. Velikost reže pogojuje odprtje oz. pomik bata glede na izhodiščno lego.

Vnaprejšnje poznavanje karakteristik takšnih ventilov (npr. značilnice $\Delta p - Q$, močnostne karakteristike $p - Q$, odvisnost pomika bata od pretoka $x(Q)$ idr.) je bistvenega pomena za pravilno izbiro omenjenih sestavin pri vgradnji v hidravlični tokokrog. Dandanašnji pristop k vrednotenju karakteristik navadno poteka s pomočjo analitično-numeričnih računalniških orodij, in sicer v virtualnem okolju. Pri tem se izognemo predvsem časovno zamudnemu iterativnemu postopku testiranja prototipov oz. se končni realni preizkus izvede večinoma le

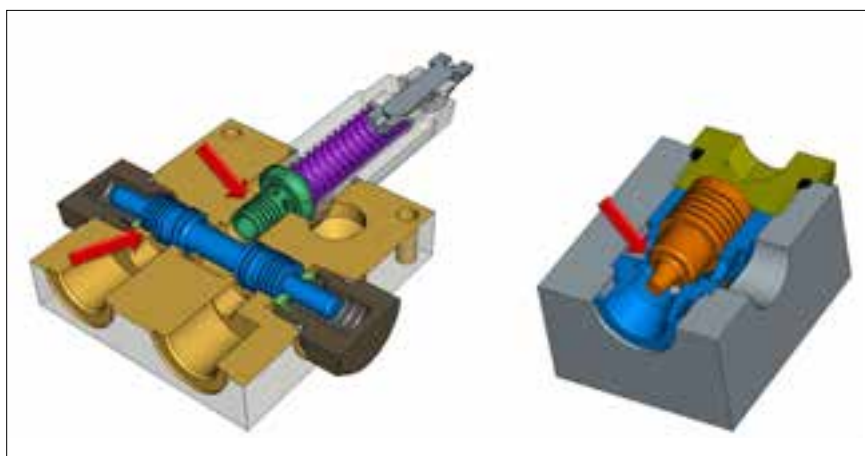
za overitev računskega pristopa (slika 4).

Glavna prednost uporabe simulacijskih orodij je (vnaprejšnje) poznavanje fizikalnih lastnosti obravnavane sestavine, ki bi jih bilo s preizkusom težko ali pa praktično

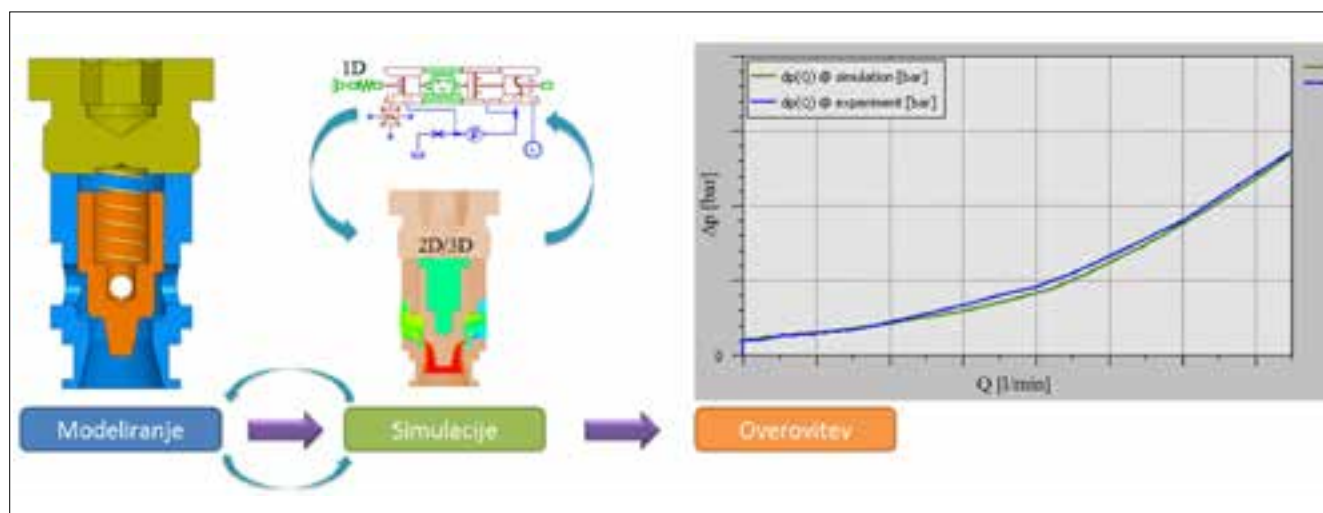
nemogoče ovrednotiti. Pri tem je mogoče relativno v kratkem času raziskati različne konstrukcijske rešitve in izbrati optimalno rešitev pri danih pogojih – vse v virtualnem okolju.

2 Numerično modeliranje

V nadaljevanju tega prispevka je prikazan postopek gradnje simulacijskih modelov potnega ventila, prelivnega ventila ter delilnika toka (slika 5). Numerično modeliranje in simulacije so potekali v enodimenzionalnem (1D) virtualnem okolju programskega paketa AMESim. Manjkajoči koeficienti, odvisni od hidravličnih razmer ter geometrije sestavin, pa so bili dobljeni na osnovi tridimenzionalne (3D) tokovne analize v programskem paketu ANSYS CFX.



Slika 3. Prikaz ventila drsniškega tipa (levo) in ventila sedežnega tipa (desno)



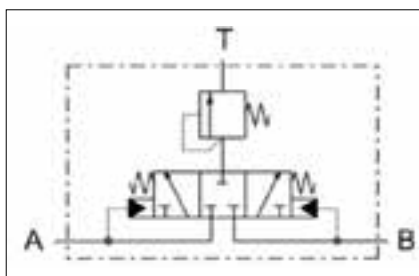
Slika 4. Overitev virtualnega pristopa z realnim preizkusom

2.1 Opis in umestitev posamezne komponente

Prelivni ventil in delilnik toka sta tipični sestavini zaprtega hidravličnega tokokroga, potni ventil pa je značilen predstavnik odprtega hidravličnega tokokroga. Slika 2 prikazuje globalno umestitev ventilov VE in DTP, slika 1 pa umestitev potnega ventila KV v odprtem hidravličnem tokokrogu.

2.1.1 Prelivni ventil (VE)

Osnovna funkcija izmenjevalnega ventila je sestav funkcije hidravlično krmiljenega potnega ventila ter nizkotlačnega omejevalnika tlaka (slika 6). Uporaba potnega ventila je nujno potrebna v zaprtem tokokrogu, in sicer zaradi odvoda vročega olja iz nizkotlačne veje sistema.



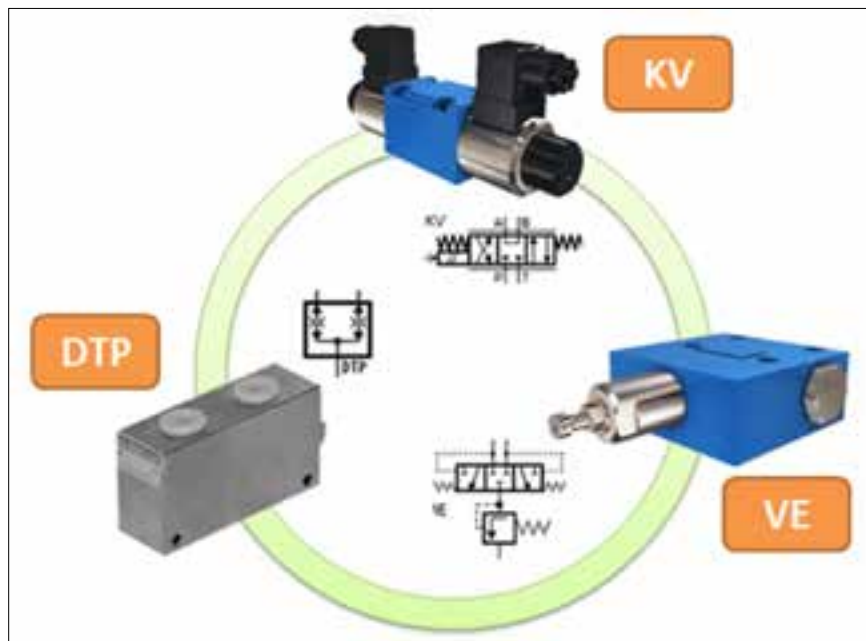
Slika 6. Hidravlični simbol prelivnega ventila VE

Hidravlično krmiljeni potni ventil (*angl. selector spool*) določa povezavo med nizkotlačno vejo sistema in rezervoarjem. Osnovna funkcija nizkotlačnega omejevalnika tlaka (*angl. low pressure relief valve – LPRV*) je omejevanje najvišjega delovnega tlaka na (nizkotlačni) vhodni veji. Naziv »nizkotlačni« se nanaša na delovno vrednost tlaka do 50 bar.

Družino prelivnih ventilov sestavljajo ventili VE10, VE30 ter VE60. Med seboj se, med drugim, razlikujejo po količini nominalnega pretoka. Tako se npr. oznaka VE30 nanaša na nominalni pretok (Q) 30 l/min.

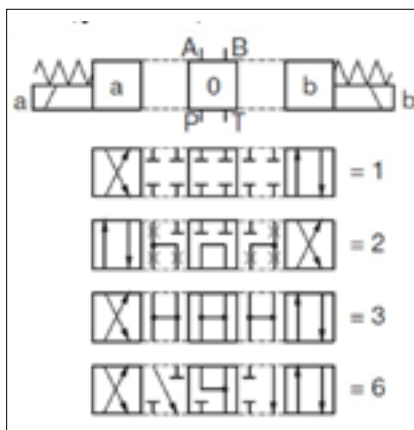
2.1.2 Potni ventil (KV)

Potni ventil tipa KV (z neposrednim elektromagnetnim prekrmljenjem) omogoča krmiljenje smeri toka hidravlične kapljavine. Slika 7 pri-

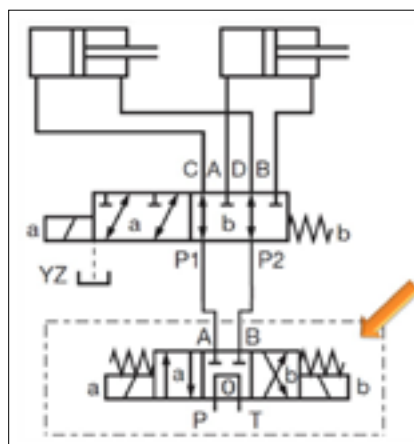


Slika 5. Obravnavane družine ventilov

kazuje hidravlični simbol potnega ventila s štirimi priključki in tremi pozicijami bata (tj. KV-4/3).



Slika 7. Nekateri hidravlični simboli potnega ventila KV [5]



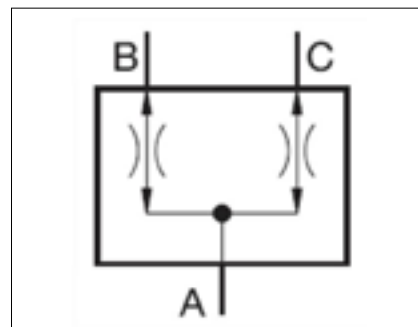
Slika 8. Umestitev potnega ventila KV v odprtem hidravličnem tokokrogu [5]

Potni ventil v osnovi sestavljajo ohišje, krmiljeni bat, eden oz. dva elektromagneta ter pripadajoči vzmeti. Elektromagnet omogoča krmiljenje bata iz osnovne pozicije (0) v eno izmed skrajnih leg (a ali b). Pri tem je vzpostavljena povezava med priključki A, B, P in T z ozirom na tip bata.

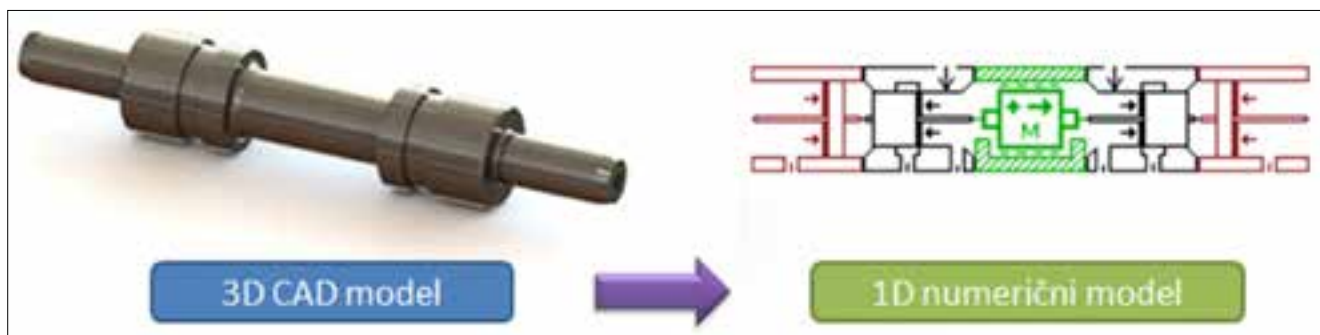
Slika 8 prikazuje umestitev potnega ventila KV v odprtem hidravličnem tokokrogu.

2.1.3 Delilnik toka (DTP)

Delilnik toka tipa DTP omogoča funkcijo delitve in združevanja toka hidravlične kapljavine, in sicer neodvisno od tlaka na posameznem priključku. Vgrajeni mehanizem deli tok v smeri A proti priključkom B in C ter združuje v smeri B in C pro-



Slika 9. Hidravlični simbol delilnika toka DTP [4]



Slika 10. Diskretni 1D-model krmilnega bata z ozirom na 3D-model

ti priključku A. Razmerje delitve in združevanja je 50 % : 50 %. Slika 9 prikazuje hidravlični simbol delilnika toka.

Pri pretoku kapljevine preko nenastavljive dušilke je tlak na vstopu v dušilko višji od tlaka na izhodu. Tlačni padec je odvisen od kapljevine, geometrije dušilke in pretoka. Pri določeni kapljevini in dušilki je tlačni padec torej sorazmeren pretoku. Omenjena povezava se s pridom izkorišča pri delilniku toka. Osnova delovanja temelji na vzdrževanju enakega tlačnega padca na nenastavljivih dušilkah obeh batov [3]. Primer umestitve delilnika toka v globalnem hidravličnem tokokrogu je prikazan na sliki 2.

2.2 1D-pristop

Za potrebe numeričnih modelov ventilov so bili tridimenzionalni ventili (t. i. zvezni sistem) razčlenjeni na posamezne enodimenzionalne elemente (t. i. diskretni sistem), ki vplivajo na njihove hidravlično-mehanske značilnosti. Osnovni gradniki fizikalnega modela (s pripadajočimi matematičnimi modeli) so podani v knjižnicah programskega paketa AMESim oz. jih lahko uporabnik izdela tudi sam. Slika 10 prikazuje primer numerično popisanega modela krmilnega bata. Vsaka sestavina v numeričnem modelu celotnega ventila s svojimi lastnostmi predstavlja dejanski posamični element ali del elementa v dejanskem ventilu. Vhodne parametre teh sestavin je možno uporabniško prilagajati (npr.: masa bata, koeficient vzmeti, koeficient pretoka skozi značilen prehod itd.).

2.3 Opis in predstavitev ključnih parametrov

Poleg pravilnega popisa geometrijskih dimenzij hidravlične sestavine je potrebno ovrednotiti tudi t. i. tokovne parametre – tj. parametre, ki vplivajo na delovanje obravnavane sestavine. S pomočjo variacije vhodnih parametrov znotraj sestavine se lahko izločijo tisti, ki imajo največji vpliv na hidravlično-mehanske lastnosti.

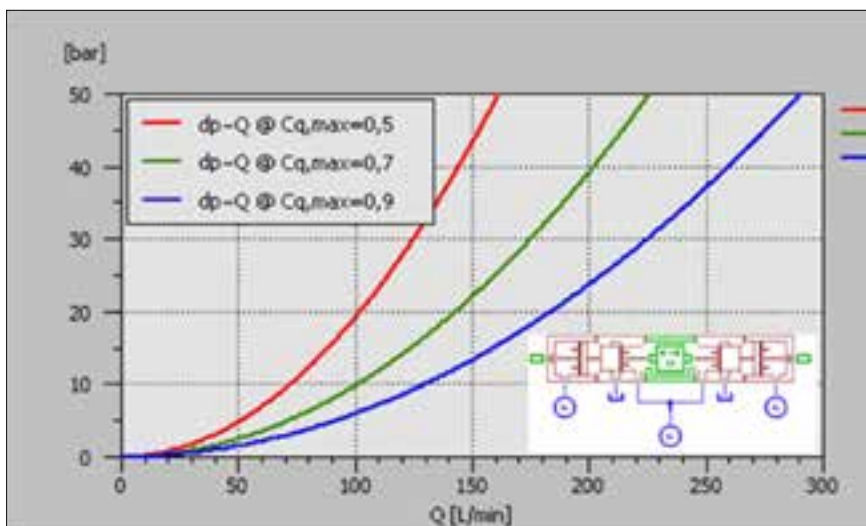
Za popis hidravličnih razmer v ventilu imajo navadno največji vpliv sledeči tokovni parametri:

- koeficient pretoka (C_q) popisuje razmerje med razliko tlakov (Δp) in pretokom (Q) skozi režo; je brezdimenzijsko število, navadno velikosti med 0 in 1.
- koeficient tokovne sile (k_{jet}) je brezdimenzijsko število, ki opredeljuje velikost tokovne sile (F_{jet}); omenjeni koeficient je navadno velikosti med 0 in 1.

- tokovno število (λ) opredeljuje oz. razmejuje laminarne in turbulentne razmere; je brezdimenzijsko število, večje od 0. Navadno je izraženo v odvisnosti od koeficienta pretoka – za visoke vrednosti λ je namreč C_q približno konstanten ($\rightarrow C_{q,max}$)

Zahvaljujoč občutljivostni 1D-numerični analizi se izkaže, da ima v primeru hidravličnega delilnika toka, prelivnega ventila in potnega ventila velik vpliv samo koeficient pretoka $C_{q,max}$, zato je bil slednji v nadaljevanju projekta podrobno obravnavan.

AMESim pri izračunavanju koeficienta pretoka C_q potrebuje le njegovo maksimalno vrednost, tj. vrednost v turbulentnem področju – $C_{q,max}$. Vmesne vrednosti so izračunane na osnovi interpolacije s funkcijo hiperbolični tangens (enačba 1). Razlog za slednje je v numerični stabilnosti izračuna.



Slika 11. Vrednotenje vpliva koeficienta pretoka $C_{q,max}$

$$C_q = C_{q,max} \times \tanh\left(\frac{2 \times \lambda}{\lambda_{crit}}\right) \quad (1)$$

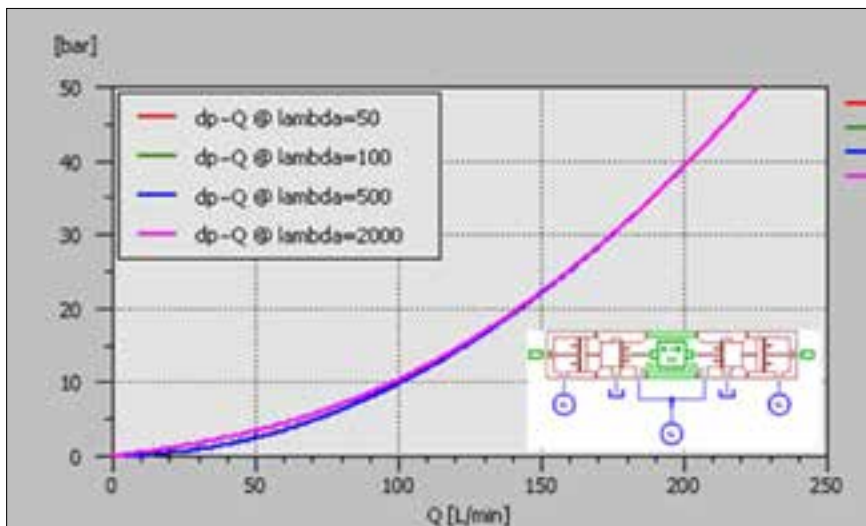
pri čemer je λ_{crit} kritično tokovno število – to je število, pri katerem koeficient pretoka C_q doseže približno 96% maksimalne vrednosti.

Slika 11 prikazuje vpliv koeficienta pretoka $C_{q,max}$ na poenostavljenem modelu hidravlično krmiljenega potnega ventila. Jasno je razviden vpliv koeficienta pretoka na karakteristiko $\Delta p - Q$. Detajlno vrednotenje tega koeficienta je tako bistvenega pomena.

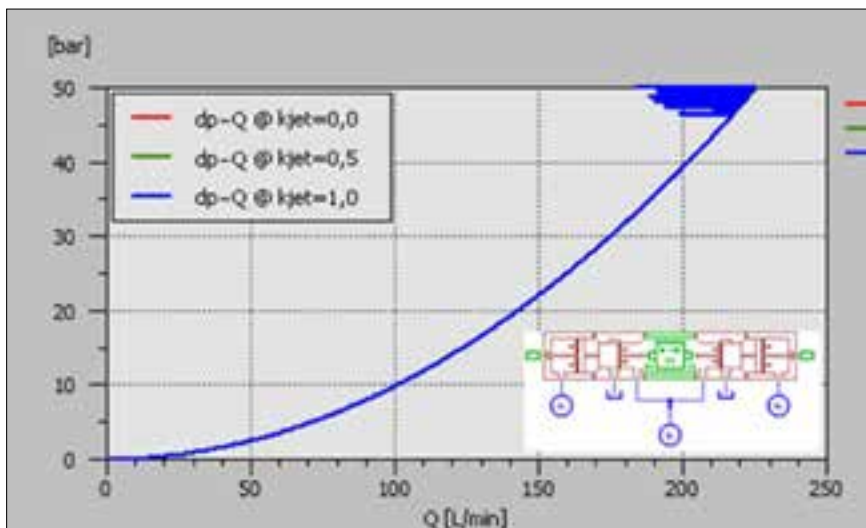
Vpliv tokovnega števila λ prikazuje slika 12. Razvidno je, da omenjeni koeficient v danem območju bistveno ne vpliva na karakteristiko $\Delta p - Q$ (še le pri visoki vrednosti tega koeficienta se ta nekoliko razlikuje glede na karakteristike, dobljene pri ostalih vrednostih koeficientov λ). To je tudi tehten razlog, da se v nadaljevanju ne bo podrobneje obravnaval. Ker se krivulje na sliki 12 prekrivajo, sta posledično vidni le dve – za vrednosti $\lambda=500$ ter $\lambda=2000$.

Slika 13 prikazuje vpliv koeficienta tokovne sile na karakteristiko $\Delta p - Q$. Razvidno je, da ta koeficient v širšem razponu ne vpliva na omenjeno karakteristiko, ima pa vpliv pri skrajnih mejah karakteristike. To se odraža na močnostni karakteristiki $p - Q$. Krivulje na sliki 13 se prekrivajo, zato je posledično vidna le ena – za vrednost $k_{jet}=1,0$.

Tokovna sila (F_{jet}), točneje aksialna komponenta, namreč vedno deluje v nasprotni smeri sile, ki je potrebna za premik bata v skrajno lego (slika



Slika 12. Vrednotenje vpliva tokovnega števila λ

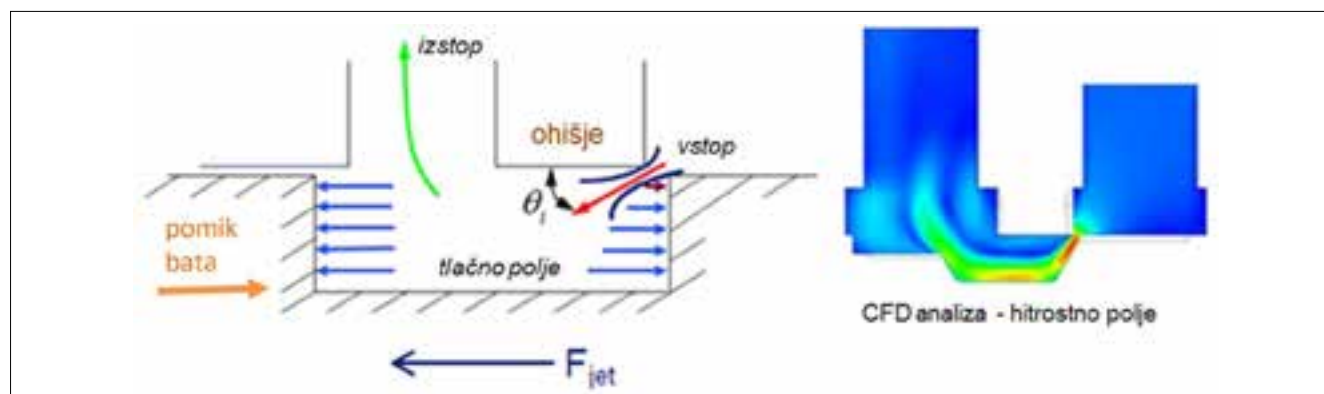


Slika 13. Vrednotenje vpliva koeficienta tokovne sile k_{jet}

14). Tokovna sila posledično vedno zapira rezo oz. zmanjšuje efektivno pretočno površino.

Razlog za omenjeno delovanje tokovne sile je v porazdelitvi tlačnega polja v komori med ohišjem in

batom. Nehomogena porazdelitev tlaka ima ozadje v pretvorbi potencialne energije v kinetično energijo kapljevine – slednje se praviloma odraža v visoki vstopni hitrosti kapljevine. To je prikazano tudi s pomočjo CFD-analize na sliki 14.



Slika 14. Prikaz vpliva tokovne sile [2]

2.4 3D-pristop

Zaradi znatne odvisnosti koeficienta pretoka $C_{q,max}$ na karakteristiko $\Delta p - Q$ je bil v nadaljevanju ta koeficient ovrednoten s pomočjo 3D-tokovne analize. Tokovna analiza je alternativa eksperimentalnemu pristopu, ki pa je časovno precej bolj potraten, vprašljiva pa je tudi ponovljivost rezultatov. Razlog za 3D-numerični pristop je v neposredni povezavi geometrije sestava in tokovnega koeficienta. Pričakujemo, da se bo koeficient $C_{q,max}$ spreminjal s spreminjanjem geometrije pretočnega preseka (npr. s pozicijo bata).

Ker sestavine, ki jih ponuja AMESim v svojih standardnih knjižnicah, ne omogočajo spreminljivega koefici-

enta pretoka, so bile v ta namen izdelane sestavine v modulu AMESet (slika 15). Uporabniško izdelane sestavine pa omogočajo popis parametra C_q kot odvisno spremenljivko – npr. v odvisnosti od giba bata $\rightarrow C_q(x)$. Posledično tako ni potrebno več operirati s koeficientom $C_{q,max}$, pač pa s spremenljivko C_q .

Preostala parametra (tj. kjet in λ) sta v primeru popisa potnega ventila KV ostala nespremenjena oz. sta se upoštevali njuni programsko prednastavljene vrednosti.

Tipičen potek 3D-numerične analize poteka takole:

- Najprej izdelamo numerični model (t. i. *pre-processing*), nato uvozimo 3D-geometrijo, jo mre-

žimo, postavimo robne pogoje, definiramo kapljevino idr.

- Sledi preračun (t. i. *processing*) oz. reševanje povprečenih Navier-Stokesovih enačb (RANS).
- Na koncu vrednotimo še rezultate (t. i. *post-processing*).

3D-numerični pristop je potekal v programskem paketu Ansys CFX. Kratek opis posameznih korakov med gradnjo numeričnega modela je podan v nadaljevanju.

2.4.1 Mreženje

Prvi mreženju so bili uporabljeni volumski elementi, in sicer tristrane piramide (oz. t. i. tetraedri). Potrebno je bilo zagotoviti dovolj gosto mrežo za pridobitev natančnih rezultatov v realnem času. Na vseh zoženih predelih (tj. režah in odprtinah) smo zagotovili vsaj 10 volumskih elementov po preseku. Poleg tega smo uporabili »inflacijo«, s čimer smo še dodatno povečali število elementov na ozkih predelih. Slika 16 prikazuje primer mreže v delnem prerezu geometrije (vod P-A pri ventilu s krmilnim batom 1).

Po mreženju smo preverili še kvaliteto mreže in jo po potrebi izboljšali. Kvaliteta se je med drugim preverjala po t. i. »kriteriju Skewness«.

2.4.2 Mreženje

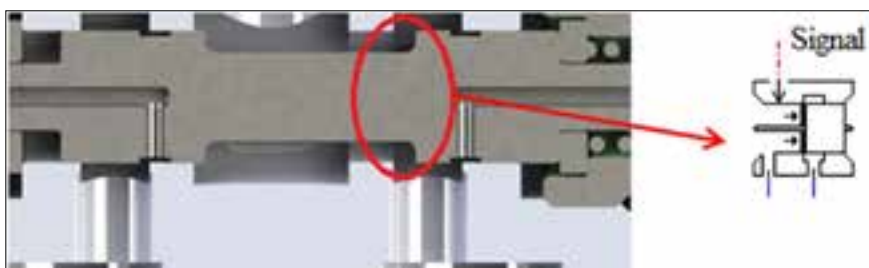
Robni pogoji so bili trije, in sicer:

- v prvem smo definirali stene (t. i. *wall*),
- v drugem vstop kapljevine (t. i. *inlet*),
- v tretjem pa še izstop kapljevine (t. i. *outlet*).

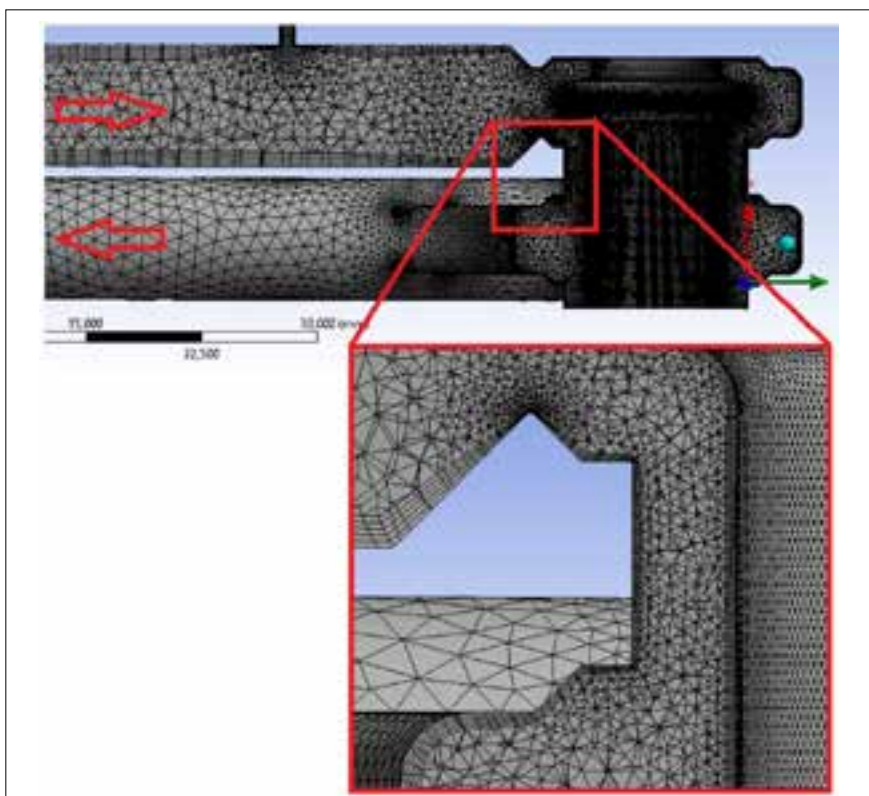
2.4.3 Definicija kapljevine

Pri vseh simulacijah je bila uporabljena standardna kapljevina ISO VG 46 z naslednjimi fizikalnimi lastnostmi:

- referenčna temperatura: 40 °C,
- referenčni tlak: 1 bar,
- gostota: 880 kg/m³,
- dinamična viskoznost: 0,048048 Pa*s,
- toplotna kapaciteta: 1966 J/(kg*K),
- molska masa: 300 kg/(kmol).



Slika 15. Primer standardnega elementa iz knjižnice z dodatnim vstopnim signalom



Slika 16. Prikaz primera delnega prereza mreže (KV-4/3-5KO-6-1 – vod P-A)

■ 3 Rezultati simulacij

■ 3.1 Overovitev

3D-numeričnega pristopa

Vrednotenje 3D-tokovnih simulacij je potekalo na osnovi primerjave z rezultati meritev. Slika 17 prikazuje primerjavo normiranih rezultatov za karakteristike $\Delta p - Q$ med CFD-simulacijami in meritvami, in sicer za ventil KV-4/3-5KO-6-2. V splošnem velja, da so bile v primeru simetrije ventila simulacije izvedene le za polovico (tj. eno stran) ventila.

S slike je razvidno, da so si vrednosti in karakteristike CFD-simulacij in meritev zelo podobne. Na enak način so se overili vsi rezultati CFD-simulacij za celotno serijo ventilov KV in VE.

Ena izmed ključnih prednosti 3D-pristopa je tudi v tem, da nam slednji omogoča detajlni vpogled v notranje lokalno »dogajanje« v ventilu. Na osnovi detajlnega poznavanja je nadalje mogoča izboljšava oz. optimizacija ključnih območij v ventilu.

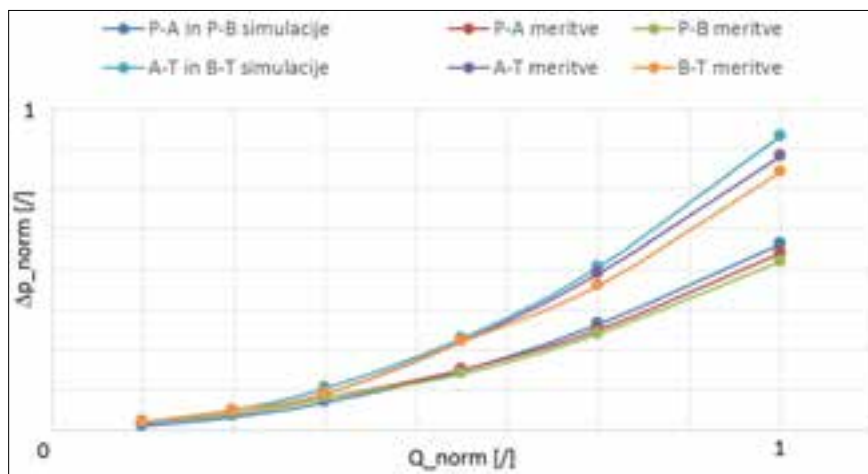
Poleg omenjenega nam 3D-pristop omogoča tudi popis spremenljivk, ki jih s klasičnim preizkusom praktično ni mogoče popisati (npr. že omenjeni tokovni koeficient, hitrostno polje, vrtničenja, strižne napetosti idr.).

■ 3.2 Overovitev

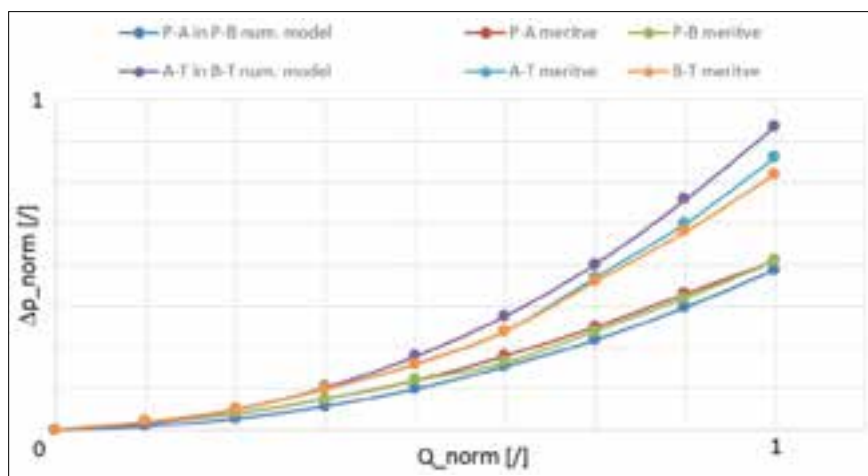
1D-numeričnih modelov

Na osnovi overjenih rezultatov 3D-numeričnega pristopa so bili ti uporabljeni (oz. integrirani) v 1D-numeričnem modelu. Pri tem je bilo potrebno standardne sestavine nekoliko prilagoditi (slika 15).

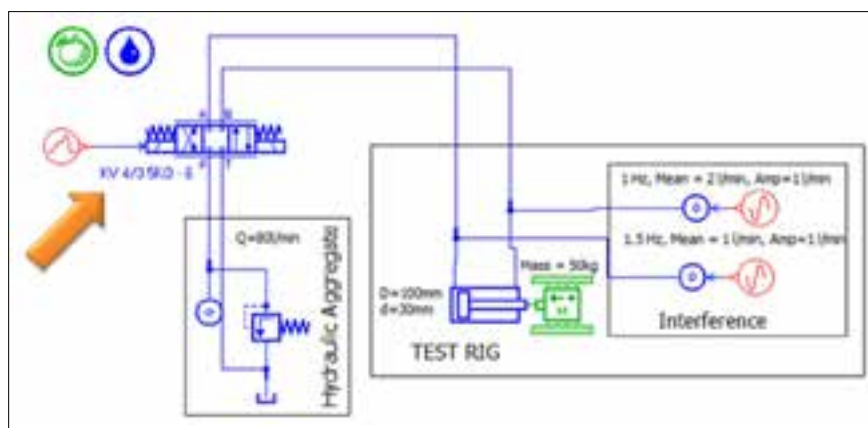
Verodostojen 1D-numerični model je mogoče v nadaljevanju s pridom izkoristiti tako za statične kot tudi za dinamične simulacije. Pri vrednotenju rezultatov lahko uporabnik izbira med katerimi koli razpoložljivimi spremenljivkami.



Slika 17. Primerjava karakteristik $\Delta p - Q$ med 3D-numeričnim in dejanskim ventilom



Slika 18. Primerjava karakteristik $\Delta p - Q$ med 1D-numeričnim in dejanskim ventilom

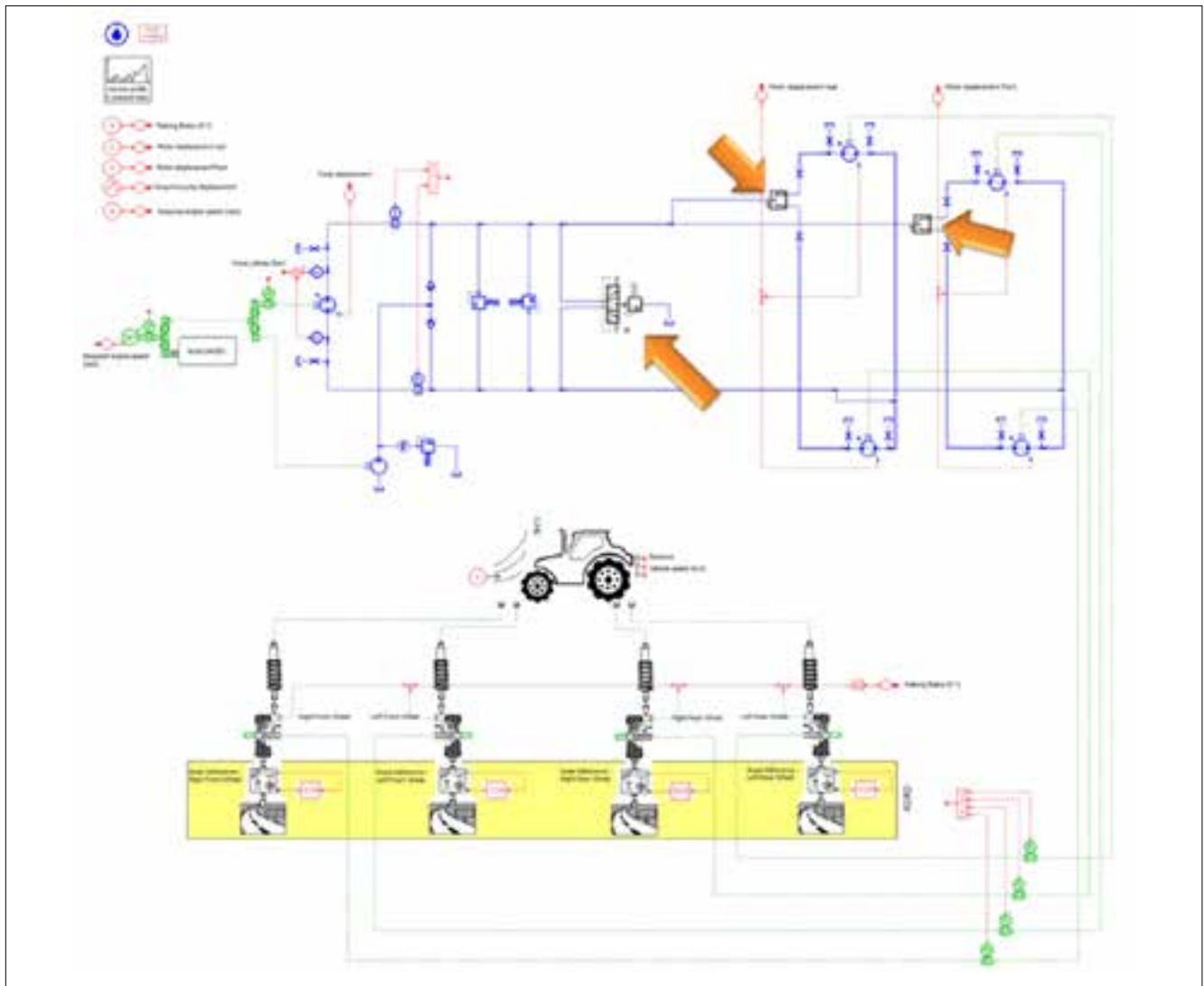


Slika 19. Vrednotenje stabilnosti numeričnega potnega ventila KV

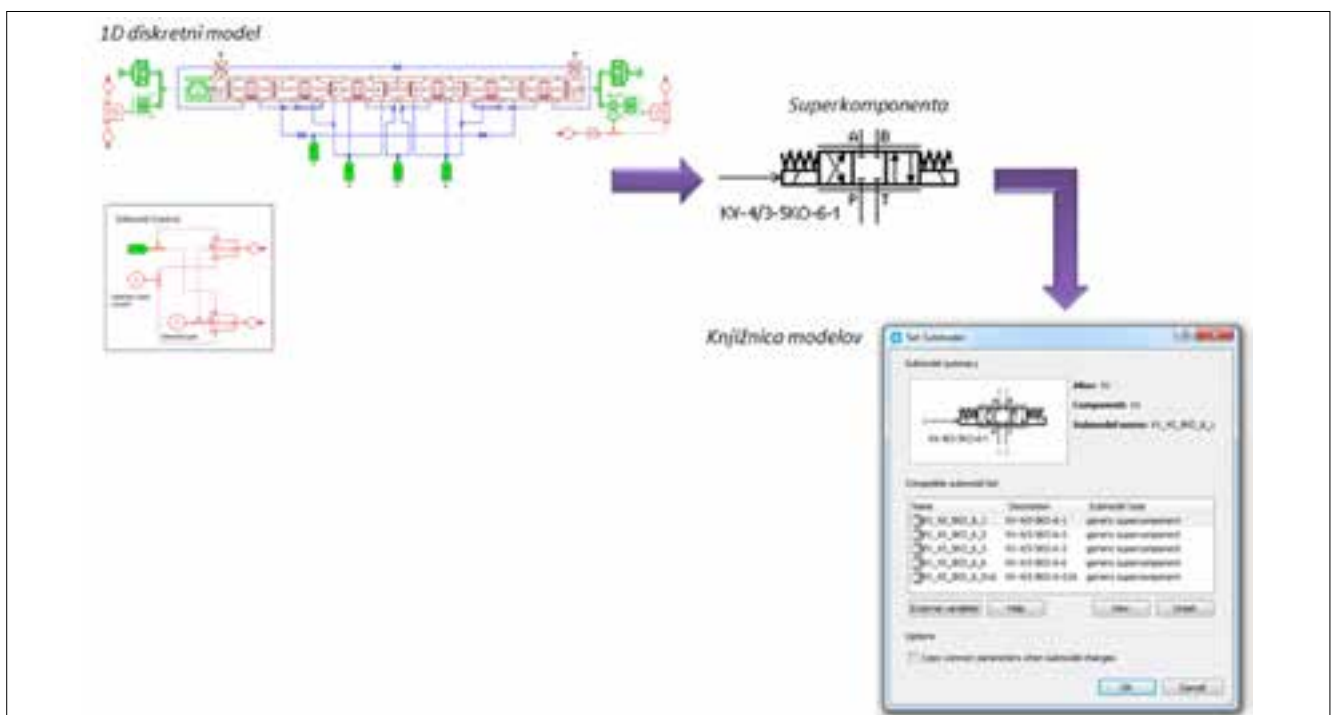
Slika 18 prikazuje primerjavo karakteristik $\Delta p - Q$ za ventil KV-4/3-5KO-6-2.

Pri vgradnji ventila v hidravlični tokokrog je bistvenega pomena tudi stabilnost modela. Vsi izdelani mo-

deli ventilov (KV, VE in DTP) so bili preizkušeni tudi v virtualnem hidravličnem tokokrogu. Za ventila DTP in VE je bil uporabljen zaprt hidravlični tokokrog (slika 20), za ventil KV pa odprt hidravlični tokokrog (slika 19).



Slika 20. Vrednotenje stabilnosti numeričnih ventilov DTP in VE



Slika 21. Proces gradnje knjižnice ventila KV

■ 4 Gradnja družine ventilov

Umerjene ventile iz posamezne družine je na to smiselno povezati v celoto oz. v t. i. »superkomponento«, ki je za uporabnika prijaznejša, predvsem pa preglednejša. Komponenta, ki predstavlja oz. povzema celotno družino, se nadalje vgradi v knjižnico – tako je komponenta (npr. na nivoju podjetja) dostopna komurkoli in kadarkoli (slika 21).

Za obravnavane družine ventilov DTP, KV in VE so bili izdelani sledeči modeli:

- delilnik toka DTP (nazivni pretok [l/min]): 10, 20, 35, 50, 70;
- potni ventil KV-4/3-5KO-6 (model krmilnega bata): 1, 2, 3, 6, 51 A;
- prelivni ventil VE (nazivni pretok [l/min]): 10, 30, 60.

■ 5 Zaključek

Iz prispevka je jasno razvidno, da so današnji izdelki kompleksni ne le v smislu geometrije, pač pa tudi vgradnje (robni pogoji, obremenitve), dinamičnega odziva, soodvisnosti od drugih vgrajenih sestavin idr. Nekdanji pristop z iterativnimi postopki izdelave/dodelave prototipov je tako z inženirskega vidika postal nesprejemljiv – predvsem zaradi številnih parametrov, ki vplivajo na konstrukcijo, delovanje ter odziv sestavine. Časovne zamudnosti in stroškovne plati na tem mestu niti ne bi omenjali.

Razvoj izdelkov v virtualnem okolju (slika 22) pa je sodoben pristop,

ki je praviloma usmerjen k razvoju tehnično izpopolnjenih in cenovno najugodnejših rešitev. Simulacijska orodja omogočajo detajlno vrednotenje fizikalnih zakonitosti, z variacijo vhodnih parametrov je možno predvideti različne trende odziva, korekcije virtualnih modelov načeloma ne pogojujejo časovno zamudnega procesa (današnja komplementarnost orodij omogoča tudi asociativnost med različnimi tipi modelov – CAD, MKE, CFD idr.). Tak pristop je vzdržen tudi z ekonomskega vidika.

Pri uporabi simulacijskih orodij v zgodnji fazi razvoja izdelka je prihranek (na času in stroških) pravzaprav težko oceniti, saj ni povsem jasno razvidno, kolikim (neuspešnim) iteracijam smo se s takšnim pristopom izognili. Glede na pretekle izkušnje pa ni presenetljiv podatek, da gre tudi za nekajkrat hitrejši razvoj izdelka. Posledično pa tudi hitrejši čas prihoda na tržišče.

Ne glede na zgoraj povedano pa velja, da le verodostojno (tj. umerjeno) simulacijsko orodje lahko pripomore k pravilnemu razumevanju delovanja komponente/sistema ter posledično tudi k ustrezni konstrukciji.

Čas od koncepta do prototipa se je v zadnjem času bistveno skrajšal ravno zaradi razvoja simulacijskih programov. Z naprednimi algoritmi so se rezultati numeričnih modelov zelo približali realnim meritvam. S pomočjo numeričnih modelov lahko izločimo morebitne napake, ki bi

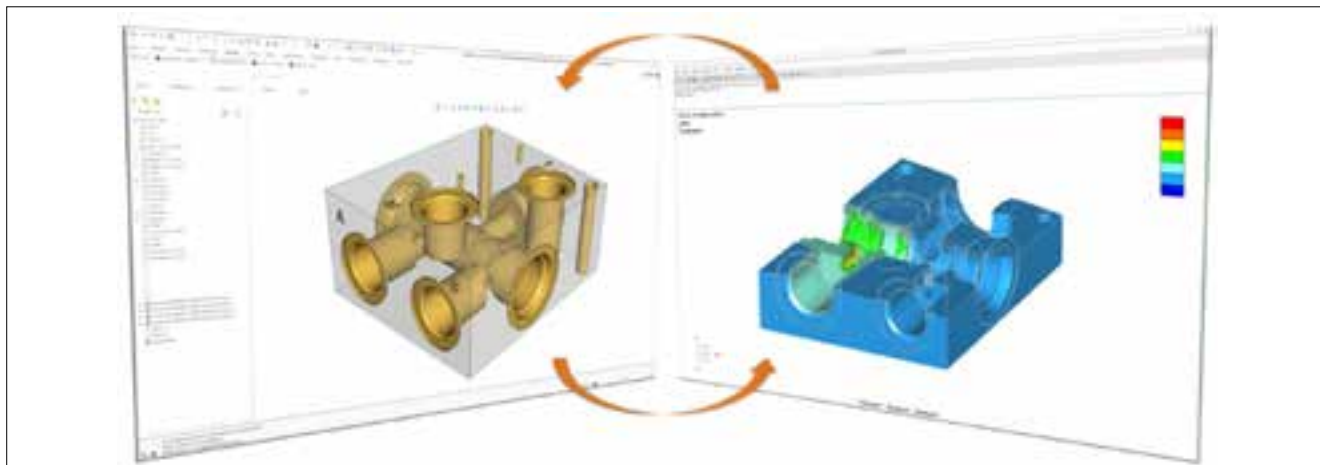
nastopile pri prototipu. Tako prihranimo pri izdelavi nepotrebnih prototipov.

S tem, ko se približamo laboratorijskim meritvam pri posameznem modelu ventila, lahko opazujemo tudi delovanje celotnega sistema. Namen projekta je bil izdelati numerične modele, ki bi bili dobro popisani in uporabni za nadaljnjo analizo. Tako bodo v podjetju lahko s pomočjo simulacije končnim kupcem določili sestavine za optimalno delovanje sistema.

Povečevanje števila uspešno zaključenih projektov v sodelovanju med univerzo in industrijo kaže na to, da je to tudi v prihodnje neizogibno. Teoretično in praktično znanje obeh strani prinaša krajši čas od ideje do množične proizvodnje izdelka. Na koncu se seveda tudi to odraža v prihranjenih sredstvih.

Literatura

- [1] Merrit, H. E.: Hydraulic control system, John Wiley and Sons, New York, 1967.
- [2] AMEHelp, rev. 11 SL1
- [3] Peternel, L.: Optimizacija hidravličnega delilnika/združevalnika toka, diplomsko delo, Ljubljana, 2012.
- [4] Poclain Hydraulics: Flow control valves; Hydraulic components: 2011.
- [5] Poclain Hydraulics: Directional control valves; Hydraulic components: 2011.
- [6] LMS Imagine AMESim, rev. 13 SL1.



Slika 22. Iterativni pristop v virtualnem okolju

Modelling and simulations of hydraulic spool valves flow characteristics

Abstract: Spool valves are almost indispensable components in open loop or closed loop hydraulic circuits. From the functional as well as from the constructional point of view, spool valves are separated into seat-type and spool-sliding type. It is essential to know their characteristics in order to choose the proper valve configuration for the integration into the hydraulic circuit. During the development phase as well as for the evaluation of existing products, virtual analyses (i.e. stress, flow, etc.) allow a detailed insight into the product response and predictions of its characteristics in advance.

This paper describes the process of building simulation (lumped) models of a directional control valve (KV type), an exchange valve (VE type) and a flow divider (DTP type). All models were made based on the successful cooperation between Poclain Hydraulics d.o.o. and the Laboratory for Fluid Power and Controls at the University of Ljubljana. The numerical modelling and simulations were performed in a one-dimensional virtual environment within AMESim software. The key parameters required for a more comprehensive description of a real valve were obtained thanks to a three-dimensional flow simulation within Ansys Fluent. The experimental measurement of hydraulic variables was performed only to validate the given numerical approach.

Based on the calibrated simulation tools, new virtual hydraulic libraries were created for each considered family of valves. These will serve the company as a tool for a better understanding of single valve behaviour as well as for studying valve response in a hydraulic circuit.

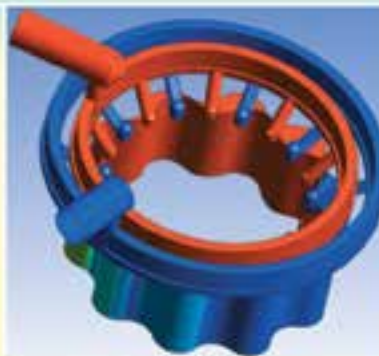
Keywords: hydraulics, valves, spools, flow forces, internal leakage, closed circuits, sliding types, seat types, modelling, simulations

LABORATORIJ ZA FLUIDNO TEHNIKO

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 popravila 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: lft@fs.uni-lj.si
<http://lab.fs.uni-lj.si/lft/>

