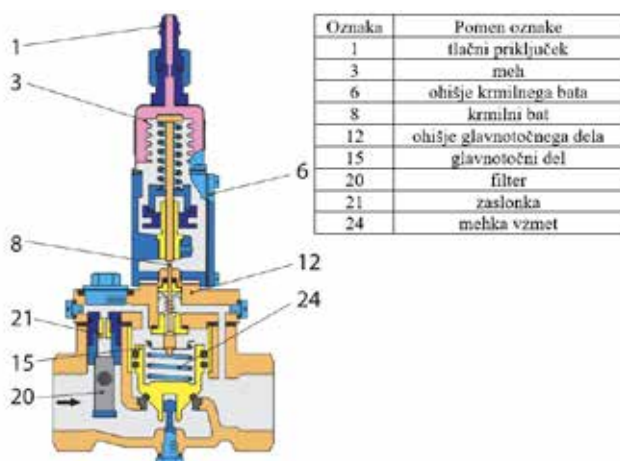




Slika 1 : Ventil WVS 32 (138 mm x 85 mm x 285 mm) [3]

Zaradi zaslonke to povzroči padec tlaka za glavnim batom in posledično odprtje glavnotočnega dela ventila. Posebnost tega ventila je vodenje in dušenje glavnega bata [3].

Znanstveni članki na področju vode se ukvarjajo predvsem z zmanjšanjem dinamičnega delovanja varnostnih ventilov za vodo. Eden izmed njih [4] predlaga rešitev, prikazano na *sliki 2*. Ta deluje tako, da ob odprtju ventila voda nemoteno polni dušilno komoro pri nizkih tlakih V primeru, ko pa se ventil želi zapreti, to opravi protipovratni ventil. Zaradi tega se iztok iz dušilne komore zmanjša, kar povzroči povišanje tlaka in počasno zapiranje ventila. Ta rešitev je bila tudi preizkušena in je izkazovala dober način za zmanjšanje tlačnih nihanj [4].

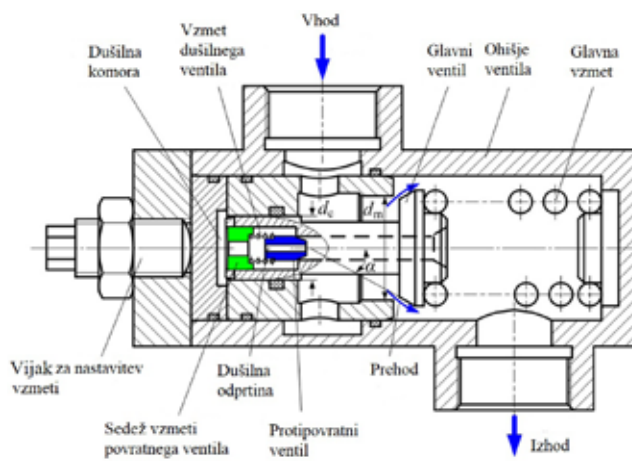
3 Eksperimentalni del

3.1 Dosedanja rešitev

V okviru magistrskega dela [5] je bil v Laboratoriju za fluidno tehniko Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani že razvit dvostopenjski varnostni ventil za vodo (*slika 3*), ki pa je ob testiranjih izkazoval preveliko puščanje glavnega ohišja. To je nastalo zaradi termičnih raztezkov pri varjenju priključka na ventil, ki zato ni deloval. Kasneje se je v okviru diplomskega dela [6] spremenila zasnova ohišja (*slika 3*) in dodatno izvedlo še nekaj sprememb, da se je ta ventil lahko preizkusil. Pri preizkusih so prišli do ugotovitve, da je tudi puščanje skozi krmilni del preveliko in da se krmilni bat ventila nekontrolirano giblje. Tako tudi ta sprememba ni prispevala k izboljšanju delujočega ventila (ta je deloval le do tlaka 150 bar z velikim puščanjem).

3.2 Razvoj nove rešitve

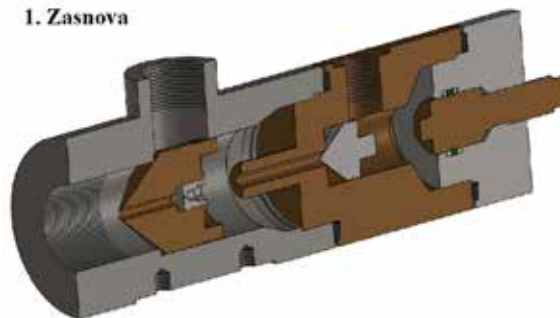
Po pregledu prejšnjih zasnov in njihovih težav smo se lotili izdelave nove zasnove ventila. Po izdelavi nekaj konceptov smo tako prišli do zasnove dvo-



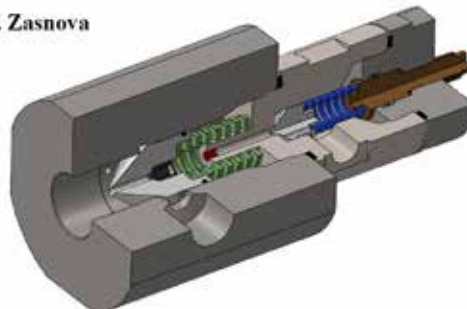
Slika 2 : Rešitev za zmanjšanje tlačnih nihanj [4]

stopenjskega varnostnega ventila (*slika 4*), ki ga sestavlja 22 različnih sestavnih delov, od katerih je 15 delov standardnih. Glavne razlike od prejšnjih zasnov so predvsem te, da imamo za razliko od druge zasnove ohišja [6] povečano odprtino za izhod, saj sumimo, da ob zmanjšani odprtini pri maksimalnem pretoku lahko pride do zvišanja tlaka pred glavnim batom. To vpliva na delovanje ventila. Poleg tega smo luknjo na krmilnem ohišju premaknili bolj proti tesnilnemu robu in s tem izboljšali vodenje krmilnega bata. Dodatno smo dodali dušilni oziroma vodilni element na krmilni bat, kar zmanjša nihanje krmilnega bata. Dodali smo še dodatno merilno mesto in naredili spremembo na glavnem batu, in sicer smo mu povečali površino za vodenje. Poleg tega smo izdelali še dodatne sestavne dele in izboljšave za boljše delovanje ventila.

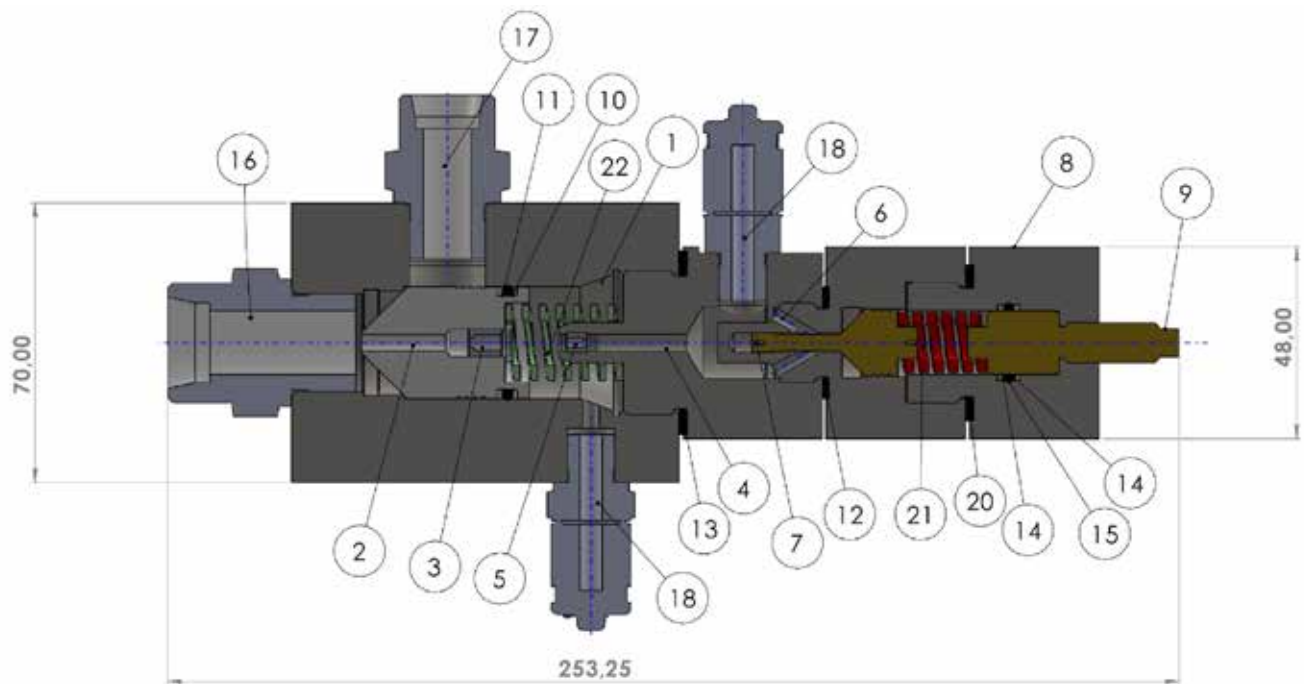
1. Zasnova



2. Zasnova

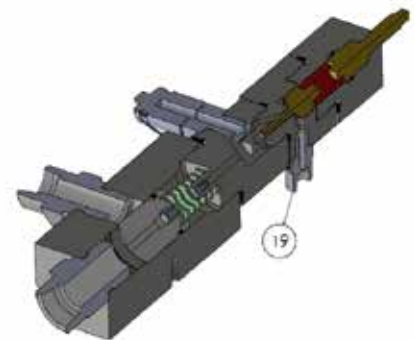


Slika 3 : Dosedanje rešitve: 1. Zasnova – magistrsko delo, 2. Zasnova – diplomsko delo [5], [6]



Legenda:

- | | | |
|--------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1. Glavno ohišje | 8. Pokrovček | 17. Prikluček G1/2 |
| 2. Glavnotočni bat | 9. Nastavitveni vijak | 18. Merilni prikluček G1/4 |
| 3. Zaslonka M8 | 10. O-tesnilo | 19. Prikluček G1/8 |
| 4. Povezava | 11. Podporni obroč | 20. USIT tesnilni obroč |
| med glavnim in | 12. USIT tesnilni obroč | 21. Krmilna vzmet |
| krmilnim ohišjem | 13. USIT tesnilni obroč | 22. Glavna vzmet |
| 5. Zaslonka M5 | 14. Podporni obroč | |
| 6. Krmilno ohišje | 15. O-tesnilo | |
| 7. Krmilni bat | 16. Prikluček G3/4 | |



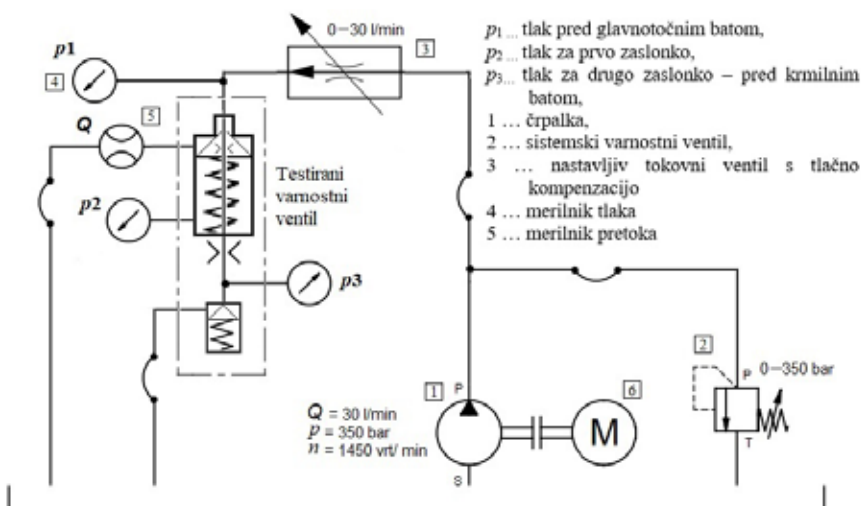
Slika 4 : Izbrana končna rešitev dvostopenjskega vodnega varnostnega ventila [7]

3.3 Preizkuševališče

Za testiranje novega dvostopenjskega varnostnega ventila smo

pripravili vodno hidravlično preizkuševališče. Najprej smo zasnovali hidravlično shemo preizkuševališča (slika 5), ki jo sestavljajo

črpalka, elektromotor, sistemski varnostni ventil, nastavljiva dušilka, testirani varnostni ventil in merilniki. Pri preizkusih smo merili več različnih tlakov: tlak pred glavnotočnim batom p_1 , tlak za prvo zaslonko p_2 , tlak za drugo zaslonko p_3 ter pretok na iztoku iz glavnotočne veje Q. Ker gre za preskuševališče s področja vodne PKH nismo mogli uporabiti številnih komponent s področja oljne hidravlike, pač pa smo uporabili komponente, ki so bile razvite ali uporabljene v preteklih raziskavah, opravljenih na področju vodne PKH v našem laboratoriju.



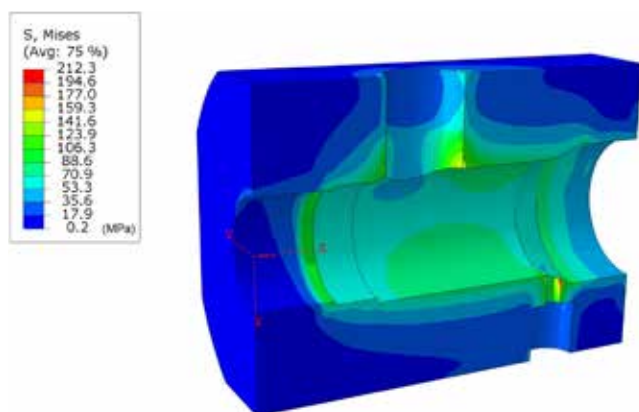
Slika 5 : Shema vodnega hidravličnega preizkuševališča [7]

4 Rezultati

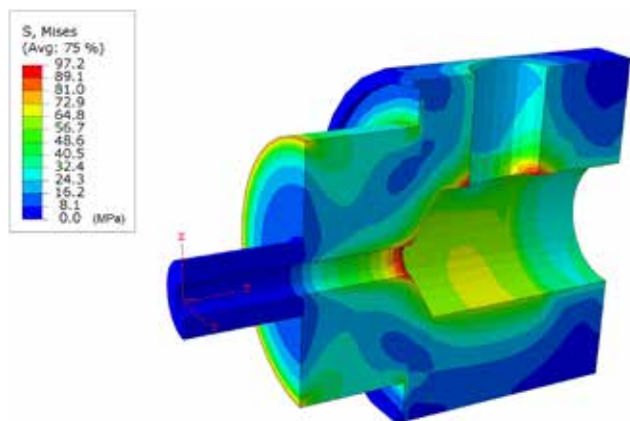
4.1 Rezultati MKE-analize

Pred izdelavo izboljšanega prototipa ventila smo naredili še

numerično analizo s pomočjo metode končnih elementov v programu Abaqus. To smo opravili na dveh sestavnih delih: na povezavi in na velikem ohišju. Ta dva dela sta najbolj obremenjena, zato lahko zaključimo, da če vzdržita obremenitve ta dva, bodo vzdržali vsi izmed njih. Na glavnem ohišju smo naredili dva preračuna: enega v primeru odprtega in enega v primeru zaprtega ventila. Pri izračunu smo ugotovili, da sta največji Misesovi napetosti v obeh primerih na istem mestu in da je v primeru odprtega ventila pri ohišju (slika 6) ta nekoliko večja (210 MPa). Pri preračunu povezave (slika 7) pa smo ugotovili, da so največje napetosti bistveno manjše (100 MPa) in da se pojavijo na prehodu premerov ter na robu priključka. Uporabljeni material za oba sestavna dela je bil nerjavno jeklo 1.4305. Po pregledu rezultatov lahko zaključimo, da povezava vzdrži predvidene obremenitve, v ohišju pa so napetosti na vogalu sicer dokaj blizu Rp02 materiala, vendar v realnem primeru nimamo ostrih robov. Tudi če pride do plastične deformacije, to ne vpliva na delovanje ventila, saj je Rm tudi dokaj visok za ta material. Prav tako so pomiki pri obeh delih zelo majhni, na razpolago imamo namreč veliko materiala.



Slika 6 : Rezultati MKE-analize ohišja v primeru odprtja ventila [7] ($\Phi 70 \text{ mm} \times 97 \text{ mm}$)



Slika 7 : Rezultati MKE-analize povezave [7] ($\Phi 50 \text{ mm} \times 66 \text{ mm}$)

4.2 Izdelava ventila

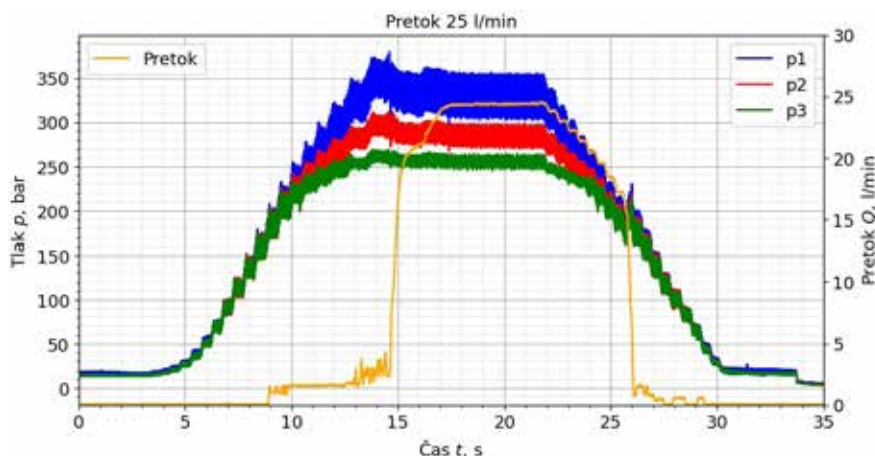
Po izdelavi numerične analize je sledila izdelava ventila (slika 8). Skoraj vse elemente ventila smo izdelali le s pomočjo klasičnih postopkov, saj smo želeli dokazati, da je ventil možno izdelati dovolj natančno in z majhnim puščanjem brez dodatnih obdelav. Le glavnotočni bat in krmilni bat smo izdelali s pomočjo CNC-stroja, saj smo ju izdelali v več variantah in iz različnih materialov. Tako je bilo hitreje in ceneje. Izdelali pa smo dve verziji ohišij, in sicer smo po enega izmed vsakega dela ohišij poslali še na brušenje, če bi pri ohišjih s klasično obdelavo prišlo do prevelikega puščanja.



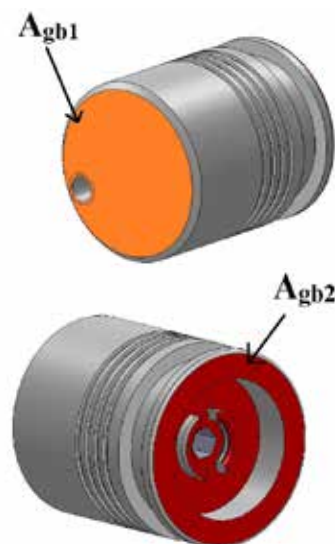
Slika 8 : Izdelava ventila [7]

4.3 Rezultati preizkusov

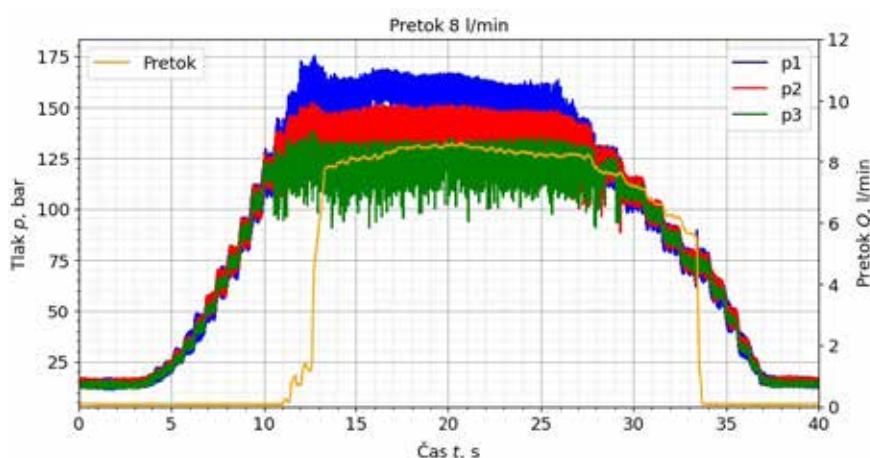
Po izdelavi ventila so sledili prvi preizkusi, ki so pokazali, da je delovanje ventila le delno ustrezno. Na sliki 9 lahko vidimo (iz krivulj poteka tlakov in pretokov), da se odprtje ventila zgodi ob pravem času in pri tlaku nastavitve varnostnega ventila, kar je ustrezno. Spreminjanje pretoka po času ponazarja rumena krivulja. Vidimo, da je ventil odprt in da je stabilen ter nima nihanj. Ko pa se tlak zmanjša, lahko opazimo, da pretok pada počasi do tlaka, ki je precej nižji od nastavljenega in šele potem (po približno 5 sekundah) sledi zaprtje ventila. Kot je bilo že prej rečeno, to ni sprejemljiva karakteristika varnostnega ventila, saj si pri varovanju sistema želimo, da se v njem vzdržuje tlak, ne da kapljevina uhaja skozi varnostni ventil.



Slika 9 : Prvi preizkusi in le delno pravilno delovanje ventila [7]



Slika 11: Razmerje površin na glavnem batu [7]

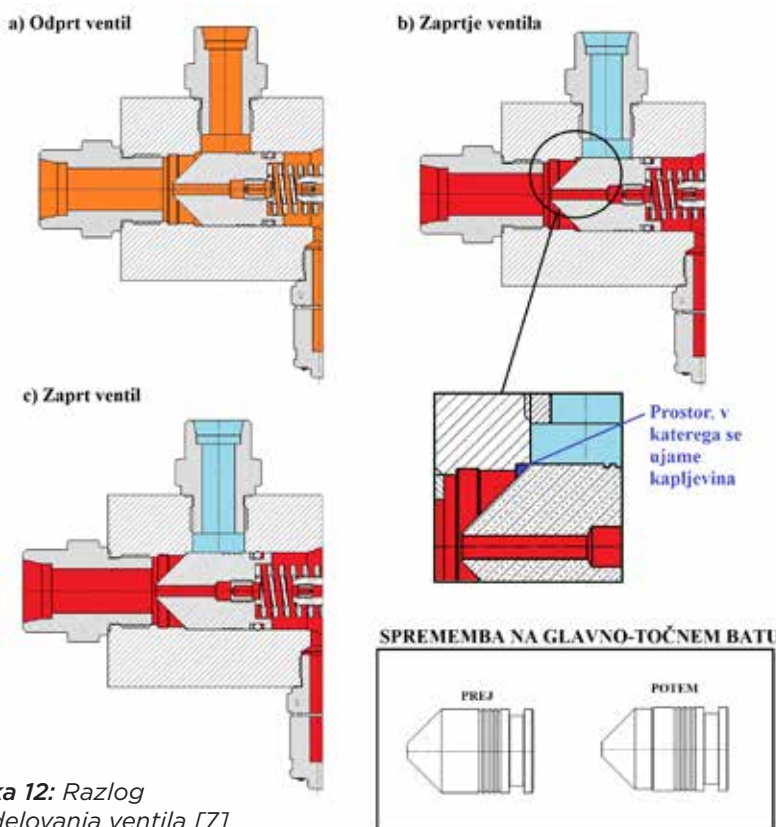


Slika 10 : Preizkus pri nižjem pretoku in neustrezno delovanje [7]

4.4 Razlogi za nepravilno delovanje ventila

Po prvih preizkusih smo želeli odkriti, v čem je težava, da se ventil ne zapira pravilno. Možnosti za neustrezno delovanje je več. Prva izmed njih je bila ta, da imamo ob odprtju ventila preveliko tokovno silo, ki onemogoča, da bi se ventil zaprl. Zato smo naredili še nekaj preizkusov pri nižjih pretokih (slika 10), ki so pokazali, da je tudi ob zmanjšani tokovni sili (zmanjšanem nastavitvenem tlaku) delovanje še vedno neustrezno, zato smo ta razlog ovrgli.

Naslednji možni razlog za nedelovanje je bil ta, da je bilo v ventilu premajhno razmerje površin na sprednji in zadnji strani glavnega bata (slika 11). Razlog bi lahko bil, da zaradi majhnega razmerja ob zaprtju ob prisotnosti dodatnih sil zaradi toka nimamo dovolj velike sile, ki bi nudila vztrajnost za zaprtje ventila. V ta namen smo zato razstavili serijski dvostopenjski varnostni ventil za vodo in odkrili, da je to razmerje še bistveno manjše, zato smo tudi to možnost ovrgli. Zadnja ugotovljena možnost za nedelovanje je bila ta, da se kapljevina ob primeru zaprtja ujame v prostor, označen na sliki 12.



Slika 12: Razlog nedelovanja ventila [7]

Tej se zaradi nezmožnosti iztoka poveča tlak, kar privede do tega, da se ventil zapira počasi in da nimamo pravilnega zaprtja. V ta namen smo izdelali izboljšavo na glavnem točnem batu, da smo se znebili omenjenega kolobarja stega prostorčka (slika 12).

4.5 Novi preizkusi

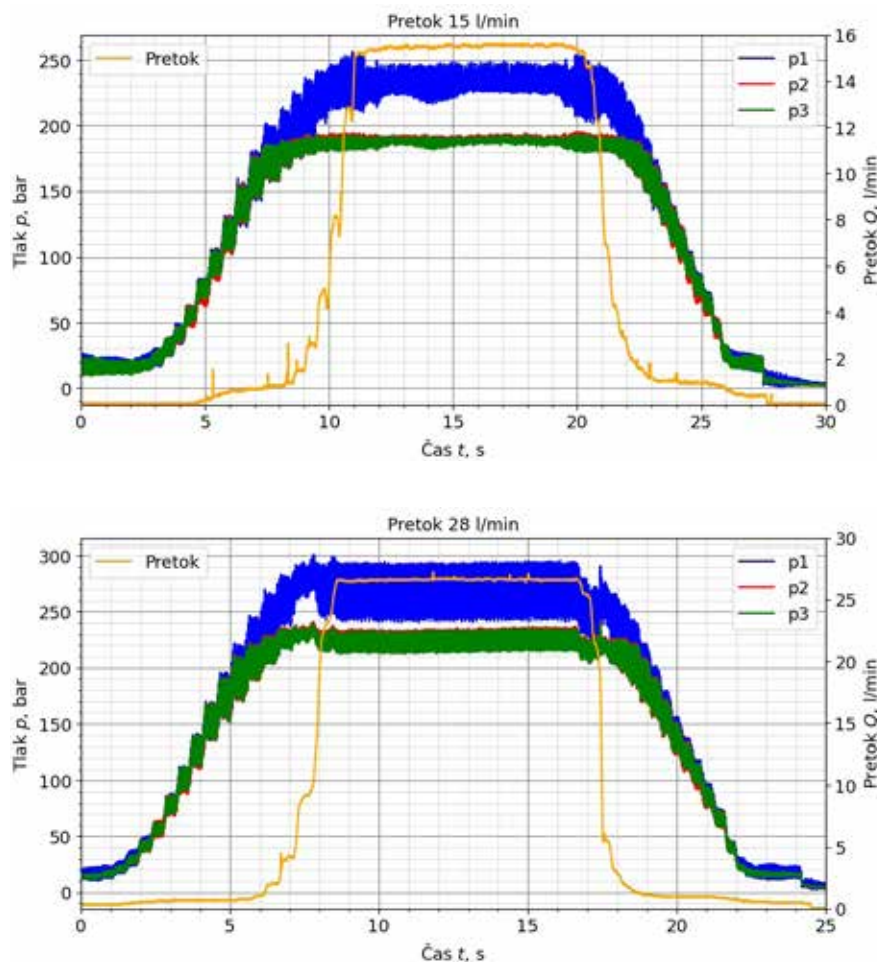
Po predelavi bata smo naredili nove preizkuse na obravnavanem dvostopenjskem varnostnem ventilu. Ti so pokazali, da je zdaj delovanje ventila ustrezno tako pri nižjih kot pri višjih pretokih

(slika 13). Sicer še vedno ostaja manjša histereza med odprtjem in zaprtjem, vendar je ta izrazito manjša in skorajda ne vpliva na delovanje ventila. Ta majhna zakasnitev (1–2 s) zapiranja iztoka iz varnostnega ventila pa nastane zaradi uporabe tesnila na glavnem batu.

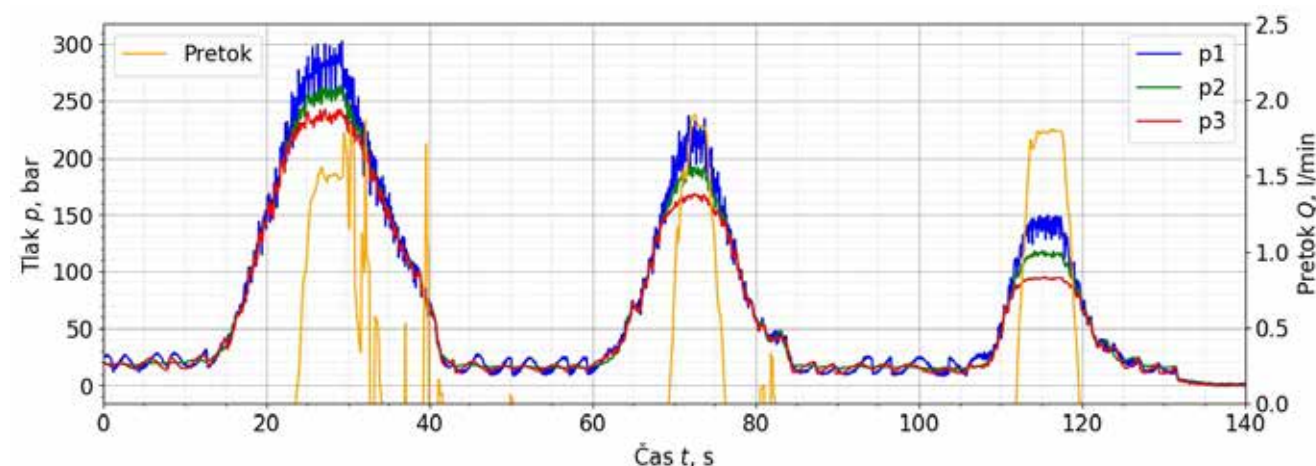
Poleg tega smo priredili začetno preizkuševališče, in sicer smo merilnik pretoka postavili na izstop s krmilnega bata, da smo preverili še to, kakšno je puščanje ventila skozi krmilni del (slika 14). Pri tem smo ugotovili, da je puščanje minimalno in da je delovanje krmilnega dela ustrezno.

5 Zaključek

Kot je v prispevku prikazano, smo razvili delujoč dvostopenjski varnostni ventil za vodo. Preizkušen je bil pri tlakih od 50 bar do 300 bar s pretoki vode od 8 l/min do 28 l/min. S preizkusi smo ugotovili, da je njegovo puščanje majhno in da je tudi tlačno nihanje zelo majhno. Pri preizkusih smo prav tako ugotovili, da je za pravilno delovanje ventila že najmanjša napaka v zasnovi lahko ključna. To napako smo med iskanjem razlogov tudi odkrili in odpravili. Tako lahko zaključimo, da je možno vodo uporabiti kot nadomestno trajno »zeleno« kapljevino namesto hidravličnega olja, vendar je potrebno na novo razviti in izdelati večino kompo-



Slika 13 : Ustrezno delovanje ventila [7] 2/3 strani



Slika 14 : Delovanje krmilnega dela dvostopenjskega tlačnega ventila [7]

nent. Za nadaljnje delo na področju vodne hidravlike (PKH) zato predlagamo razvoj ostalih manjkajočih komponent.

Literatura

- [1] E. Trostman: Water Hydraulics Control Technology, Tehnical University of Denmark, Denmark, 1995.
- [2] F. Majdič, J. Pezdirnik, in M. Kalin: Voda kot medij v pogonsko-krmilni hidravliki, Ljubljana, 2006.
- [3] Danfoss d.o.o: Pressure operated water valve, types WVFX and WVS, Danfos d. o. o, Ljubljana, 2021.
- [4] X. Luo, X. He, S. Cao, and X. Ba: Theoretical and experimental analysis of a one-stage water hydraulic relief valve with a one-way damper, Journal of Pressure Vessel Technology, Transactions of the ASME, China, 2013.
- [5] D. Alif: Razvoj dvostopenjskega vodno-hidravličnega tlačnega omejitelne ventila: magistrsko delo, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2017.
- [6] J. Humar: Razvoj dvostopenjskega vodno-hidravličnega varnostnega ventila: diplomsko delo, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2020.
- [7] J. Pugelj: Rekonstrukcija dvostopenjskega vodotlačnega varnostnega ventila: diplomsko delo, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2024.

Reconstruction of a two-stage hydraulic pressure relief valve

Abstract:

Environmental policy has recently moved towards sustainable development in all areas. Therefore, efforts are being made to find sustainable solutions in hydraulics. One of these solutions is the use of water instead of hydraulic oil in hydraulics (power control hydraulics – PCH). However, since the use of water in water hydraulics (water PCH) is very little known to the public and only a few components for the successful use of water in water hydraulics (PCH) are available on the market, we have replicated an inadequately functioning two-stage safety valve for this purpose. The article describes the development, manufacture, numerical calculation and testing of a two-stage pressure relief valve designed for pressures up to 300 bar and flows up to 28 l/min for the water PCH sector.

Keywords:

two-stage pressure relief valve, water hydraulics, testing, development

Hidravlična olja

srce hidravličnih sistemov



Olma d.o.o., Poljska pot 2, 1000 Ljubljana,
tel.: (01) 58 73 600, faks: 54 63 200,
e-pošta: order@olma.si, <http://www.olma.si>

Quaker Houghton Forward Together **MOTUL** TECH Baraldi **tribo-chemie** **setral** **SLOVENOIL** **STORM**

OLMA
www.olma.si