



Srednja šola
Slovenska Bistrica

SREDNJA ŠOLA SLOVENSKA BISTRICA

Mešalni ventil iz materiala ABS in merjenje prehodnega pojava pri kovinskem mešalnem ventilu

Tehnika ali tehnologija

Raziskovalna naloga

Avtor: Filip Rap

Mentor: mag. Marko Žigart

Jezikovni pregled: mag. Gregor Artnik

Slovenska Bistrica, marec 2023

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem vsem, ki so tako ali drugače pomagali pri nastanku tega raziskovalnega dela, predvsem pa mentorju magistru Marku Žigartu in magistru Gregorju Arniku za jezikovni pregled raziskovalnega dela.

KAZALO VSEBINE

POVZETEK	5
ABSTRACT	6
1 UVOD	7
2 TEORETIČNO OZADJE	8
2.1 Hidromehanika in hidravlika	8
2.2 Kavitacija	9
2.3 Mešalni ventili	10
2.4 Temperatura in toplota	12
3 RAZISKOVALNI DEL	13
3.1 Raziskovalne metode	13
3.1.1 Namen raziskave	13
3.1.2 Cilji raziskave	13
3.1.3 Metode dela	13
3.1.4 Potek dela	13
4 REZULTATI	15
4.1 Prva faza raziskave – načrtovanje, modeliranje in izdelava mešalnega ventila iz materiala ABS	15
4.2 Druga faza raziskave – preverjanje pravilnosti in uporabnosti delovanja izdelanega mešalnega ventila	19
4.3 Tretja faza raziskave – raziskovanje konsistentnosti kovinskega mešalnega ventila	22
5 RAZPRAVA	27
6 ZAKLJUČEK	30
7 VIRI IN LITERATURA	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Nastanek turbulentnega toka (Salmun, 2009).....	9
Slika 2: Primerjava med kavitacijo in vrenjem (Širok, 2006)	9
Slika 3: Primerjava pipe in ventila (Wedam, 1991)	10
Slika 4: Delovanje mešalnega ventila (Waters, 2018).....	12
Slika 5: Komponente mešalnega ventila v programu CAD (Rap, 2022).....	15
Slika 6: Tiskanje mešalnega ventila (Rap, 2022).....	16
Slika 7: Polovica mešalnega ventila (Rap, 2022).....	17
Slika 8: Drsni (Rap, 2022)	18
Slika 9: Dokončani mešalni ventil iz materiala ABS (Rap, 2022)	19
Slika 10: Skica delovanja mešalnega ventila (Rap, 2023)	19
Slika 11: Testiranje izdelanega mešalnega ventila (Rap, 2023)	21
Slika 12: Izvajanje poskusa na pravem mešalnem ventilu (Rap, 2023)	22

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Simulacija spreminjanja temperature v ABS-ventilu	20
Graf 2: Spreminjanje temperature v ABS-ventilu	21
Graf 3: Temperatura v odvisnosti od časa pri kovinskem mešalnem ventilu	23
Graf 4: Primerjava nihanja pri spremembi temperature navzgor.....	23
Graf 5: Primerjava nihanja pri spremembi temperature navzdol	24
Graf 6: Primerjava nihanja pri skrajni spremembi temperature navzdol	24
Graf 7: Amplituda največjega nihaja v odvisnosti od spremembe izhodne temperature vode	25
Graf 8: Primerjava nihanja pri skrajni spremembi temperature navzgor	26

POVZETEK

V raziskovalni nalogi z naslovom *Mešalni ventil iz materiala ABS in merjenje prehodnega pojava pri kovinskem mešalnem ventilu* sem načrtoval, modeliral in 3D natisnil mešalni ventil iz materiala ABS, preveril pravilnost njegovega delovanja, tako da sem ga primerjal z delovanjem industrijsko izdelanega kovinskega mešalnega ventila. Pravilnost delovanja sem preverjal tako, da sem pripravil simulacijo delovanja mešalnega ventila ob linearnem spreminjanju temperature izhodne vode iz ventila in rezultate poskusa primerjal z omenjeno simulacijo. Izkazalo se je, da izdelani ventil deluje pravilno. Mešalni ventil učinkovito prenaša tlačne obremenitve do enega bara, kar pomeni, da ni primeren za vstavitev v vodovodno omrežje, v katerem so tlaki višji. V nadaljnji fazi raziskovanja sem ugotavljal, zakaj pri kovinskem mešalnem ventilu prihaja do dušenih nihanj temperature izhodne vode, ko spremenimo lego ventila, do nihanj pa ne pride, kadar ventil postavimo v lego za dotok vroče vode, dotok mrzle pa zapremo. Izkaže se, da pride v tem primeru do logaritemskega segrevanja izhodne vode. Podrobno sem raziskal in razčlenil prehodni pojav pri spremembi temperature izhodne vode pri kovinskem mešalnem ventilu ter definiral dušeno nihanje in logaritemsko segrevanje. Ugotovil sem, da se amplitude nastalega nihanja ob spremembi izhodne temperature vode iz mešalnega ventila z večanjem spremembe temperature izhodne vode manjšajo.

Ključne besede: mešalni ventil, 3D-modeliranje, material ABS

ABSTRACT

In the research paper entitled Mixing valve made of ABS material and the measurement of the transient phenomenon in a metal mixing valve, I planned, modeled and 3D printed a mixing valve made of ABS material, examined the precision of its performance by comparing it with the operation of an industrially produced metal mixing valve. I checked the performance correctness by preparing a simulation of the operation of the mixing valve with a linear change in the temperature of the outlet water from the valve and comparing the results of the experiment with the aforementioned simulation. It turned out that the manufactured valve works correctly. The mixing valve effectively transfers pressure loads up to one bar, which means that it is not suitable for insertion into a water supply network in which pressures are higher. In the further phase of the research, I found out why with a metal mixing valve there are damped fluctuations in the output water temperature when we change the position of the valve, but fluctuations do not occur when the valve is placed in the position for the hot water supply and the cold supply is closed. It turns out that in this case logarithmic heating of the outlet water occurs. I have investigated and analyzed in detail the transient phenomenon in the change of outlet water temperature in a metal mixing valve and defined damped oscillation and logarithmic heating. I found that the amplitudes of the resulting oscillations when the water outlet temperature from the mixing valve changes, decrease as the temperature of the outlet water increases.

Key words: mixing valve, 3D-modeling, ABS material

1 UVOD

Regulacije temperature tekočine predstavljajo nepogrešljiv del v vsakdanu človeka in industrije. Človek se z njimi sreča pravzaprav vsakič, ko odpre pipo. Med nastavljanjem temperature na temperaturni pipi so se mi porodila vprašanja o tem, kako pravzaprav mešalni ventil v temperaturni armaturi deluje in kako natančna in konsistentna temperaturna pipa sploh je. Opazil sem namreč, da pri nenadnem premiku gredi na temperaturni pipi temperatura izhodne vode nekoliko zaniha. Ravno ta pojav je bil vodilo za izdelavo raziskovalnega dela. Nadalje sem se začel podrobneje zanimati za mešalne ventile. Porodilo se mi je še vprašanje, ali je moč izdelati mešalni ventil tudi iz cenejših surovin, kot je npr. plastika. Razmišljal sem o tehnologiji 3D-tiska.

Pred začetkom raziskovanja sem pregledal teorijo s področja raziskovanja. Obdelal sem področja hidromehanike in hidravlike, kavitacije, mešalnih ventilov ter temperature in toplote. Teoretični del je postavil izhodišče za zasnovo raziskave v nadaljevanju. Po pregledu teorije sem si zastavili načrt raziskovanja v treh fazah.

Prva faza je bila namenjena načrtovanju, modeliranju in izdelavi delujočega mešalnega ventila, ki sem ga izdelal iz materiala ABS. Druga faza je bila ugotavljanje pravilnosti delovanja izdelanega mešalnega ventila, tako da sem primerjal delovanje izdelanega mešalnega ventila s teoretičnimi izračuni, ki sem jih pripravil o njegovem delovanju. V drugi fazi sem tako ugotavljal, ali izdelani mešalni ventil deluje pravilno ter kako je uporaben. V tretji fazi sem raziskoval fenomen nekonsistentnosti ventilov, ki sem ga prvič opazil že v vsakdanjem življenju. Kot nekonsistentnost ventila sem obravnaval nastanek nihanja ob spremembi temperature izhodne vode iz ventila. Nekonsistentnost mešalnega ventila sem podrobneje raziskal. Raziskave so potekale na kovinskem mešalnem ventilu, saj je ta uporabniku bolj prijazen kakor mešalni ventil iz materiala ABS. Potek raziskovanja in izračuni so prikazani v poglavju Rezultati. Na koncu sem rezultate analiziral v poglavju Razprava.

Na področju, ki ga raziskujem, že obstajajo določene študije (Bartolj, Čelik in Majdič, 2022), vendar te zajemajo zgolj izdelavo ventilov s tehnologijo 3D-tiska ter tiskanjem kovine, medtem ko sem sam tiskal plastiko ABS. Na študije, ki bi se ukvarjale z raziskovanjem mešalnih ventilov iz materiala ABS in z nekonsistentnostjo ventilov, nisem naletel.

2 TEORETIČNO OZADJE

2.1 Hidromehanika in hidravlika

Hidromehanika sodi na področje mehanike zveznih teles, ki opisuje obnašanje kapljevin, plinov in trdnih teles pod vplivom zunanjih motenj. Mehanika zveznih teles obravnava fizikalne lastnosti snovi in pri tem upošteva veljavo osnovnih principov, kot so: ohranitev mase, gibalne in vrtilne količine ter ohranitev energije (Jelc, 2010). Tisti del mehanike zveznih teles, ki obravnava zakone pri mirovanju in gibanju kapljevine, imenujemo hidromehanika ali mehanika tekočin (Stropnik, 1991). Mehaniko tekočin nadalje delimo na statiko, kinematiko in dinamiko. Statika proučuje tekočine v mirovanju, kinematika gibanje delcev tekočine v prostoru in času, pri čemer niso pomembne zunanje sile, dinamika pa tekočine v gibanju. Podrobneje dinamika tekočin obravnava gibanje tekočin v povezavi s silami, ki so to gibanje povzročile. Probleme v hidrodinamiki podamo z osnovnimi zakoni fizike, matematični modeli so v obliki sistema enačb (Jelc, 2010).

Sočasno s hidrodinamiko se razvija tudi hidravlika, izhajajoč iz besed *hydor* (voda) in *aulos* (cev). Znanost o toku vode skozi cev se je sprva izvajala predvsem eksperimentalno, s številnimi poskusno pridobljenimi koeficienti. Kasneje se je z razvojem matematike in računalništva omogočil tudi teoretični del te znanosti (Stropnik, 1991).

Za potrebe raziskave je najbolj aktualno področje hidromehanike hidrodinamika. Slednja obravnava zakone pri gibanju tekočin oziroma pri pretakanju. Tok tekočin opišemo s tokovnicami. Če so tlačne in hitrostne razmere pri prerezu stalne, je tok stacionaren, v primeru nestalnih razmer pa nestacionaren. Ločujemo tudi med prisilnim in gravitacijskim gibanjem tekočine. Prisilno gibanje tekočine pomeni, da tekočino z napravami poganjamo po sistemu, medtem ko pri gravitacijskem teče zaradi višinskih razlik. Tekočine lahko pretakamo z vrtinci, brez vrtincev ali pulzno. Kadar se tekočina giblje tako, da so tokovnice vzporedne, je tok laminaren. V primeru, da se tokovnice medsebojno prepletajo, je tok turbulenten. Laminarni tok je lahko stacionaren ali nestacionaren, medtem ko je turbulentni vedno nestacionaren (Stropnik, 1991).

Vsako gibanje tekočine pri dovolj majhni hitrosti je laminarno in postane turbulentno, ko hitrost pretakanja doseže kritično hitrost. Kritično hitrost izračunamo po enačbi:

$$W_k = kD \quad [2.1]$$

V enačbi W_k pomeni kritično hitrost ter k brezdimenzijski koeficient, ki je enak za vse tekočine in za vse premere cevovoda D in znaša 2320. Koeficient k v hidrodinamiki imenujemo kritično Reynoldsovo število. Za različno opazovanje tekočin izračunamo dejansko Reynoldsovo število. V enačbi 2.2 je ν kinematična viskoznost in D premer cevovoda.

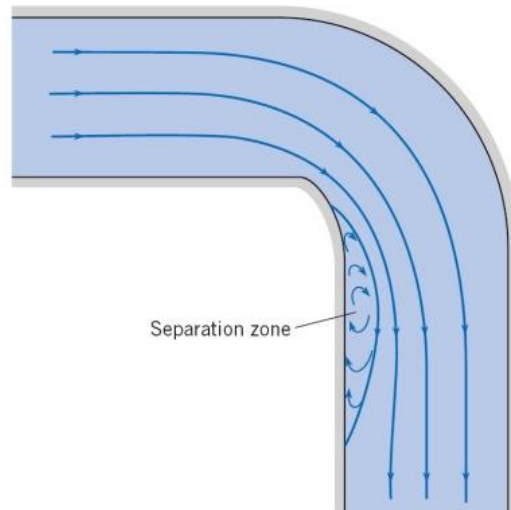
$$Re = \frac{W}{\nu} \quad [2.2]$$

Kadar je Reynoldsovo število manjše od 2320, je gibanje tekočine laminarno, kadar pa večje, pa turbulentno. Predstavljena enačba velja za napolnjene cevi, pri prerezih drugačnih oblik je treba vzeti nadomestni premer cevi, ki ga izračunamo na podlagi hidravličnega polmera (Stropnik, 1991).

Pomemben dejavnik pri nastajanju turbulentnega toka je oblika cevovoda. Zaradi neoptimalnih oblik cevovoda prihaja do nestacionarnosti in vrtinčenja tekočine. Nestacionarnost gibanja tekočine je odvisna od tlačnih razlik pri prerezu. Do tlačnih razlik najbolj rigorozno prihaja na nepravilnih delih cevovoda, kot so razširitve, zožitve, spremembe oblike, spoji, priklopi ipd. Tlačne razlike pomenijo razlike v tlaku v prerezu, ki največkrat nastanejo zaradi padca tlaka v neoptimalnih delih cevovoda. Padec tlaka zaradi neoptimalne oblike dela cevovoda opisuje enačba 2.3:

$$h_L = K \frac{v^2}{2g} \quad [2.3]$$

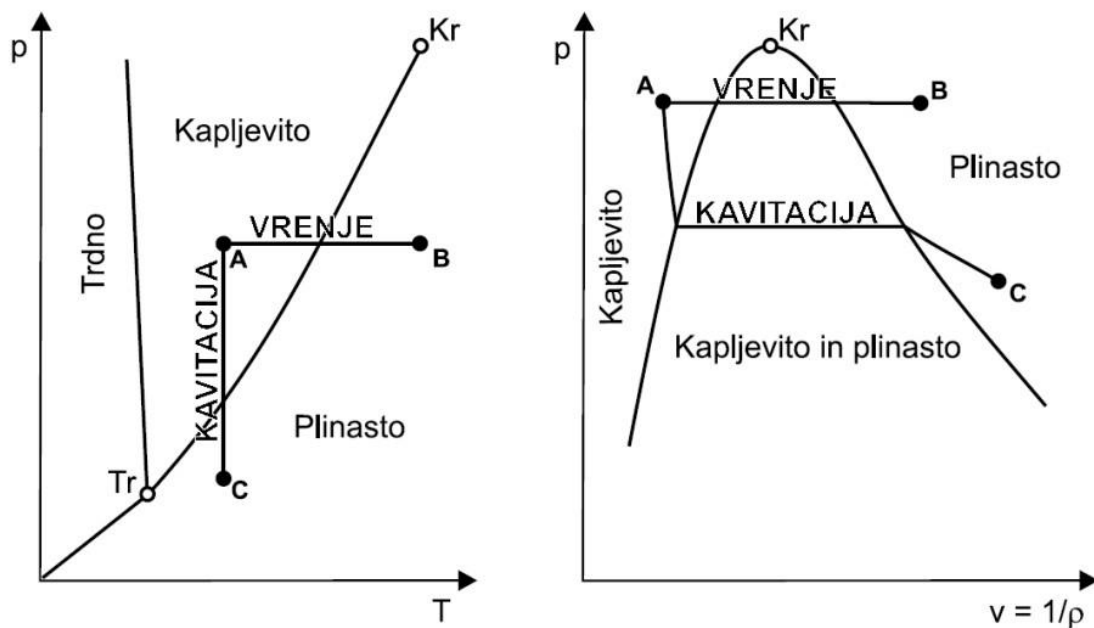
V enačbi h_L predstavlja padec tlaka in v hitrost pretoka. K je parameter, ki je odvisen od geometrije cevovoda. Za zaobljene oblike velja $K = 0,1$, medtem ko za ostre robove $K = 0,5$. Bolj kot je torej oblika cevovoda ostra, do večjih padcev tlaka prihaja. V območjih padcev tlaka prihaja do vrtninčenja tekočine in tako nastaja turbulentni tok (Salmun, 2009).



Slika 1: Nastanek turbulentnega toka (Salmun, 2009)

2.2 Kavitacija

Kavitacija opisuje pojav in aktivnost mehurčkov v tekočini. Opisuje pojav prehajanja tekočine iz kapljevitega stanja v parno in nazaj zaradi krajevnega zmanjšanja tlaka ob nespremenjeni temperaturi. Soroden pojav je vrenje, le da sta pri vrenju konstanten tlak in nekonstantna temperatura. Primerjavo med kavitacijo in vrenjem si lahko ogledamo v spodnjih diagramih (Širok idr., 2006).



Slika 2: Primerjava med kavitacijo in vrenjem (Širok, 2006)

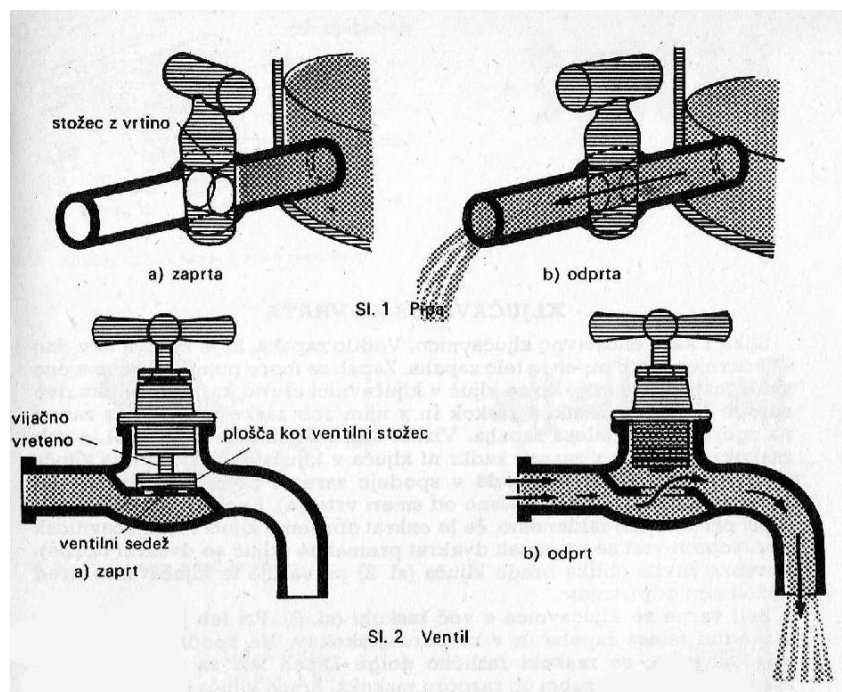
Tr in Kr sta kritični točki tekočin, A pa je začetno stanje tekočine (za vodo je to 20 °C in tlak 1 bar). Iz diagramov je razviden premik proti kavitaciji (točka C) ali proti vrenju (točka B).

Kavitacija je krožni proces, zato se po vzpostavitvi začetnih pogojev tekočina znova vrne v začetno stanje. Kavitacija in vrenje se kažeta kot izločanje pare in plinov v kapljevini v obliki mehurčkov. Pri tem je najbolj zanimiva zadnja faza razvoja kavitacijskega mehurčka. V tej fazi, fazi kolapsa oziroma eksplozije, se mehurček zaradi lokalnega povišanja tlaka sesede sam vase. Njegovo prostornino zasede okoliška kapljevina, kar privede do tlačnega vala, ki posredno ali neposredno poškoduje okoliško trdno površino (Širok idr., 2006).

Glede na nastanek ločimo več vrst kavitacije, vendar nas najbolj zanima hidrodinamična. Kavitacijo povzroča množica dejavnikov, kot so hitrost toka, temperatura prostora, lastnosti uporabljene tekočine, lastnosti toka idr. Pri hidrodinamični kavitaciji smo pozorni na geometrijo obtekajočega telesa. V raziskavi bomo uporabili gladek material in zanemarili napake zaradi hrapavosti površine. V okviru geometrije telesa tako gledamo samo oblikovanost telesa, ki mora biti oblikovano tako, da ohranja čim bolj laminaren tok. Turbulentni tok povzroča hitrejši padec srednje vrednosti tlaka pod kritično mejo in s tem hitrejši pojav kavitacije. Posledično nastane kavitacijska erozija, ki z erozijo materiala krajša življenjsko dobo sestavnim delom (Širok idr., 2006).

2.3 Mešalni ventili

Z zapornimi organi zapiramo in reguliramo cevovode tekočin, plinov in pare. Med slednje uvrščamo pipe, ventile in zasunke. Sedaj pa si bomo nekoliko natančneje ogledali pipe in ventile. Najbolj znani zaporni ventil je vodovodna pipa, ki pa tehnično sodi med ventile. Osnovna razlika med pipo in ventilom je namreč, da pipa omogoča zgolj dve stanji: pretočnost ali nepretočnost. Pri pipi je torej možen zgolj zasuk stožca za minimalno 90 stopinj (slika 3). Pri ventilu je mogoče pretok regulirati z vrtilnega ročaja ali ročnega kolesa. Pri ventilu voda vstopa skozi ventilni sedež in nato izteka nadalje skozi ventil (slika 3). Kadar želimo zmanjšati pretočni odpor, uporabimo ventil z direktnim pretokom (slika 3). V tem primeru sta vijčno vreteno in ventilni sedež nameščena poševno (Wedam, 1991).



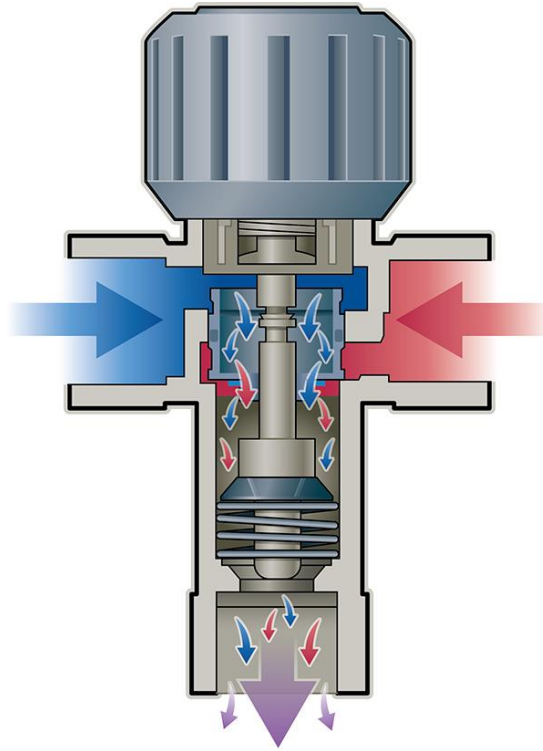
Slika 3: Primerjava pipe in ventila (Wedam, 1991)

V raziskavi nas bo zanimal predvsem termostatski mešalni ventil (TMV). Ta je vseprisoten v našem vsakdanu, ko si umivamo roke ali ko se prhamo. Njegova osnovna naloga je, da zmeša

vročo in hladno vodo tako, da zagotovi stalno želeno izhodno temperaturo vode. S tem preprečuje opekline in zagotavlja udobje ob uporabi. Izkaže se, da je mešalni ventil primeren tako v sestavih za vodovodno kot tudi za hidronske ogrevanje. Prav tako je zelo širok njegov spekter uporabe – od stanovanjske do gospodarske in institucionalne rabe. V stanovanjske in poslovne namene uporabljamo mešalne ventile velikosti priključkov od $\frac{3}{4}$ do 3 palcev. Ob različnih velikostih obstaja tudi več izvedenk mešalnega ventila. Mi se bomo posvetili tripotnemu mešalnemu ventilu, ki ima dva vhoda (enega za mrzlo vodo in enega za toplo vodo) ter izhod z vodo želene temperature (Waters, 2018).

V ogrevalnih sistemih obstajata dve možni vzdrževani višini temperature vroče vode. Po CSA (standard CAN/CSA B125-01) je najvišja dovoljena temperatura vroče vode 49 °C. Prednost tega standarda je, da voda s tako temperaturo povzroča nizko tveganje za opekline. Slabost upoštevanja tega standarda je, da je voda v razponu od 20 °C do 49 °C optimalno okolje za razmnoževanje legionele. Te bakterije povzročajo legionarsko bolezen, vrsto pljučnice, ki se lahko konča tudi s smrtnim izidom. Ohranjanje vode v intervalu med 55 °C in 60 °C velja za ukrep, ki preprečuje razmnoževanje teh bakterij. Drugi način vzdrževanja višine temperature vroče vode je vzdrževanje vroče vode neprekinjeno nad 60 °C. Na ta način preprečimo razmnoževanje bakterij legionele. Po drugi strani pa lahko stik vode s tako temperaturo v petih sekundah pri odraslem človeku in treh sekundah pri otroku do petega leta starosti povzroči opekline tretje stopnje. Težavo, kateri sistem izbrati za vzdrževanje vroče vode, rešujejo mešalni ventili. Omogočajo nam, da lahko vodo vzdržujemo nad 60 °C in ob tem ne tvegamo opeklin, saj vodo v mešalnem ventilu zmešamo z mrzlo. Zadrževanje vroče vode nad 60 °C onemogoča razmnoževanje legionele in tako mešalni ventil postane nepogrešljivi člen v ogrevalnih sistemih (Waters, 2018).

Poglejmo si zgradbo mešalnega ventila. Obstajajo tri glavne tehnologije izdelave mešalnega ventila: tehnologija voščenih elementov, bikovinskega traku in tehnologija napolnitve ventila s tekočino. Najpogostejše se uporablja tehnologija voščenih elementov (slika 4), saj ta omogoča visoko natančnost, hitro odzivnost in dolgo življenjsko dobo. Osnovne komponente mešalnega ventila so: vreteno ali gred, toplotni element in povratna vzmet. Toplotni element je pritrjen na gred in se z vrtenjem gredi pomika gor in dol ter s tem odpira in zapira vrata za vstop mrzle in vroče vode. Pri tem povratna vzmet zagotavlja vzvratno silo, ki deluje proti vrtilnemu ročaju in s tem pomaga fiksirati toplotni element. Tak mešalni ventil se ob spremembi temperature vroče ali hladne vode prilagodi in vzdržuje temperaturo izhodne vode vedno enako. Določeni mešalni ventili premorejo tudi varnostno funkcijo izklopa ventila v primeru, da zmanjka vroče ali mrzle vode (Waters, 2018).



Slika 4: Delovanje mešalnega ventila (Waters, 2018)

2.4 Temperatura in toplota

Vsako telo v naravi ima lastno notranjo energijo. Pri segrevanju telesa se notranja energija povečuje, pri ohlajanju pa zmanjšuje. Eden izmed načinov segrevanja telesa je toplotni stik, ko sta telesi staknjeni in toplota prehaja s telesa z višjo temperaturo na telo z nižjo temperaturo. To se dogaja, dokler se temperaturi ne izenačita. Temperaturi, pri kateri pride do toplotnega ravnovesja, pravimo zmesna temperatura. Notranji energiji telesa, ki ob dotiku brez dela preide s toplejšega na hladnejše telo, rečemo toplota. Toploto označimo z oznako Q in ima enoto džul [J]. V toplotno izoliranem sistemu zato velja energijski zakon (Godec, 2004).

Notranja energija telesa je odvisna od stanja in temperature telesa. Notranja energija telesa je linearno odvisna od temperature telesa. Kot koeficient odvisnosti uvedemo specifično toploto posamezne snovi, ki nam pove, koliko energije je potrebne, da 1 kilogram te snovi segrejemo za 1 °C. Če omenimo zgolj specifično toploto vode, ta znaša 4200 J/kgK. Pri homogenih snoveh je notranja energija sorazmerna tudi z maso snovi. Energijo oz. toploto, ki jo moramo dovesti za segrevanje snovi v enoti J, izračunamo po [2.4], pri čemer je m masa telesa [kg], c specifična toplota telesa [J/kgK] in ΔT sprememba temperature [°C] (Godec, 2004).

$$Q = mc\Delta T \quad [2.5]$$

3 RAZISKOVALNI DEL

3.1 Raziskovalne metode

3.1.1 Namen raziskave

Namen raziskave je bil izdelati mešalni ventil iz materiala ABS s tehnologijo 3D-tiska, preveriti pravilnost njegovega delovanja in ugotoviti konsistentnost kovinskega mešalnega ventila.

3.1.2 Cilji raziskave

Cilj raziskave je bil uporabiti izdelani mešalni ventil iz materiala ABS (v raziskavi) in potrditi pravilnost njegovega delovanja ter določiti temperaturna nihanja pri kovinskem mešalnem ventilu.

3.1.3 Metode dela

V raziskovalni nalogi sem pri pisanju teoretičnega dela uporabil metodo dela z viri. Nato sem uporabil metodo praktičnega dela pri načrtovanju, modeliranju in izdelavi mešalnega ventila ter metodo eksperimentalnega dela pri testiranju mešalnega ventila iz materiala ABS in pri ugotavljanju konsistentnosti kovinskega mešalnega ventila. Ob koncu sem uporabil analitično in sintetično metodo dela, ko sem rezultate analiziral.

Vse omenjene metode skupaj sodijo v metodo dela, imenovano *top-down*. Ta tehnika dela predpisuje načelo raziskovanja, pri katerem raziskujemo in razvijamo izdelke, ki imajo vnaprej določeno funkcijo in princip delovanja. Izhajamo od kompozicije do elementa. Celotno raziskavo sem sledili tej metodi, saj sem začel z idejo kovinskega mešalnega ventila, po katerem sem izdelal svojega in na njem ter na izdelanem mešalnem ventilu izvajal meritve in jih analiziral. Vse delo je po procesih R & D potekalo v okviru aplikativno-raziskovalne zanke.

3.1.4 Potek dela

Raziskovanje sem pričel z zbiranjem teoretičnih podatkov ter z zasnovo poteka raziskovanja. V nadaljevanju sem se lotil raziskovanja, ki je potekalo v treh (3) fazah:

1. načrtovanje, modeliranje in izdelava mešalnega ventila iz materiala ABS,
2. preverjanje pravilnosti in uporabnosti delovanja izdelanega mešalnega ventila,
3. raziskovanje konsistentnosti kovinskega mešalnega ventila.

Prva faza raziskovanja se je pričela z zasnovo za izdelavo mešalnega ventila. Ideja za izdelavo mešalnega ventila v osnovi izhaja iz teoretičnega ozadja, v katerem sem razdelal zgradbo in delovanje mešalnega ventila. Na podlagi teh teoretičnih podatkov sem nato načrtoval svoj mešalni ventil. Mešalni ventil, ki sem ga sam izdelal, je sicer nekoliko poenostavljena verzija kovinskega mešalnega ventila. Načrtovanje ventila sem začel z uvodno skico, nadaljeval pa z modeliranjem ventila v programu SolidWorks. V omenjenem programu sem zasnoval vse sestavne dele mešalnega ventila in jih shranil v formatu STL. Modele sem nato v programu MakerBot CloudPrint sprogramiral tako, da sem jih lahko izdelal s 3D-tiskalnikom MakerBot Method X. Modele sem prototipno natisnil in jih še popravil ter prilagodil, da sem dosegel ustrezno funkcionalnost celotnega sestava. Dokončno prilagojeni mešalni ventil sem natisnil v natančnejšem načinu tiskanja.

V drugi fazi sem svoj mešalni ventil priklopil na vodovodno omrežje in začel na njem opravljati raziskave. Le-te sem zaradi previdnosti izvajal pri majhnem vodnem pretoku. Pravilnost delovanja izdelanega mešalnega ventila sem preveril tako, da sem enakomerno spreminjal stanje mešalnega ventila (enakomerno pomikanje drsnika) in opazoval spreminjanje

temperature izhodne vode. Nato sem primerjal realne rezultate s teoretičnimi izračuni, ki sem jih pripravil vnaprej, in sodil o pravilnem delovanju ventila. Na koncu sem z dvigovanjem vodnega pretoka preverjal še uporabnost mešalnega ventila. Meritve temperature sem opravljal z opremo Vernier LabPro in pripadajočimi termometri Vernier Temperature Probe, ki delujejo preko programskega vmesnika Logger Pro.

V tretji fazi sem raziskoval konsistentnost pravega mešalnega ventila oz. prehodni pojav, ki se dogaja pri premikih gredi pri mešalnem ventilu. Raziskovanja tega pojava sem se lotil z merjenjem temperature v odvisnosti od časa, ko sem ventilu spreminjal temperaturo izhodne vode. Spremembe temperature izhodne vode sem izvajal koračno in ciklično, pri čemer sem izvedel tri (3) cikle merjenja.

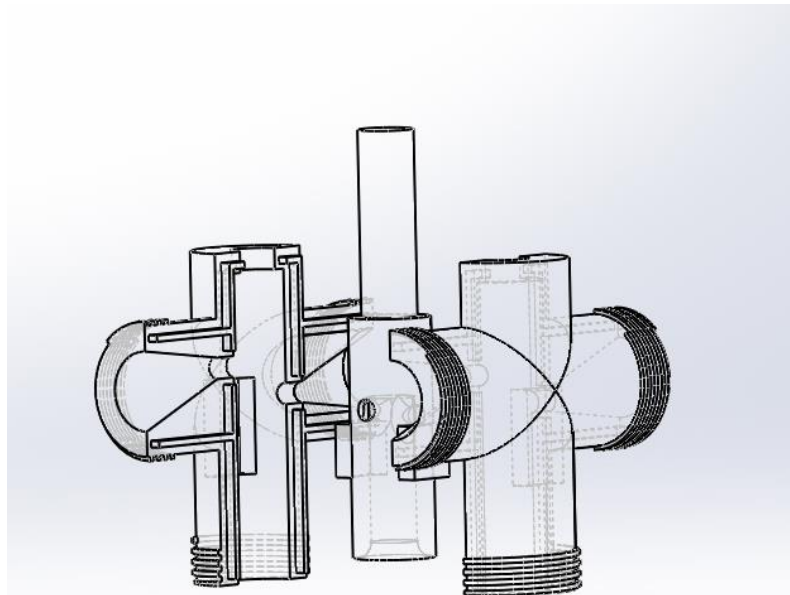
V sklepnem delu raziskovanja sem rezultate računalniško analiziral. Pri izračunih sem uporabljal program Octave, grafe pa sem izrisal s programom Gnuplot.

4 REZULTATI

4.1 Prva faza raziskave – načrtovanje, modeliranje in izdelava mešalnega ventila iz materiala ABS

Model mešalnega ventila sem načrtoval in izrisal v programu SolidWorks. Načrt za sestavne dele sem idejno črpal iz teoretičnega ozadja, v katerem sem opisoval sestavo kovinskega mešalnega ventila. Načrtovanje tovrstnega mešalnega ventila seveda zahteva določene prilagoditve že zaradi spremenjenega materiala. Kovinski mešalni ventil je izdelan iz kovinskih zlitin, medtem ko je mešalni ventil, ki sem ga izdelal sam, iz materiala ABS. Konkretno to vpliva na debelino sten, ki sem jih sam izdelal bistveno debelejše (debeline 5 mm), kot so na kovinskem mešanem ventilu. Sprememba materiala je prinesla nekatere prednosti – ključna je možnost zmanjšanja kavitacije. Odločil sem se, da bom v zadnjem delu modeliranja model dodal tako, da bom v skladu s teorijo minimiziral kavitacijo. To sem dosegel tako, da sem vse ostre robove in prehode (razširitve in zožitve vodnega toka) maksimalno zaokrožil oz. naredil »mehke« prehode. Izbira drugega materiala ima vpliv na lastnosti izdelka. Trdnostne lastnosti sem zagotovil s povečanjem debelin sten, termične lastnosti so se v raziskovalnem intervalu izkazale za zadostne, gotovo pa ima mešalni ABS-ventil slabšo toplotno prevodnost kakor kovinski. Mešalni ventil iz materiala ABS je lažji od kovinskega, ostalih pomembnih razlik v lastnostih modela nisem prepoznal.

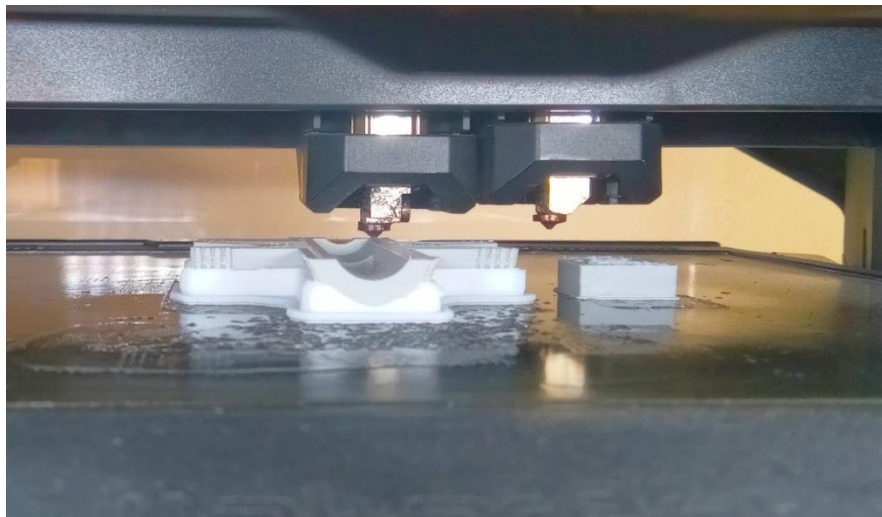
Načrtovanje ventila sem naprej idejno zasnoval na list papirja, nato pa nadaljeval v programu CAD. Predvidenih je bilo nekaj poenostavitev za lažjo izdelavo modela, tudi zaradi nepotrebe po vseh funkcijah, ki jih že izdelani ventili imajo. Zasnova je predvidevala izdelavo mešalnega ventila, ki ima dva vhoda (za mrzlo in vročo vodo), en izhod, drsnik v notranjosti, ki deluje tudi kot mešalo, in vreteno oz. ročko, s katero tak ventil tudi nastavljamo. Taka zasnova zahteva, da drsnik, ki bo mešal tekočino, vstavimo v notranjost ventila, zato sem moral ventil zasnovati iz dveh polovic, ki sem ju kasneje zlepil. Med polovici sem vstavil drsnik, ki je hkrati nudil tudi možnost nastavljanja ventila. Poglejmo si поближе, kako so izgledale komponente mešalnega ventila.



Slika 5: Komponente mešalnega ventila v programu CAD (Rap, 2022)

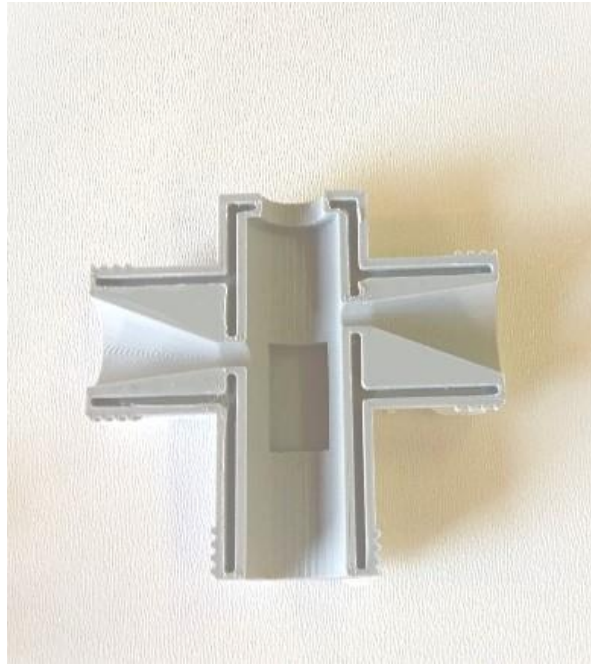
Za metodo 3D-tiska sem se odločil, saj gre za sodobno ambiciozno metodo, ki omogoča izdelavo prototipov in zahtevnejših detajlnih izdelkov. Pri izdelavi takega ventila gre pravzaprav za prototipski izdelek in hkrati tudi izjemno zahteven izdelek za izdelavo z drugačnimi metodami. Izdelava s 3D-rezkanjem bi bila zelo zahtevna, smiselno pa se zdi tovrsten izdelek izdelati z vlivanjem plastike, vendar je to namenjeno večjim serijam izdelkov. Tehnologija 3D-tiska v zadnjih letih postaja ustaljena praksa pri tovrstnih projektih. Material ABS je vrsta plastike, ki sem jo izbral zaradi lastnosti, njene uveljavljenosti v svetu 3D-tiska, hkrati pa omogoča tudi tisk s podpornim materialom. Ključna lastnost v prid ABS je toplotna odpornost, ki je precej višja kot pri primerljivih PLA in *nylon* materialih. Uveljavljenost ABS v svetu 3D-tiska mi je omogočila relativno udoben tisk z uveljavljenimi nastavitvami in pričakovano kakovostjo tiska. Zahtevnost modela je predvidevala tisk s podpornim materialom, zato sem uporabil kombinacijo ABS in podpornega materiala HiPS.

Vse kose sem natisnil s tiskalnikom MakerBot Method X iz materiala ABS in podpornega materiala HiPS. Nastavitve tiska sem izvedel s programom MakerBot CloudPrint. Za tisk sem uporabil priporočene nastavitve in ogrevalno komoro; spremembe so bile le povečana gostota tiska ABS na 60 %, povečanje števila sten na 5 plasti in zmanjšana višina plasti na 0,1 mm. Orientacija modela je bila v domeni programa. Po tisku sem podpore v grobem odstranil ročno, dokončno pa s topilom *Limonen*. Tiskanje modelov je prikazano na spodnji sliki.



Slika 6: Tiskanje mešalnega ventila (Rap, 2022)

Tiskal sem vsako komponento posebej, saj sem se tako izognil pretirani razsežnosti tiskanine in posledično možnim napakam in nenatančnostim pri tiskanju. Najprej sem natisnil obe polovici ventila. Ena izmed polovic ventila je prikazana na sliki 6. Na omejeni sliki se lepo vidi delo, ki sem ga opravil v zadnji fazi modeliranja ventila. Le-ta je bila namenjena minimiziranju kavitacije. V tem koraku sem zaokrožil oblike, v katerih bi se kavitacija utegnila pojaviti. Na tem modelu je to vidno pri prehodu iz vhodov v notranjost ventila do zunanjega vhoda ventila, kjer se ventil priključi na vodovodno omrežje.



Slika 7: Polovica mešalnega ventila (Rap, 2022)

Na sliki 7 je prikazana polovica zunanjšega dela mešalnega ventila. Mešalni ventil povezuje vhoda in izhod kot krožni izvlek v obliki črke T. Na obeh vseh in izhodu je navoj s korakom 2 mm, ki služi za pritrditev cevi na ventil. Na stičnih površinah, kjer se združita obe polovici, je pripravljen utor, kamor se iz druge polovice poda izvlečeni del. Tako sta zagotovljeni pozicija obeh polovic in trdnost ventila. Iz obeh vhodov vodita v osrednji del dve manjši odprtini (vidni sta polovici), ki se ne prekrivata. Skozi ti odprtini pritečeta v osrednji del vroča in mrzla voda, in sicer glede na to, kako ju drsnik regulira. Na zgornjem delu osrednjega dela je okrogla odprtina (vidna je le polovica), kjer drsnik izstopi iz ventila, da ga je moč nastavljati. Spodaj je osrednji del odprt, saj tukaj voda izteka iz njega. V sredini osrednjega dela je utor, v katerega sede drsnik, ki mu je na ta način omejeno gibanje le znotraj območja njegove učinkovitosti. Druga polovica je zrcalna prvi, razen tega, da ima na mestu utora na stičnih površinah izvlečen del.

Drugi del ventila je drsnik. Drsni skrbni za regulacijo obeh vhodov. Gre za telo valjaste oblike z dvema vodom in skupnim izhodom. Vhoda sta postavljena tako, da s pomikanjem znotraj območja učinkovitosti opravljata funkcijo mešanja in s tem regulacijo temperature izhodne tekočine. Samo mešanje poteka v odprtini, kamor vodita oba voda, in zmešana voda nato izteče skozi izhod. Zgornji del drsnika sega skozi odprtino na zgornjem delu mešalnega ventila iz mešalnega ventila in omogoča regulacijo mešanja vode. V zadnjem delu modeliranja sem na tem modelu maksimalno zaokrožil notranje robove na obeh vseh in izhodu ter tako minimiziral kavitacijo.



Slika 8: Drsnik (Rap, 2022)

Obe polovici osrednjega dela sem med seboj zlepil z maso Sika. Pred tem sem vmes vstavil še drsnik. Masa Sika je poskrbela za vodotesnost izdelka in zagotovila obstojnost spoja. Na sliki 9 vidimo dokončan mešalni ventil, izdelan iz materiala ABS.



Slika 9: Dokončani mešalni ventil iz materiala ABS (Rap, 2022)

4.2 Druga faza raziskave – preverjanje pravilnosti in uporabnosti delovanja izdelanega mešalnega ventila

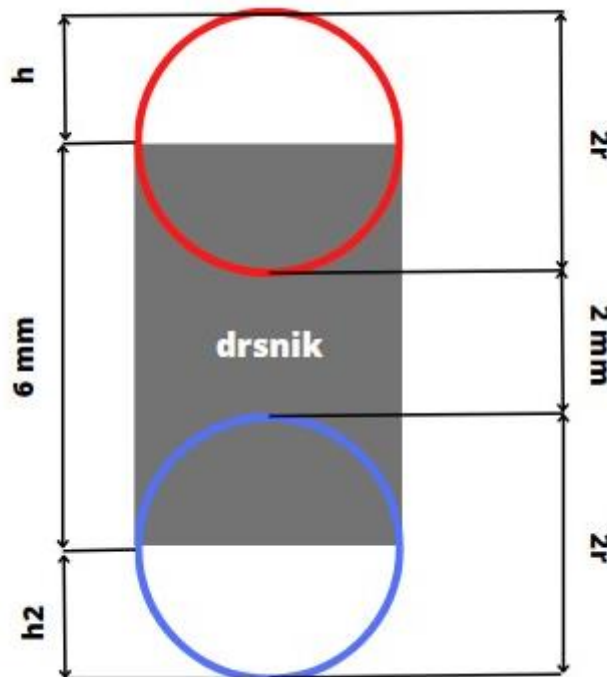
Po koncu prve faze sem imel izdelan mešalni ventil iz materiala ABS. V drugi fazi sem preverjal pravilnost in ustreznost njegovega delovanja v realnih razmerah. Preveriti sem torej moral, kako se ventil obnaša, ko ga priključimo na vodovodno omrežje, in ali deluje brez napak.

Sprva sem ventil iz previdnosti priklopil na precej manjši pretok, kot ga premore vodovodno omrežje. Najprej sem raziskoval, ali ventil deluje pravilno. Kot pravilno delovanje ventila razumem ustrezno zmožnost temperaturne regulacije ventila. V praksi to pomeni, da se temperatura izhodne tekočine v odvisnosti od stanja drsnika spreminja tako, kot sem to vnaprej izračunal. Poglejmo si izračun izhodne temperature tekočine v odvisnosti od lege drsnika.

Temperatura izhodne tekočine iz ventila je odvisna od količine vroče in količine mrzle vode, ki jo bomo z neko lego drsnika pripeljali v ventil. Tekočina vstopa v ventil skozi dve luknji – skozi eno priteče mrzla voda in skozi drugo vroča. Skupna količina tekočine, ki vstopa v ventil, je konstantna in velja tudi, da je vedno enaka količini izstopne tekočine. V ventil torej prihaja vedno enaka količina tekočine, spreminja se zgolj razmerje med mrzlo in vročo vodo, ki v ventil vstopata. To razmerje določa odprtost oziroma pokritost posamezne luknje z drsnikom. Ker je tlak v celotnem sistemu enak, lahko poenostavimo in namesto količin pritečene vode s posamezno temperaturo primerjamo ploščine vstopnih lukenj, ki niso pokrite z drsnikom. Velikosti odprte površine na obeh luknjah (S_1 in S_2) se torej vedno seštevata v enako površino S , ki znaša πr^2 . V prvem koraku zapišemo, da velja:

$$S = S_1 + S_2 \quad [4.1]$$

V drugem koraku se lotimo računanja odvisnosti velikosti površin delov krogov v odvisnosti od lege drsnika. Izhajamo iz enačbe 3.2-a, po kateri izračunamo površino dela kroga S_p v odvisnosti od višine h od spodnjega dela kroga do določene točke. Koncept delovanja dozirnega dela mešalnega ventila je prikazan na sliki 10.



Slika 10: Skica delovanja mešalnega ventila (Rap, 2023)

$$S_p = \pi r^2 - \pi r^2 \tan^{-1}\left(\frac{h}{r} - 1\right) - (r - h)\sqrt{2hr - h^2} \quad [4.2-a]$$

Za potrebe prenosa te enačbe na naš ventil pripravimo še eno tako enačbo, le da v njej h nadomestimo s h_2 , ki je $2r-h$.

$$S_{p2} = \pi r^2 - \pi r^2 \tan^{-1}\left(\frac{h_2}{r} - 1\right) - (r - h_2)\sqrt{2h_2r - h_2^2} \quad [4.2-b]$$

Obe enačbi povežemo kot deleža prostornin, ki se morata skupaj sešteti v vrednost 1. Deleža poimenujemo k_1 in k_2 .

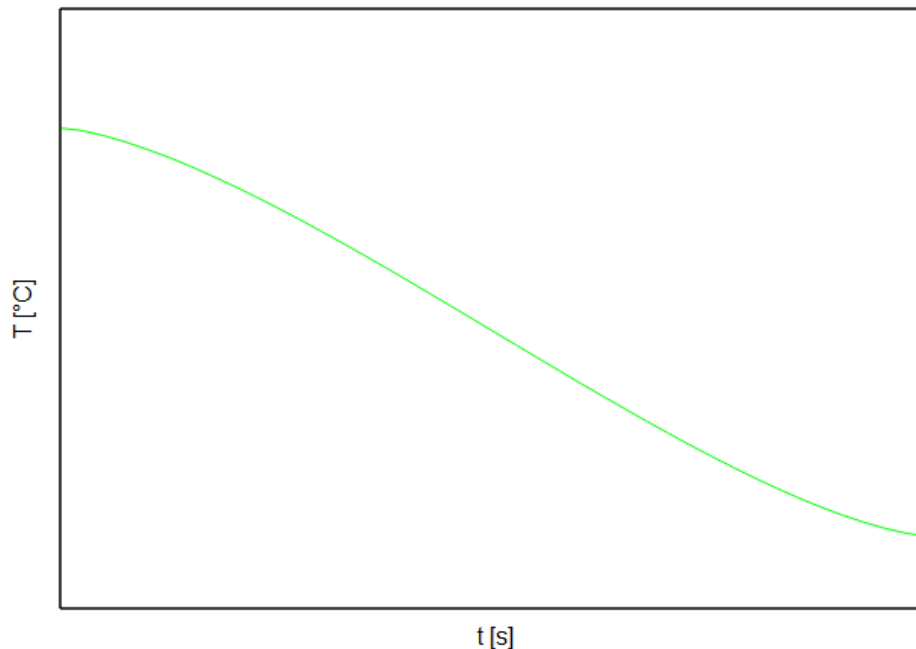
$$1 = \frac{S_1}{S} + \frac{S_2}{S} = k_1 + k_2 \quad [4.3]$$

Pridobljene deleže prilagodimo tako, da namesto površin vstavimo deleže vhodne tekočine s posamezno temperaturo. To izvedemo na sledeči način:

$$T = k_1 T_{max} + k_2 T_{min} \quad [4.4]$$

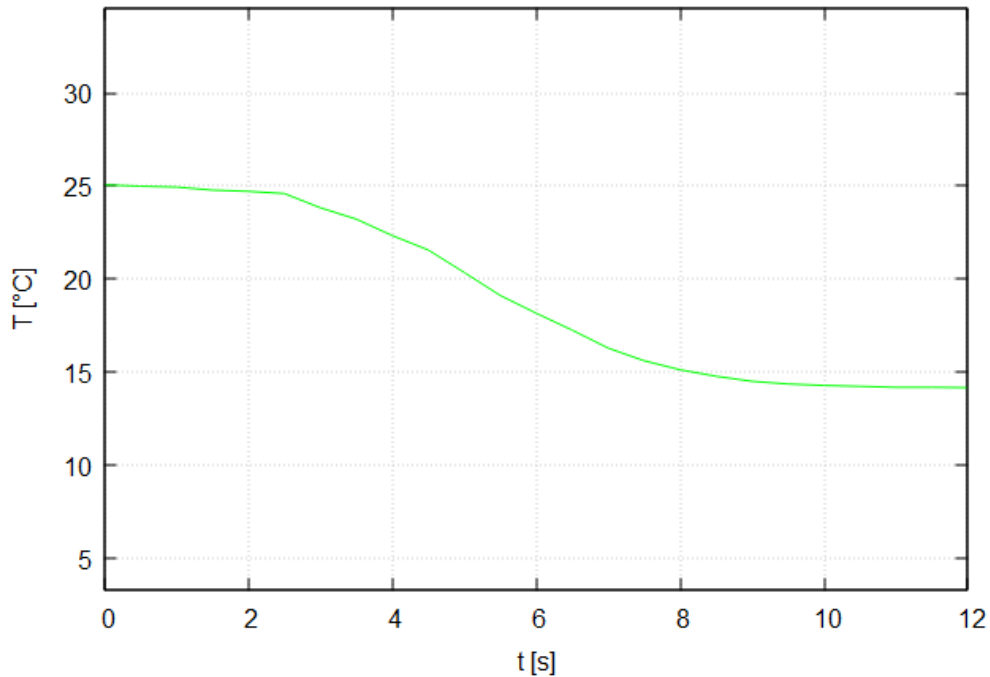
V zgornji enačbi tako dobimo izhodno temperaturo iz ventila T . V enačbi nastopata koeficienta k_1 in k_2 , ki sta koeficienta površin obeh lukenj, T_{max} je temperatura vroče vode in T_{min} temperatura mrzle vode, ki vstopa v ventil.

S tem postopkom sem napravil simulacijo spreminjanja temperature izhodne vode v mešalnem ventilu, ko drsnik premikamo od ene do druge skrajne točke. Ventil tako na začetku prepušča samo vročo vodo in nato drsi do stanja na koncu, ko prepušča samo mrzlo vodo. Simulacijo spreminjanja temperature pri enakomernem drsenju drsnika prikazuje spodnji graf.



Graf 1: Simulacija spreminjanja temperature v ABS-ventilu

V nadaljevanju sem izvedel poskus, v katerem sem preveril pravilnost delovanja svojega mešalnega ventila. V poskusu vsega skupaj drsnik drsi za $h = 4$ cm, v ventilu se temperatura izhodne vode spremeni od začetnih 35 °C do končnih 18 °C. Rezultati meritev so vidni v spodnjem grafu.



Graf 2: Spreminjanje temperature v ABS-ventilu

Iz zgornjega grafa je razvidno, kako se je v ventilu iz materiala ABS spreminjala temperatura v odvisnosti od časa. Stanje ventila sem spreminjal z enakomerno hitrostjo, zato lahko privzamemo, da graf sočasno prikazuje tudi spreminjanje temperature v ventilu v odvisnosti od lege drsnika oz. stanja ventila. Poskus je bil sicer izveden v relativno majhnem temperaturnem intervalu, vendar to ne igra vloge pri funkcionalnosti ventila. Če primerjamo prvi in drugi graf, opazimo podobno obliko obeh krivulj. Iz tega sledi, da se ventil v resnici obnaša zelo podobno, kot to predvideva simulacija njegovega delovanja.

Priključitev ventila na vodovodno omrežje je potekala s hitrimi spojkami. Priklop ventila na vodovodno omrežje je služil testiranju tega, ali ventil prenese vodni tlak v javnem vodovodu. Izkazalo se je, da ventil tolikšnega tlaka ne prenese in prične spuščati na nasprotni strani izhoda iz ventila.



Slika 11: Testiranje izdelanega mešalnega ventila (Rap, 2023)

Pri manjšem tlaku je ventil deloval ustrezno. Standardni tlak v vodovodnem omrežju je maksimalno 6 barov in v praksi okoli 4 bare, zato na podlagi stanja pipe, s katero sem reguliral pretok v ventil, ocenjujem, da je ventil prenesel tlak do približno 1 bara. Zaključujem torej, da je ventil uporaben v območju delovanja tlaka do nekako 1 bara. Ventil je v prihodnosti mogoče nadgraditi tako, da bo prenesel večji tlak.

4.3 Tretja faza raziskave – raziskovanje konsistentnosti kovinskega mešalnega ventila

V tretji fazi raziskovanja sem se odmaknil od izdelanega mešalnega ventila in pričel z raziskovanjem kovinskega mešalnega ventila. Raziskovanje je potekalo na tovrstnem ventilu, saj ga je lažje upravljati kot ventil, ki sem ga izdelal sam. Drugi razlog za proučevanje kovinskega ventila pa je, da je osnovna ideja za raziskovanje izhajala iz dogajanja na kovinskem mešalnem ventilu. Že v vsakdanjem življenju sem pri uporabi kovinskega mešalnega ventila opazil, da ob premiku gredi ventila prihaja do določenih nihanj temperature izhodne vode. Pojav povezujem z nekonsistentnostjo delovanja mešalnega ventila ob spremembi temperature izhodne vode. Kot konsistentno bi označil napravo, ki deluje predvidljivo in zanjo ne potrebujemo dodatnih poskusov, da ugotovimo vse zakonitosti njenega delovanja. V primeru, da pri spremembi temperature izhodne vode prihaja do nihanj v temperaturi izhodne vode, je to seveda težko predvidljivo in potrebujemo dodatne preiskave, da definiramo podrobne zakonitosti delovanja takega ventila. Iz tega sledi, da taka naprava oziroma mešalni ventil ni konsistenten. Odločil sem se izvesti poskus, v katerem sem spreminjal temperaturo izhodne vode iz mešanega ventila in meril, do kakšnih nihanj v temperaturi prihaja. Poskus je prikazan na sliki 12.

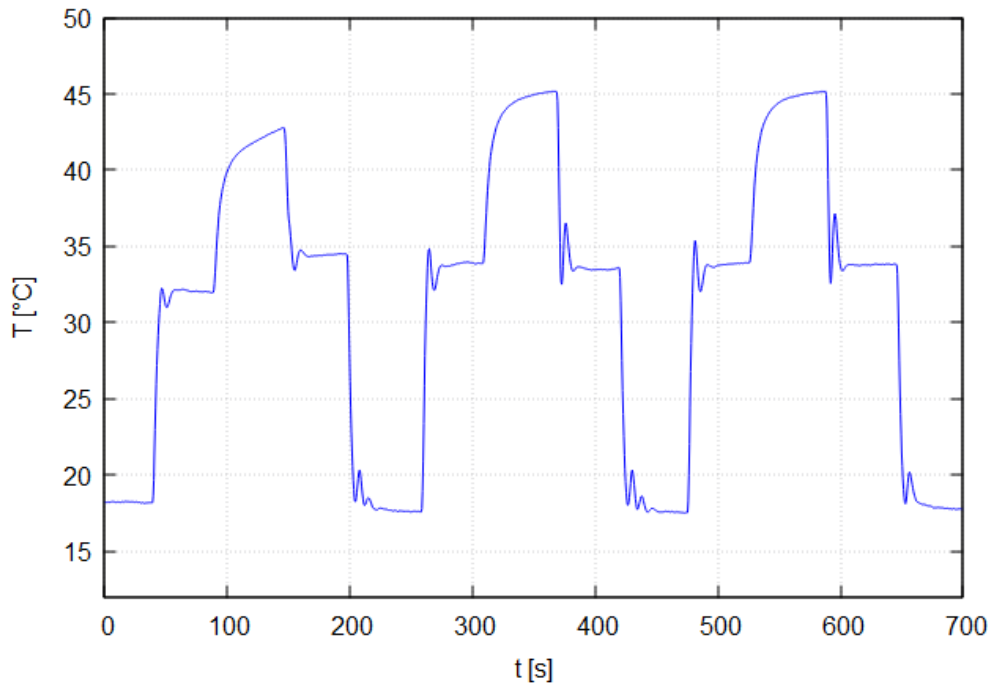


Slika 12: Izvajanje poskusa na pravem mešalnem ventilu (Rap, 2023)

Poskus sem izvajal tako, da je bil ventil najprej popolnoma odprt samo za mrzlo vodo in zaprt za vročo, nato polovično odprt za obe, potem popolnoma odprt za vročo vodo in zaprt za mrzlo, nadalje polovično odprt za obe in na koncu ponovno popolnoma odprt samo za mrzlo vodo in zaprt za vročo. Ta cikel sem ponovil trikrat, kot je to razvidno v grafu 3. Kovinski mešalni ventil, ki ga pri poskusu uporabljam, je termostatski mešalni ventil Thermomat MIX. Termostatski ventil je zagotavljal stabilnejše poskusa, hkrati pa je zaradi uporabe termostatskega ventila raziskava bolj daljnosežna, saj ocenjujem, da bo v prihodnosti vedno več termostatskih mešalnih ventilov. Dejstvo, da je bil uporabljen termostatski mešalni ventil, v samem poskusu ne igra vloge. V raziskavi se namreč ukvarjam s konsistentnostjo mešalnega ventila. Princip delovanja termostatskega mešalnega ventila veleva, da bi se morali termostatski elementi v ventilu raztezati in krčiti v skladu s temperaturo. To pomeni, da je tak ventil počasnejši od običajnega mešalnega ventila, saj mora zmešana voda oddati toploto termostatskim elementom v mešalnem ventilu. Iz tega je nemogoče izveči razloge za nihanja v temperaturi izhodne vode. Vzmet v mešalnem ventilu, izhajajoč iz teorije, zagotavlja protisilo drsniku v mešalnem ventilu in ne deluje kot regulator temperature izhodne vode. Posledično je nihanja v temperaturi izhodne vode nemogoče pripisati dejstvu, da sem pri eksperimentiranju uporabljal termostatski mešalni ventil. Funkcija termoregulacije je zgolj

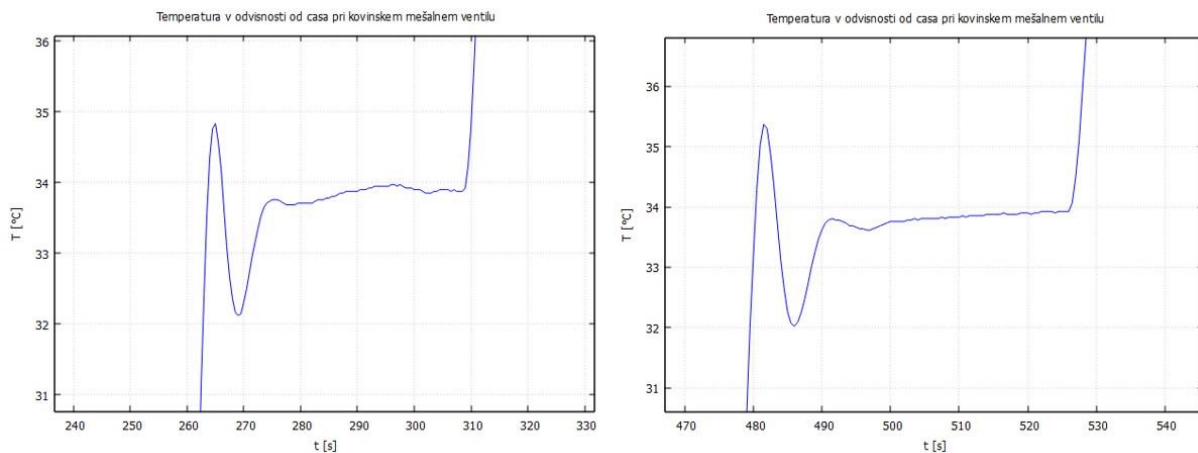
njegova dodatna funkcija, ki v rezultatih poskusa ne igra vloge, saj me temperatura izhodne vode iz ventila pravzaprav sploh ni zanimala. Zanimalo me je zgolj nihanje te temperature.

Z grafa 3 razberemo rezultate meritev, ki so nastale pri uporabi mešalnega ventila pri spodnji vhodni temperaturi 18 °C in zgornji vhodni temperaturi 45 °C. Pri analizi rezultatov se bom oziral na rezultate iz drugega in tretjega cikla meritev (drugi in tretji stolpec v grafu), saj prvi od njiju nekoliko odstopa in ga bom po pravilu dveh tretjin izvzel iz analize.



Graf 3: Temperatura v odvisnosti od časa pri kovinskem mešalnem ventilu

Iz zgornjega grafa je razvidno, da potrebuje ventil pri spremembi temperature izhodne vode neko amortizacijsko dobo, v kateri ublaži spremembo temperature in po njej prične na izhodu vračati tekočino stabilne temperature. Do nihanja prihaja pri vseh spremembah izhodne temperature, razen pri popolnem odprtju vroče in zaprtju tople vode, pri čemer se ventil enakomerno segreva in brez nihanj spremeni temperaturo vode. Pri ostalih premikih prihaja praviloma do enih ali dveh dolgega amortizacijskega obdobja. Poglejmo si natančneje, kaj se zgodi v drugih dveh ciklih grafa in kakšnemu nihanju ustreza omenjeno dogajanje.



Graf 4: Primerjava nihanja pri spremembi temperature navzgor

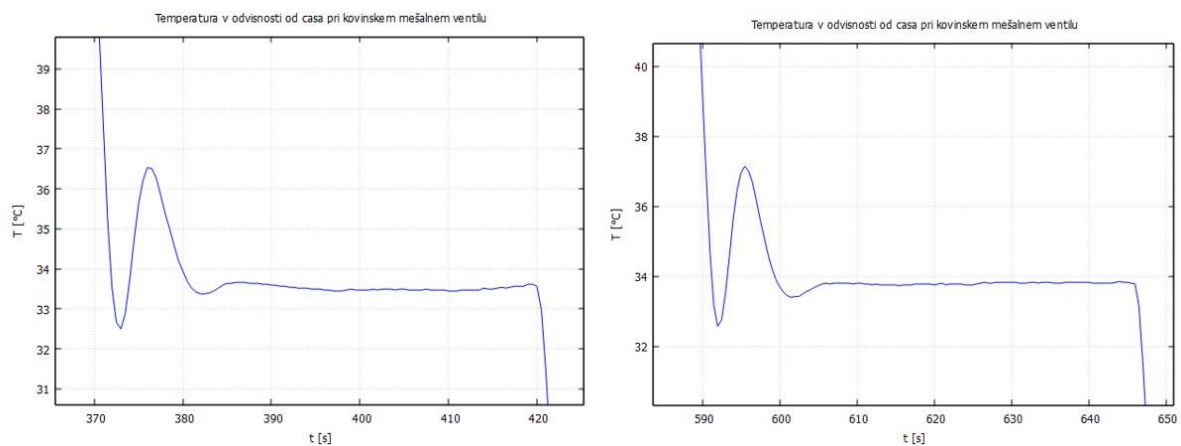
Zgornja grafa prikazujeta, kaj se zgodi, ko ventil preklapimo s samo mrzle vode na delno mrzlo in delno vročo vodo. Pri tem ventilu odredimo spremembo temperature $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Opazna so nihanja temperature, ki jih lahko opišemo kot dušeno nihanje. Pri določanju parametrov nihanja vse potrebne podatke razberemo iz grafov. Za oba primera v skladu z enačbo za dušeno nihanje (enačba 3.5) določimo koeficient dušenja β .

$$\gamma_0(t) = \gamma_0 e^{-\beta t} \quad [4.5]$$

$$\beta_1 = -\frac{\ln(0.2+1.3)}{12} = 0.16 \quad [4.6-a]$$

$$\beta_2 = 0.13 \quad [4.6-b]$$

Oglejmo si še nihanja pri padcih temperature iz stanja ventila, ko je odprta le vroča voda, v stanje delne odprtosti vroče in mrzle vode. Pri tem ventilu odredimo spremembo temperature $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$. Spodnja grafa prikazujeta opisani dogodek. Tudi za ta primer določimo koeficient dušenja β .

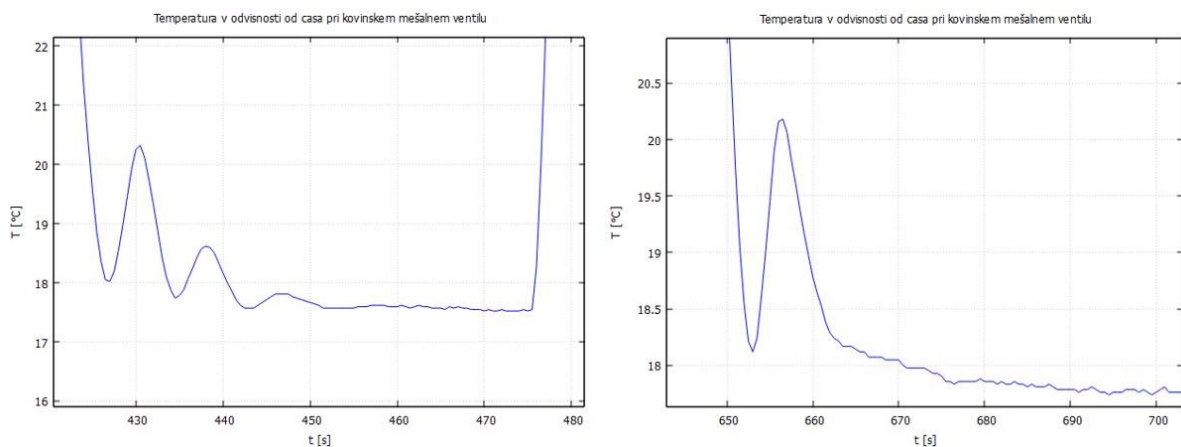


Graf 5: Primerjava nihanja pri spremembi temperature navzdol

$$\beta_3 = 0.21 \quad [4.7-a]$$

$$\beta_4 = 0.17 \quad [4.6-b]$$

Pri spremembi ventila iz mešanega v popolnoma mrzlo stanje izriše temperaturna krivulja spodnja grafa. Pri tem ventilu odredimo spremembo temperature $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Določimo še β za spodnja primera.



Graf 6: Primerjava nihanja pri skrajni spremembi temperature navzdol

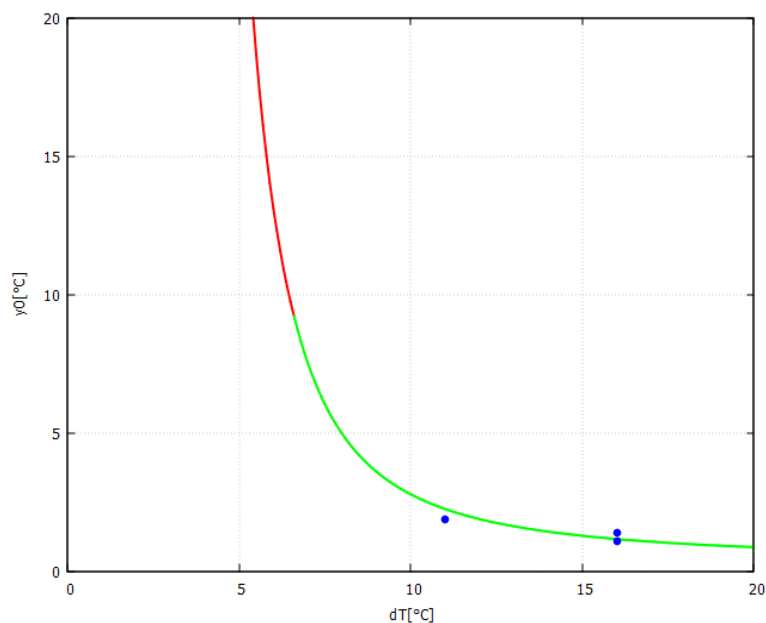
$$\beta_5 = 0.12 \quad [4.8-a]$$

$$\beta_6 = 0.13 \quad [4.8-b]$$

Pridobljeni koeficient nihanja β (znan tudi kot ζ) nam pove, kako močno je določeno nihanje dušeno. Zdi se mi smiselno preveriti povezavo med spremembo temperature izhodne vode, ki smo jo odredili ventilu, in koeficientom dušenja nihanja. Najprej sem zbral podatke in izračunal povprečne koeficiente dušenja nihanja izhodne temperature vode glede na absolutno spremembo izhodne vode. Ugotovimo, da velja za grafa 4 in 6, ko je absolutna sprememba temperature izhodne vode 16 °C, povprečna $\beta = 0,135$. Za graf 5 znaša povprečna β 0,19. Če zmnožimo povprečne vrednosti β z absolutno spremembo temperature v obeh primerih, pridobimo v prvem primeru zmnožek 2,16 °C in v drugem 2,09 °C. Zmnožka se razlikujeta za približno 3 %. Določimo njun povprečni zmnožek 2,125 °C in ga imenujmo k . V spodnji enačbi je prikazana zveza med spremembo temperature izhodne vode, koeficientom dušenja in k -jem.

$$\beta = \frac{k}{|\Delta T|} \quad [4.9]$$

Sedaj napovejmo s pomočjo enačb 3.5 in 3.9 največjo amplitudo dušenega nihanja γ_0 , ki nastane ob spremembi temperature izhodne vode $|\Delta T|$. Graf 7 prikazuje γ_0 v odvisnosti od $|\Delta T|$. Povedano preprosteje, iz grafa razberemo, kako velika bo največja amplituda nihanja, in sicer glede na to, kako močno bomo spremenili izhodno temperaturo vode iz ventila. Pri risanju tega grafa sem privzel kot t povprečen čas dušenja nihanja, ki sem ga uporabljal že za določanje koeficientov dušenja pri rezultatih in je znašal 11 s. Namesto $\gamma_0(t)$ sem uporabil 0,275 °C, saj je toliko znašala povprečna amplituda nihanja v nekem trenutku pri analizi pridobljenih meritev.

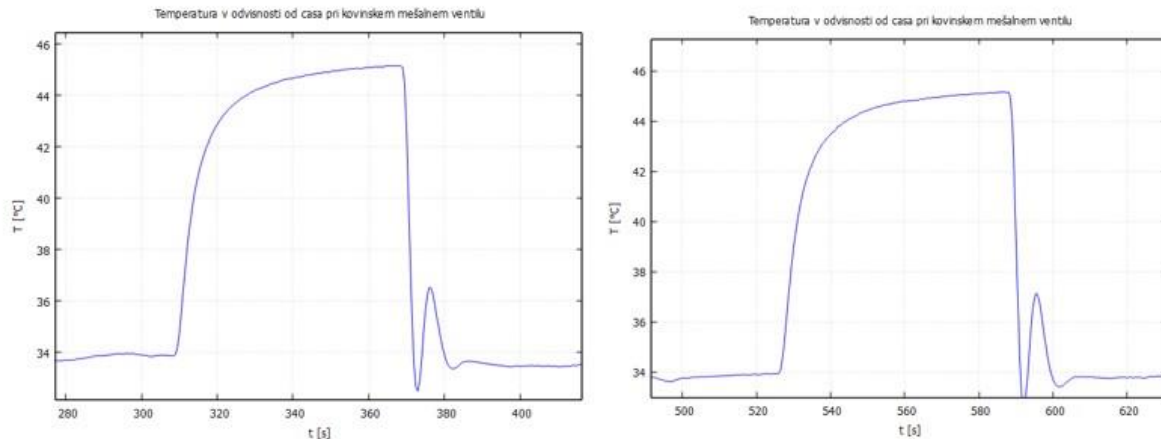


Graf 7: Amplituda največjega nihaja v odvisnosti od spremembe izhodne temperature vode

Zgornji graf je predstavljen v dveh barvah. Zeleni del grafa sega od 7,17 °C do konca grafa. Od 0 °C do 7,17 °C je graf obarvan rdeče. Rdeči del grafa je nerealni del krivulje. Graf 7 riše funkcijo odvisnosti največje amplitude od spremembe temperature, pri čemer se funkcija lepo ujema s tremi točkami, ki so v grafu narisane z modro barvo. Te tri točke so povprečne vrednosti, pridobljene z meritvami, in izhajajo iz grafov 4, 5 in 6. Na podlagi tega lahko trdim, da je omenjeni del funkcije pravilen z določenimi odstopanji oziroma napakami, ki niso velike. Nadaljevanje krivulje v stran od teh točk se zdi v pozitivni smeri smiselno. Izkaže se, da se z večanjem spremembe temperature izhodne vode manjša nihanje takoj po spremembi. V

negativni smeri krivulja ni smiselna, saj ta kaže na idejo, da je ob ničelni spremembi izhodne temperature vode amplituda prvega nihaja neskončno velika. Posledično ugotavljam, da je začetni del krivulje nepravilen. Predpostavil sem, da velja: $\gamma_0 \geq |\Delta T|$. Dokler to velja, je krivulja smiselna, v nasprotnem primeru pa ne. Določil sem, da je krivulja smiselna, kadar je sprememba izhodne temperature večja ali enaka 7,17 °C.

Graf 8 prikazuje nihanje temperature izhodne vode pri skrajni spremembi temperature navzgor. To je taka sprememba ventila, da drsnik prestavimo iz prve točke v drugo točko tako, da popolnoma zapremo dovod mrzle vode in odpremo samo še vročo vodo. Kot rezultat se dvigne izhodna temperatura vode iz ventila. V tem primeru se je dvignila za približno 11 °C.



Graf 8: Primerjava nihanja pri skrajni spremembi temperature navzgor

Segrevanje vode pri preklopu z mešane na popolnoma vročo vodo poteka logaritemsko. Segrevanje sem definiriral s splošnim izrazom, ki je zapisan v enačbi 3.10. V enačbi nastopata spremenljivki A in B , ki definirata krivuljo. V enačbi t pomeni čas, v katerem smo odčitali posamezno vrednost, in t_0 čas merjenja, ko se je začela logaritemska krivulja. V omenjeni enačbi T_0 predstavlja temperaturo vode, pri kateri se je začela logaritemska krivulja. S t_0 in T_0 v enačbi nevtraliziramo vlogo izvajanja vseh meritev v enem kosu, ki so prikazane v grafu 3, posledično pa pridobimo resnična A in B . Enačbo 3.10 sem uporabil v primerih segrevanja vode iz grafa 8. Enačbi 3.11-a in 3.11-b predstavljata prilagoditveni krivulji za primer segrevanja vode v grafu 8:

$$T = A \times \ln(B \times (t - t_0)) + T_0 \quad [4.10]$$

$$T_1 = 1.835 \times \ln(2.856 \times (t - 310.5)) + 36.4 \quad [4.11-a]$$

$$T_2 = 1.882 \times \ln(5.004 \times (t - 527.5)) + 35.1 \quad [4.11-b]$$

Izkaže se, da sta spremenljivki A v enačbah 3.11-a in 3.11-b zelo podobni. Do določenih odstopanj prihaja pri spremenljivkah B , ki se razlikujeta za 43 %.

5 RAZPRAVA

V prvi fazi raziskovanja sem načrtoval in izdelal toplotni mešalni ventil iz materiala ABS. Ideja za načrtovanje tovrstnega ventila se mi je porodila, saj sem si mislil, da bi morda bilo mogoče izdelati toplotni mešalni ventil iz cenejših in lažje obdelovanih materialov, kot je kovina. Predvideval sem, da bo plastika ABS kot priljubljen material v svetu 3D-tiska na podlagi tehničnih dokumentov prenesla vse potrebne tlačne in temperaturne obremenitve. Ventil sem načrtoval na osnovi že izdelanih kovinskih mešalnih ventilov in se skušal približati njihovi sestavi. Mešalni ventil, ki sem ga sam načrtoval, modeliral in izdelal, je nekoliko poenostavljen, saj ne vsebuje vzmeti in za spreminjanje temperature izhodne vode skrbi zgolj poseben drsnik. Pri načrtovanju je bilo treba model osno razpoloviti, saj drugače ne bi bilo mogoče vstaviti drsnika v sredino ventila.

Pri načrtovanju tiska izdelka sem upošteval parametre, ki so predvidevali večjo gostoto materiala, večjo natančnost tiska in večje število vrhnjih plasti izdelka. Izbira parametrov in materialov tiska sta se izkazali kot ustrezni, saj sem s tiskanino uspel izvesti načrtovane poskuse. Tiskanina, ki je nastala, ima seveda določene vizualne in funkcionalne omejitve, ki za delovanje ventila niso kritične. Vizualno izdelek ni popolnoma gladek in brez sledi tehnike izdelave. Moč bi bilo sicer z uporabljenim 3D-tiskalnikom izdelati še natančnejši model, vendar bi to vzelo tudi do 200 % več časa (odvisno od želene natančnosti), kar na funkcionalnost ventila ne bi imelo bistvenega vpliva. Funkcionalna omejitev ventila je bila manj tekoče drsenje drsnika kot pri kovinskem mešalnem ventilu. Ta faktor sicer glavne funkcionalnosti ventila ni spremenil, je pa otežil rokovanje z njim. Pred drugo fazo raziskovanja drugih anomalij nisem prepoznal.

V drugi fazi raziskovanja sem preverjal pravilnost delovanja izdelanega mešalnega ventila. Ustreden mešalni ventil mora prenesti toplotne in tlačne obremenitve ter mora omogočati nadzorovano spreminjanje izhodne temperature vode iz ventila skladno s teoretičnimi izračuni. Izdelani mešalni ventil je brez težav prenesel temperaturne obremenitve znotraj testnih intervalov. Material ABS je dokaj temperaturno odporen in bi prenesel tudi višje toplotne obremenitve, kot so bile uporabljene pri mojem raziskovanju. ABS je sicer toplotno precej manj obstojen kot kovina in zagotovo ni več uporaben pri temperaturah okrog vrelišča. V gospodinjstvih nam bi namreč za talno ogrevanje in prho zadoščala ogrevalna voda precej nižjih temperatur od vrelišča. Na tak način bi lahko postal ABS ventil uporaben v gospodinjstvih sistemih ogrevanja.

Tlačne obveznosti mešalnega ventila so prenos maksimalnega tlaka vodovodnega omrežja, torej 6 barov. V praksi znaša tlak vodovodnega obrežja okoli 4 bare. Meritve pravilnosti delovanja mešalnega ventila sem izvajal na približno četrtini vrednosti tlaka vodovodnega omrežja, torej pri približno 1 baru. Pri večjem tlaku je ventil začel puščati vodo v predelu, kjer iz njega izstopa drsnik. Popuščanje ventila se dogaja, saj ima tako izdelani ventil slabo zatesnitev in bi morali ventil poleg samotesnjenja, ki ga ima zaradi natančne sestave, zatesniti še z dodatnim tesnilom, ki bi ga vstavili pri izhodu drsnika iz ventila. Gre za konstrukcijsko pomanjkljivost, ki v tem primeru ni vplivala na rezultate poskusa, vseeno pa onemogoča uporabo mešalnega ventila v vodovodnem sistemu.

V drugi fazi raziskovanja sem preverjal pravilnost delovanja izdelanega mešalnega ventila. Pri preverjanju skladnosti nadzorovanega spreminjanja izhodne temperature vode iz ventila s teoretičnimi izračuni sem ugotovil, da ventil deluje pravilno. Ugotovitev sledi iz primerjave grafov 1 in 2. Grafa imata podobno obliko, kar kaže na delovanje ventila v skladu z izračuni.

V tretji fazi raziskovanja sem se ukvarjal z nihanjem temperature ob spremembi temperature izhodne vode na ventilu. Raziskoval sem kovinski mešalni ventil, katerega delovanje je lažje nadzirati. Ugotovil sem, da pri vsaki spremembi temperature izhodne vode, razen pri spremembi na segrevanje vode do maksimuma (graf 8), prihaja do nihanja v temperaturi vode. Nastane dušeno nihanje, ki se po določenem času izniha, in temperatura vode se stabilizira.

Ugotovil sem, da je koeficient dušenja β obratno odvisen od velikosti spremembe temperature, ki smo jo s spremembo izhodne temperature vode dosegli. Predvidel sem največjo amplitudo dušenega nihanja, ki nastane po spremembi temperature v odvisnosti od spremembe temperature pri iztoku (graf 7). Krivulja, ki sem jo v ta namen izrisal, velja za spremembe večje od 7,17 °C, pri manjših spremembah pa je neveljavna. Ta del grafa zanemarimo in opazujemo krivuljo zgolj v veljavnem intervalu. Predvidevam, da je enačba, ki opisuje omenjeno krivuljo, pravilna in da nakazuje resnično dogajanje pri delovanju ventila. Srž njene nepravilnosti v določenem intervalu se skriva v razlogih za pojav tega nihanja nasploh.

Pri razlogih za pojav nihanja sem izločil razloge nepravilnega, torej lokalnega merjenja temperature. Lokalno merjenje temperature bi pomenilo, da bi zaradi načina merjenja temperature s temperaturno iglo izmeril temperaturo zgolj določenega, majhnega volumna vode. Voda v jedru mešalnega ventila torej še ne bi bila popolnoma premešana in bi v tem primeru meril zgolj del vode, ki je na primer v telo ventila vstopila, ta pa bi se šele kasneje premešala z ostalo vodo in bi se temperatura celote stabilizirala. Opisani razlog za nihanje izločam, saj sem meritve izvajal pod mešalnim ventilom in posledično pod mešalno mrežico. Prav tako zavračam možnosti napačnega delovanja vodovodnega oziroma ogrevalnega sistema vode, saj bi napake v njegovem delovanju potemtakem morale biti vidne tudi v grafu 8. Posebnih napak, ki bi kazale na napake v vodovodnem ali ogrevalnem sistemu, iz omenjenega grafa ni zaznati. Sklepam torej, da so nihanja posledica tlačnih razlik pri preklopu ventila.

Kadar preklapimo ventil iz ene pozicije v drugo, se vselej poveča vstop vode skozi en vhod in zmanjša vstop vode skozi drugi vhod. Posledično voda, ki vstopi skozi vhod, pritisne z večjim tlakom in posledično hitrostjo, kot je tlak v jedru mešalnega ventila. Iz tega sledi, da se pojavi začetni odklon izhodne temperature iz ventila v smeri, v katero smo drsnik ventila pomaknili. Nato poteka izravnava tlakov, ki se izkazuje kot dušeno nihanje temperature.

Nihanje se z večanjem spremembe temperature manjša, saj okoliška voda tako vstopa v ventil z manjšo hitrostjo. Če pritiska okoliška voda na vhod mešalnega ventila s stalnim tlakom p , to pomeni, da pri malem povečanju površine vstopa vstopi voda v jedro mešalnega ventila z veliko hitrostjo. V primeru, da izvedemo večje povečanje površine vhoda v ventil in okoliška voda ponovno pritiska na vhod ventila s tlakom p , bo tedaj hitrost vode, ki vstopa v ventil, manjša kot v prejšnjem primeru. Razmišljanje potrjuje tudi graf 7. Po tej analogiji sledi, da pri neskončno mali spremembi temperature izhodne vode iz ventila nastane neskončno veliko nihanje. Ideja v praksi ne obvelja, saj v neki točki postane sprememba površine premala, da bi lahko skozi njo brizgnilo toliko vode, da bi to imelo tako velik vpliv na akutno spremembo temperature, kot je to mogoče razbrati s celotnega grafa 7. Sklepam, da se ta točka pojavi takrat, ko amplituda nihaja preseže velikost spremembe temperature, kar se pojavi pri spremembi temperature izhodne vode manjši od 7,17 °C. Pridobljena ugotovitev je smiselna tudi zaradi enakosti tlakov na obeh vhodih, saj bi v nasprotnem primeru, da bi torej tlak nove vode omogočil večjo amplitudo od spremenjene temperature izhodne vode, to pomenilo, da bi bil ta tlak večji od tlaka na drugem vhodu v ventil.

Pri skrajni spremembi temperature vode navzgor se dušeno nihanje ne pojavi. Priča smo postopnemu segrevanju ventila, ki poteka logaritemsko. V tem primeru ne prihaja do nihanja, saj topla voda oddaja toploto hitreje kot mrzla in navkljub akutnim tlačnim razlikam energijo oddaja za segrevanje telesa mešalnega ventila. Zaradi tega poteka segrevanje logaritemsko. V nasprotnem primeru, ko temperaturo izhodne vode premaknemo na stanje minimalne temperature, torej ko je odprta zgolj mrzla voda, je njena notranja precej manjša oziroma energijski nivo 0 glede na okolico in posledično energije telesu mešalnega ventila ne odda dovolj hitro. Pri segrevanju vode na stanje maksimalne temperature govorimo o naravni logaritemski funkciji s spremenljivkama A in B (enačba 3.19). Spremenljivka A zavzame povprečno vrednost približno 1,86. Pri variabli B je prišlo do določenih odstopanj med njenimi vrednostmi, pridobljenimi z meritvami, saj v enačbi nastopa kot del logaritmanda in posledično napake pri njegovem določanju manj vplivajo na izgled krivulje. Povprečno znaša B približno 3,93. Tak rezultat segrevanja vode je pričakovan in predvidljiv. Zdi se smiselno, da se ventil

segreva logaritemsko, in smiselni sta tudi relativno nizki variabli okoli naravnega logaritma, saj se zdi nastala krivulja precej podobna osnovni krivulji naravnega logaritma.

Raziskovalne metode, ki sem jih uporabil pri raziskovanju, so se izkazale kot uspešne, saj sem izpolnil namen in zastavljene cilje raziskovalne naloge. Namen raziskave je bil izdelati mešalni ventil iz materiala ABS s tehnologijo 3D-tiska, preveriti pravilnost njegovega delovanja in ugotoviti konsistentnost kovinskega mešalnega ventila. Prav tako sem izpolnil cilj raziskovanja, saj sem uporabil izdelani mešalni ventil iz materiala ABS v raziskavi in potrdil pravilnost njegovega delovanja ter določil temperaturna nihanja pri kovinskem mešalnem ventilu. Cilje raziskovalne naloge sem presegel, saj sem splošno predvidel nihanja ob spremembi temperature izhodne vode iz mešalnega ventila v odvisnosti od spremembe njene temperature.

Med raziskovanjem se je pripetilo tudi nekaj nepravilnosti in obstajajo določene sistemske napake, ki so vplivale na rezultate moje raziskave. Če začnem prav s slednjimi, so to odstopanja, ki so se pojavila pri 3D-tiskanju modela. Računalniški model je izjemno natančen in njegovo delovanje je predvidljivo, medtem ko se pri tiskanju in kasneje pri tiskanini srečujemo z določeni omejitvami kakovosti in velikosti ter oblikovanosti končnega izdelka. Prav tako se pojavijo zunanji dejavniki in dejavniki samega materiala, ki jih prej nisem upošteval (npr. trenje). Nadalje je tu tudi napaka merilnika temperature, ki znaša 0,05 °C. K temu velja prišteti prav tako zunanje dejavnike, recimo temperaturo okolja, ki zagotovo pri vseh meritvah ni bila popolnoma enaka. Omenjene napake predstavljajo razlog za določeno napako končnega rezultata meritev.

V nadaljnjih raziskavah bi bilo smiselno spremeniti določene parametre raziskave in potrditi ali ovreči dognanja te raziskave. Najprej bi bilo smiselno z raziskovanjem ovrednotiti krivuljo iz grafa 7. Nadalje bi bilo ustrezno razširiti raziskavo tako, da bi jo izvajali še pri večjih pretokih in razponih temperature vode. Poskusili bi lahko tudi z raziskovanjem nihajev ob spremembi temperature še pri izdelanem ventilu iz materiala ABS in tudi tam raziskavo razširili s še več parametri raziskovanja. Ob tem bi seveda dodelali mešalni ventil iz materiala ABS tako, da bi ta prenesel zahtevane tlačne obremenitve vodovodnega sistema, kar bi lahko bil prav tako zanimiv izziv. Zanimivo bi bilo potem videti primerjavo rezultatov raziskovanja pri obeh ventilih. Raziskavo je seveda nadalje mogoče razširiti in pripraviti popolno primerjavo med mešalnima ventiloma iz obeh materialov ter ovrednotenje. Pri tem bi bilo smiselno biti pozoren na njune natančnosti in odzivne čase ter to povezati s ceno izdelave mešalnega ventila iz posameznega materiala.

Nastala raziskava sodi med pionirske raziskave na področju 3D-tiska termo- in hidroregulacijske tehnike ter ugotavljanja konsistentnosti mešalnih ventilov. Kot taka odpira dve pomembni temi: uporabo alternativnih materialov v termo- in hidroregulacijski tehniki ter izdelavo konsistentnih mešalnih ventilov. Tehnologija 3D-tiska je v osnovi namenjena izdelavi prototipov za nadaljnje raziskovanje materialov in oblik izdelka. Sam sem s prvima dvema fazama raziskave skušal na področje mešalnih ventilov pripeljati material ABS, za katerega se kaže ima določen potencial na tem področju. V prihodnje bo mogoče v tej panogi preizkusiti še več materialov in oblik. Mogoče bo izdelati prepričljivejše izdelke, ki bodo v ekonomskem in ekološkem smislu boljši, kot so izdelki, ki jih poznamo danes. Drugo pomembno vprašanje, ki ga odpira to raziskovalno delo, je vprašanje izdelave konsistentnih ventilov. Mešalni ventili, ki pri spremembah stanja povzročajo težko predvidljiva nihanja niso optimalni. Povzročijo lahko težave za sistem, v katerem so nameščeni, ogrozijo zdravje uporabnikov in manjšajo udobje uporabe. Smiselno bi bilo izdelati ventile, ki bi ta nihanja zadušili.

6 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sem se ukvarjal z načrtovanjem, modeliranjem, izdelavo in testiranjem lastnega mešalnega ventila iz materiala ABS ter raziskovanjem dogajanja med spreminjanjem izhodne temperature vode iz kovinskega mešalnega ventila. V prvi fazi raziskave je načrtovanje in modeliranje mešalnega ventila potekalo v CAD-modelirniku, izdelava modela pa je potekala s pomočjo tehnologije 3D-tiska. V drugi fazi raziskave sem potrdil pravilnost delovanja izdelanega mešalnega ventila. Potrjevanje pravilnosti delovanja je potekalo tako, da sem najprej izdelal grafično simulacijo delovanja mešalnega ventila in nato v praksi preveril, ali se simulacija in praktično obnašanje ventila skladata. Izkazalo se je, da sta krivulji zelo podobni, s čimer sem potrdil pravilno izdelavo mešalnega ventila. V tretji fazi raziskovanja sem pri kovinskem mešalnem ventilu raziskoval dogajanje ob spremembi izhodne temperature vode. Ugotovil sem, da pri spremembah izhodne temperature vode pri mešalnem ventilu prihaja do dušenega nihanja. Za dušeno nihanje sem določil koeficient dušenja. Na podlagi večkratnih meritev sem zasnoval krivuljo, ki predvideva amplitude največjega nihaja pri nihanju, ki nastane zaradi spremembe temperature izhodne vode iz ventila.

Po raziskovanju so ostala odprta določena vprašanja. Zanima me predvsem, kako točna je v resnici moja napoved obnašanja temperature vode takoj po spremembi izhodne temperature in ali je to kakorkoli pogojeno s pretokom, pod katerim poskus izvajamo, in s temperaturnim intervalom, v katerem poskus izvajamo. Izziv bi bil dodelati mešalni ventil iz materiala ABS tako, da bi ta prenesel zahtevane tlačne obremenitve vodovodnega sistema. Nadaljevalni poskusi bi lahko šli tudi v smeri raziskovanja nihajev ob spremembi temperature še pri izdelanem ventilu iz materiala ABS. Zanimivo bi bilo potem videti primerjavo rezultatov raziskovanja na obeh ventilih. Izjemno smiselno se mi zdi pripraviti tudi celovito bilančno shemo za izdelovanje mešalnih ventilov iz kovine in materiala ABS. Smiselno bi bilo ob tem toplotni mešalni ventil iz materiala ABS popolnoma definirati, tako da bi ga ustrezno prilagodili in nato določili, kakšne temperaturne in tlačne razpone premore. S tem bi dokončno rešili vprašanje njegove uporabnosti in morda odprli prostor še kakemu drugemu materialu, da vstopi v svet termo- in hidroregulacijske tehnike.

7 VIRI IN LITERATURA

- Bartolj, J., Čelik, A., Majdič, F. (2022). Razvoj, izdelava in testiranje proporcionalnega potnega ventila, izdelanega s 3D-tiskanjem kovin in z uporabo topološke optimizacije. *Ventil*, 28 (3), 190–196. DOI: 10.18690/978-961-286-513-9. Pridobljeno s <https://revija-ventil.si/wp-content/uploads/bartolj.pdf>
- Godec, J. (4. julij 2004). *Toplota*. Pridobljeno 25. novembra 2022 s <http://www.educa.fmf.uni-lj.si/izodel/sola/2003/di/godec/snov/toplota.htm#specificna>
- Jelc, R. (2010). *Mehanika tekočin in hidravlika*. Maribor: Fakulteta za gradbeništvo.
- Salmun, H. (2009). Flow in conductors. V *Fluid Mechanics*. Pridobljeno 25. novembra 2022 s http://worldcolleges.info/sites/default/files/enggnotes/flow_in_conduits.pdf
- Stropnik, J. (1991). *Hidromehanika*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.
- Širok, B., Dular, M., in Stoffel, B. (ur.) (2006). *Kavitacija*. Ljubljana: Narodna in univerzitetna knjižnica.
- Waters, R. (30. maj 2018). *Thermostatic mixing valves: Applications in plumbing and hydronic heating*. Pridobljeno 23. novembra 2022 s <https://www.hpacmag.com/features/1004124380/>
- Wedam, A. (1991). Zaporni organi 2. V *Kako deluje? Sodobna tehnika 1* (3. izdaja, str. 560–561). Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.