

Doktorska disertacija

**Računarska simulacija i analiza novih
oblika mernih blendi**

Dragan P. Halas

Mentor: dr Radovan Omorjan, redovni profesor

Novi Sad, 2020.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada:

Doktorska disertacija

VR

Ime i prezime autora:

Dragan Halas

AU

Mentori:

dr Radovan Omorjan

MN

Naslov rada:

Računarska simulacija i analiza novih oblika mernih
blendi

NR

Jezik publikacije:

Srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda:

Srpski/Engleski

JI

Zemlja publikovanja:

Republika Srbija

ZP

Uže geografsko područje:

AP Vojvodina

UGP

Godina:

2020.

GO

Izdavač:

Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa: Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1
MA

Fizički opis rada: 8 poglavlja; 69 stranica; 33 reference; 8 tabela; 26 slika
FO

Naučna oblast: Hemijsko-tehnološke nauke
NO

Naučna disciplina: Hemijsko inženjerstvo
ND

Predmetna odrednica, ključne reči: Merenje protoka, Merna blenda, Računarska simulacija, 3D štampa, Ušteda energije, Strujanje fluida.
PO

UDK

Čuva se: Biblioteka Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu,
ČU Bul. cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija

Važna napomena: Nema
VN

Izvod: U mnogim granama tehnike javljaju se problemi merenja protoka fluida. Merne blende, zbog svojih mnogih prednosti predstavljaju najzastupljeniji instrument za merenje protoka fluida kroz cevovode. Sa druge strane njihova upotreba povećava troškove rada industrijskih postrojenja. Jedan od ciljeva ove doktorske disertacije bio je ispitivanje novih oblika mernih blendi u cilju uštede energije pri njihovom radu. U ovoj doktorskoj disertaciji predložen je algoritam ispitivanja novih oblika mernih blendi. Takođe je konstruisana i izrađena laboratorijska aparatura za njihovo ispitivanje kao i diferencijalni "U" manometar za merenje malih razlika pritisaka. U okviru ove doktorske disertacije dizajnirana su i ispitana tri nova oblika mernih blendi. Ušteda energije je postignuta dizajnom koji smanjuje otpor merne blende kao elementa cevovoda. Novi oblici mernih blendi, kao i jedna standardnog oblika koja je poslužila kao referentna, ispitani su prema predloženom algoritmu. U prvom koraku merne blende su dizajnirane u programskom paketu Solid Works. Zatim su, prema predloženom algoritmu, ispitane pomoću računarske

IZ

simulacije u programskom paketu COMSOL Multiphysics. Po dobijanju zadovoljavajućih rezultata računarske simulacije, merne blende su izrađene na 3D štampaču, FDM postupkom i ispitane na laboratorijskoj aparaturi. Rezultati laboratorijskih ispitivanja su upoređeni sa rezultatima računarske simulacije. Upoređeni rezultati računarske simulacije i laboratorijskih ispitivanja su pokazali da je računarska simulacija dobro opisivala situaciju. Rezultati laboratorijskog ispitivanja su pokazali znatan efekat uštede energije. Takođe je utvrđeno da se pomoću računarske simulacije mogu dobiti podaci na osnovu kojih se može doneti odluka da li novi oblik merne blende treba korigovati ili ima smisla pristupiti laboratorijskom ispitivanju. Algoritam ispitivanja koji je predložen u ovoj doktorskoj disertaciji se pokazao efikasnim.

Datum prihvatanja teme od strane Senata: 26.12.2019.

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

PRESEDNIK: dr Oskar Bera, vanredni profesor,
Tehnološki fakultet u Novom Sadu;

ČLAN/MENTOR: Dr. Radovan Omorjan, redovni profesor,
Tehnološki fakultet u Novom Sadu;

ČLAN: dr Jasmina Pekez, docent,
Tehnički fakultet "Mihailo Pupin" u Zrenjaninu;

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNOLOGY**

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph documentation

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Contents code:

Ph.D. Thesis

CC

Author:

Dragan Halas

AU

Mentors:

dr Radovan Omorjan, redovni profesor

MN

Title:

Computer simulation and analysis of new forms of orifice plates

TI

Language of text:

Serbian (Latin)

LT

Language of abstract:

Serbian (Latin)/English

LA

Country of publication:

Republic of Serbia

CP

Locality of publication:

AP Vojvodina

LP

Publication year:

2020

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place: 21000 Novi Sad, Serbia

PP Bulevar cara Lazara 1

Physical description: 8 chapters; 69 pages; 33 references; 8 tables;

PD 26 figures

Scientific field Chemical-Technological Sciences

SF

Scientific discipline Chemical Engineering

SD

Subject, Key words Flow measurement, Orifice plate, Computer simulation, 3D printing, Energy-saving, Fluid flow

SKW

UC

Holding data: Library of Faculty of Technology

HD Bul. Cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Serbia

Note: No notes

N

Abstract:

AB

In many domains of technology, there are problems with the measurement of fluid flow. Orifice plates, because of their many advantages, represent the most common instrument for measuring fluid flow through pipelines. On the other hand, their use increases the operating cost of industrial plants. One of the goals of this doctoral dissertation was to test new forms of orifice plates for a reason to save energy during their work. An algorithm for testing new forms of orifice plates is proposed. Also, the laboratory equipment for testing them was designed and made, as well as a differential "U" manometer for measuring small pressure differences. As part of this doctoral dissertation are designed and tested three new forms of orifice plates. Energy-saving was achieved by a design that reduces the resistance of the orifice plate as an element of the pipeline. New forms of orifice plates, as

well as a standard shape, which served as a reference, were tested according to the present algorithm. In the first step, orifice plates are designed in the Solid Works software package. Then, according to the proposed algorithm, they were tested using computer simulation in COMSOL Multiphysics software package. After achieving satisfactory results of computer simulation, orifice plates are made on a 3D printer, using the FDM process and tested in the laboratory apparatus. The results of laboratory tests were compared with the results of computer simulations. Compared results of computer simulation and laboratory testing showed that computer simulation described the situation well. The results of the laboratory test showed a significant energy-saving effect. It was also found that computer simulation can obtain data that can decide whether a new form of orifice plate must be corrected or it makes sense to access laboratory testing. The algorithm proposed in this doctoral dissertation has proven effective.

Accepted on Scientific Board on: 26.12.2019.

AS

Defended:

DE

Thesis Defend Board:

DB

PRESIDENT: Dr. Oskar Bera, Associate Professor,
Faculty of Technology, Novi Sad;

MEMBER/MENTOR: Dr. Radovan Omorjan, Full Professor,
Faculty of Technology, Novi Sad;

MEMBER:

Dr. Jasmina Pekez, Assistant Professor,
Technical faculty "Mihailo Pupin", Zrenjanin;

Sadržaj

1. Uvod i cilj rada.....	1
2. Teorijski deo	2
2.1. Merači protoka	2
2.2. Merne blende.....	2
2.3. Pregled dosadašnjih istraživanja	5
3. Eksperimentalni deo.....	8
3.1. Organizacija eksperimentalnog rada	8
3.2. Dizajniranje novih oblika mernih blendi.....	9
3.2.1. Određivanje osnovnih parametara ispitivanja	9
3.2.2. Kreiranje novih oblika mernih blendi.....	11
3.3. Računarska simulacija.....	12
3.4. Izrada mernih blendi 3D štampom	16
3.5. Laboratorijsko ispitivanje.....	23
3.5.1. Laboratorijska aparatura	23
3.5.2. Postavljanje merne blende	25
3.5.3. Diferencijalni "U" manometar	26
3.5.4. Očitavanje rezultata	28
4. Rezultati i diskusija.....	32
4.1. Rezultati računarske simulacije.....	32
4.2. Rezultati laboratorijskog ispitivanja	36
4.3. Poređenje rezultata	39
4.4. Smernice za buduća istraživanja	42
5. Zaključci	43
6. Spisak oznaka, grčkih slova, indeksa i skraćenica.....	46
6.1. Oznake.....	46

6.2.Grčka slova.....	48
6.3.Indeksi	48
6.4.Skraćenice	49
7. Literatura	51
8. Prilozi.....	54
8.1.PLA - Tehnička specifikacija.....	54
8.2. CHCl ₃ - Tehnička specifikacija.....	60
8.3. Sudan III - Bezbednosni list	61
8.4. Comsol – Deo izveštaja računarske simulacije	68

Sadržaj slika:		strana
2.1.	Profil apsolutnog statičkog pritiska fluida na zid cevi.	4
3.1.	Algoritam ispitivanja novih oblika mernih blendi.	8
3.2.	Merne blende dizajnirane u programskom paketu Solid Works.	11
3.3.	Radno okruženje za unos parametara simulacije programskog paketa COMSOL Multiphysics	14
3.4.	Mreže konačnih razlika korišćene za ispitivane merne blende	16
3.5.	3D štampač NEO, proizvođača German Reprap Gmbh, Nemačka	17
3.6.	Slika kalema sa PLA materijalom za 3D štampanje, proizvođača German RepRap Gmbh, Nemačka, (kataloška oznaka PLA 100327)	17
3.7.	Dijalog prozor "Object placement", odabir položaja i orijentacije predmeta koji se izrađuje	19
3.8.	Dijalog prozor "Slicer", kartica "Print Settings", izbor debljine slojeva i vrste popune koji će se nanositi	19
3.9.	Dijalog prozor "Slicer", kartica "Filament Settings", opcija "Infill", izbor gustine popune i ugla punjenja	20
3.10.	Dijalog prozor "Slicer", kartica "Filament Settings", opcija "Filament", izbor temperature	20
3.11.	Dijalog prozor "Slicer", kartica "Printer Settings", podešavanje položaja platforme	21
3.12.	Dijalog prozor "Slicer", kartica "G-Code Editor", prikaz putanje glave ekstrudera pri izradi predmeta, prikaz očekivanog vremena izrade i utroška materijala, odnosno potrebne dužine materijala na kalemu i zapremine materijala za izradu	22
3.13.	Fotografije mernih blendi koje su izrađene 3D štampom i upotrebljene u laboratorijskoj proveri	23
3.14.	Šematski prikaz laboratorijske aparature za ispitivanje mernih blendi	24
3.15.	Fotografija laboratorijske aparature na kojoj kojoj su ispitivane merne blende	25
3.16.	Izgled i položaj rupa za centriranje u prirubnicama koje obezbeđuju pravilan položaj merne blende pri postavljanju i ispitivanju	26

3.17.	Fotografija diferencijalnog "U" manometra specijalno projektovanog i napravljenog za merenje malih razlika pritiska	26
3.18.	Fotografija slobodnog isticanja vode iz laboratorijske aparature u rezervoar	28
3.19.	Način fotografisanja razlika nivoa stubova radne tečnosti pomoću mobilnog telefona i stalka	30
3.20.	Primer fotografije, pre uveličanja, napravljene mobilnim telefonom sa koje se očitava vrednost razlike nivoa radne tečnosti	30
3.21.	Primer uveličane fotografije napravljene mobilnim telefonom sa koje se očitavala vrednost Δh	31
4.1.	Grafički prikaz simulacija protoka kroz ispitivane merne blende dobijenih primenom programskog paketa COMSOL Multiphysics	33
4.2.	Profili pritiska fluida na zid cevi duž linije za ispitivanje dobijeni simulacijom u programskom paketu COMSOL Multiphysics za sva četiri predložena oblika mernih blendi	34
4.3.	Pad pritiska na mernoj blendi kao elementu cevovoda određen eksperimentalno i računarskom simulacijom	39
4.4.	Pad pritiska na mernim mestima neposredno pre i posle merne blende određen eksperimentalno i računarskom simulacijom	40

Sadržaj tabela:

3.1.	Parametri procesa odabrani za računarsku simulaciju i laboratorijsko ispitivanje.	10
3.2.	Parametri mreža korišćenih u računarskoj simulaciji.	15
3.3.	Tehničke karakteristike PLA korišćenog za izradu mernih blendi	18
3.4.	Osnovni parametri izrade mernih blendi na 3D štampaču	22
4.1.	Podaci konvergencije i iterativnog postupka simulacije	32
4.2.	Vrednosti razlika pritisaka Δp i $\Delta \omega$ računarske simulacije	35
4.3.	Rezultati merenja za sve 4 ispitivane merne blende	37
4.4.	Rezultati merenja za sve 4 ispitivane merne blende, preračunati u Paskale	38

1. Uvod i cilj rada

Pokušaji kontinuiranog merenje protoka fluida veoma su stari. Potiču još iz starog Egipta gde se pomoću mernih brana merio protok vode u kanalima za navodnjavanje. Rimljani su u vreme Cezara merili potrošnju vode jednom vrstom blende [1]. Sve to su bile čisto empirijske metode. Tek u 18. veku Bernuli je postavio teorijske osnove, na kojima se temelji nekoliko savremenih metoda za merenje protoka. Prva Venturijeva cev je konstruisana 1887. godine [2].

Danas se u mnogim granama tehnike javlja potreba za merenjem protoka. Od merača protoka se zahteva velika tačnost, preciznost i trajnost. Merne blende predstavljaju jedan od najzastupljenijih instrumenata za merenje protoka fluida koji protiču kroz cevovod. One rade na jednostavnom principu promene brzine i pritiska fluida u cevovodu uzrokovanih umetanjem prstena koji privremeno sužava tok fluida. Međutim, posledica tog privremenog suženja toka fluida je takođe i otpor merne blende kao elementa cevovoda koji daje pad apsolutnog statičkog pritiska fluida ($\Delta\omega$), koji se mora nadoknaditi radom pumpe i koji samim tim povećava troškove rada industrijskih postrojenja i cevovoda.

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije su merne blende. Jedan od ciljeva istraživanja urađenih u okviru ove doktorske disertacije je ispitivanje novih oblika mernih blendi sa naglaskom na uštedu energije pri njihovom radu, njihovoj preciznosti i tačnosti merenja protoka.

Pošto je u istraživanjima u ovoj doktorskoj disertaciji bilo neophodno očitavati male razlike pritisaka, u tu svrhu konstruisan je diferencijalni „U“ manometar za te potrebe. Takođe je za potrebe ovog rada osmišljena i napravljena laboratorijska linija za ispitivanje mernih blendi. U ovom radu biće ispitana i mogućnost primene 3D štampe u izradi mernih blendi za potrebe laboratorijskih ispitivanja, kao i njihov materijal izrade.

Jedan od ciljeva ove doktorske disertacije je i ispitivanje numeričkih modela i parametara koji se koriste u računarskim simulacijama i njihova tačnost, kako bi se formirao model koji bi što približnije i tačnije simulirao ponašanje sistema.

2. Teorijski deo

2.1. Merači protoka

Problemi merenja protoka fluida javljaju se u mnogim granama tehnike, kao što je procesna industrija, snabdevanje vodom ili odvođenje otpadnih voda, kao i u mnogim drugim oblastima. Fluidi, čiji se protok ili brzina meri, mogu biti gasovi, tečnosti ili tečnosti pomešane sa čvrstim sastojcima. Od merača protoka se zahteva velika tačnost, preciznost i trajnost. Takođe se zahteva i rad pri ekstremnim uslovima temperature i pritiska, kao i rad sa agresivnim fluidima. Brzina odziva je od ključnog značaja u procesnoj industriji.

U industriji instrumenti za merenje protoka predstavljaju sastavne delove regulatora procesa ili pripadaju sistemima za automatsko upravljanje pomoću računara. U oblasti snabdevanja vodom (pijaćom vodom, vodom za navodnjavanje, odvođenje otpadnih voda...), tečnim ili gasovitim gorivima, procesnoj industriji, merači protoka predstavljaju osnovne delove brojila, kojim se meri protekla količina fluida. S obzirom da se radi o upravljanju u zahtevnoj procesnoj industriji ili naplati velikih novčanih iznosa, jasno je da se od merača protoka zahteva vrlo velika tačnost i pouzdanost.

Do danas je, s obzirom na ekonomsku i tehnološku važnost merenja protoka, razvijen veliki broj postupaka i uređaja. Prema principu merenja, merače protoka možemo podeliti u sledeće grupe[1]:

- merači na bazi prigušenja (merne blende, Venturijeve cevi i mlaznice),
- merači na bazi merenja brzine fluida (merna kolena, Pitoove cevi, dinamometarski merači, rotametri, turbinski, elektromagnetni, ultrazvučni, kalorimetrijski i dr.),
- merači za neposredno zapreminsko merenje (klipni, krilni, zupčasti merači i dr.),
- merači masenog protoka (Koriolisov merač, žiroskopski merač i dr.).

2.2. Merne blende

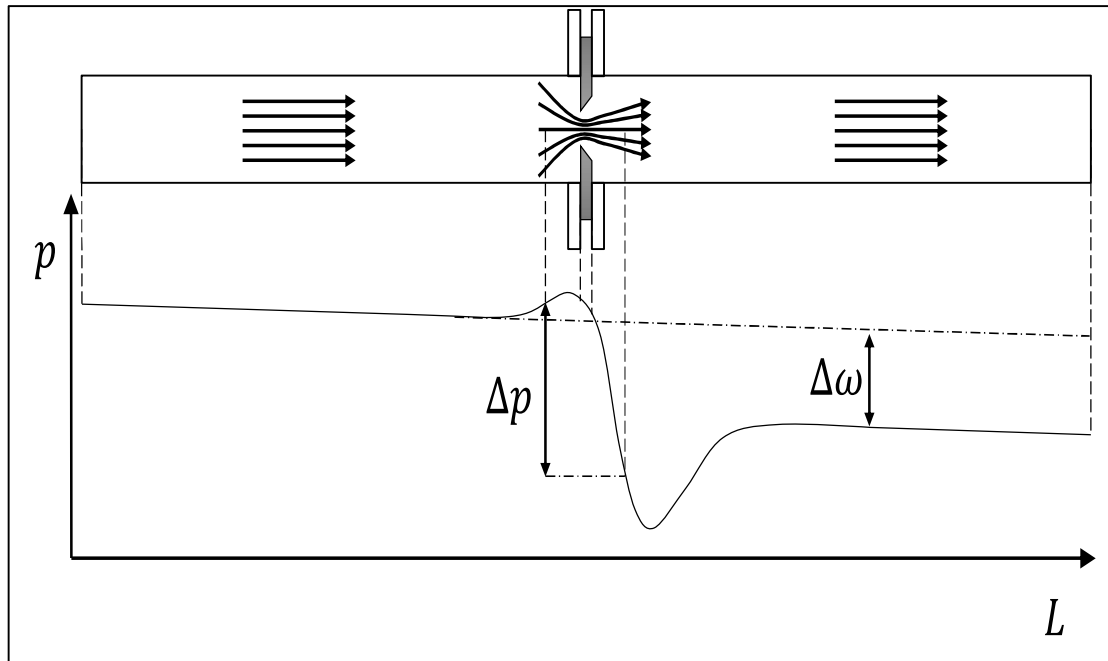
Merne blende predstavljaju najzastupljeniji instrument za merenje protoka fluida koji protiču kroz cevovod. Teorijski posmatrano, ovi merači su veoma kompleksni i za tačno merenje potrebno

je ispuniti više uslova na samom mernom mestu [1]. I pored toga one imaju mnoge prednosti u odnosu na druge instrumente, kao što su jednostavna konstrukcija, niski troškovi rada, laka ugradnja i zamena, i nepostojanje pokretnih delova. Mogu se koristiti i pod ekstremnim uslovima pritiska i temperature. Takođe se mogu koristiti i za merenje protoka agresivnih fluida. Merne blende su vrlo dobro definisane kroz standarde, a imaju i dugogodišnju tradiciju. Izrada, tok proračuna i uslovi ugradnje definisani su kroz niz internacionalnih propisa i standarda [3,4].

Merne blende spadaju u primane uređaje. Pod primarnim uređajima se smatraju uređaji koji se direktno ugrađuju u cevovod. Ovim terminom su obuhvaćeni i uređaji za merenje pritiska. Svi ostali uređaji potrebni za merenje su sekundarni uređaji [1].

Merne blende rade na jednostavnom principu promene brzine i pritiska fluida uzrokovanih privremenim smanjenjem raspoložive površine poprečnog preseka toka fluida. Lokalno smanjenje poprečnog preseka toka fluida se postiže pomoću prstena koji sužava raspoloživi tok fluida. Ujedno, to suženje prouzrokuje i nagli pad pritiska, odnosno stvaranje razlike pritisaka neposredno pre i posle merne blende. Merenjem pada apsolutnog statičkog pritiska fluida na mernim mestima neposredno pre i posle merne blende (Δp) dobija se podatak o padu pritiska koji daje mogućnost za određivanje protoka. Posledica tog privremenog suženja toka fluida je takođe i otpor merne blende kao elementa cevovoda koji daje pad apsolutnog statičkog pritiska fluida ($\Delta \omega$) koji se mora nadoknaditi i koji samim tim povećava troškove rada industrijskih postrojenja i cevovoda. Međutim, osim vrednosti $\Delta \omega$ bitna je i preciznost merenja protoka pomoću merne blende. Ako se Δp ne menja dovoljno brzo i ako ne može biti merljiv sa promenom protoka, onda se protok ne može izmeriti sa zadovoljavajućom preciznošću.

Apsolutni statički pritisak fluida pre nailaska na mernu blendu opada linearno zbog podužnog otpora. Nailaskom fluida na prednju stranu merne blende vrednost pritiska prvo blago raste zbog udara fluida u nju. Pri prolasku fluida kroz otvor na mernoj blendi vrednost pritiska opada usled otpora merne blende, sve dok ne dostigne minimalnu vrednost, nakon čega se ponovo povećava. Pritisak se povećava do vrednosti koja je manja od vrednosti pritiska pre nailaska na mernu blendu, nakon čega ponovo nastavlja da opada linearno zbog podužnog otpora. Profil promene vrednosti pritiska po dužini cevovoda prikazan je na slici 2.1.



Slika 2.1. Profil apsolutnog statičkog pritiska fluida na zid cevi.

Postoje tri 3 standardna tipa mernih blendi, koji su propisani međunarodnim standardima: ISO 5167-1:2003 [3], i ISO 5167-2:2003 [4], a koji se razlikuju po položaju mernih priključaka na kojima se meri Δp :

- merne blende sa mernim priključcima na rastojanju D i $D/2$ od merne blende,
- merne blende sa mernim priključcima smeštenim u prirubnicama,
- merne blende sa mernim priključcima pod uglom.

Gde D predstavlja unutrašnji prečnik cevovoda. Merni priključak je otvor izbušen u zidu cevi čija je unutrašnja ivica u ravni sa unutrašnjom površinom cevovoda. Merni priključci moraju biti na istoj ravni, odnosno na zamišljenoj liniji na zidu cevi koji prati tok fluida. Otvor je kružnog oblika, unutrašnjeg prečnika ne manjeg od $0,13 D$, maksimalno 13 (mm).

2.3. Pregled dosadašnjih istraživanja

Merne blende su, kao konstantni potrošači energije a samim tim i novca, oduvek bile predmet istraživanja. Istraživanja su se kretala u više pravaca. Ispitivana je njihova geometrija, novi oblici i njihov uticaj na tačnost i preciznost merenja. Takođe su postavljeni matematički modeli kojima je opisan njihov rad. Istraživanja su se kretala u više pravaca.

Jedan pravac istraživanja je išao ka postavljanju matematičkih modela sa ciljem da opišu rad mernih blendi i predvide njihovo ponašanje, kao i ponašanje novih oblika. U početnim istraživanjima su se merne blende ispitivale u laboratorijskim uslovima. Postavljeni matematički modeli su se poredili sa eksperimentalnim rezultatima. Rešavanje sistema diferencijalnih jednačina, koje je bilo neophodno rešiti da bi se matematički modeli uporedili sa eksperimentalnim rezultatima, bio je dug i mukotrpan proces. Pojavom računarske dinamike fluida (eng. Computational Fluid Dynamics, CFD) koja je nastala zajedno sa naglim razvojem brzine i kapaciteta računara, omogućeno je rešavanje postavljenih sistema diferencijalnih jednačina pomoću različitih programskih paketa (npr. SolidWorks Flow Simulation, COMSOL Multiphysics, Ansys Fluent) na brz efikasan i zadovoljavajući način. Drugi pravac istraživanja je išao ka smanjenju pada pritiska merne blende kao elementa cevovoda ($\Delta\omega$), čime bi se postigla željena ušteda energije, ali uz zadovoljavajuću preciznost i tačnost merenja koja se manifestuje razlikom pritisaka neposredno pre i posle merne blende (Δp).

Nicolleau, (2013) je ispitivao nove oblike mernih blendi [5]. Eksperimentalno su ispitane dve serije od po 5 mernih blendi, od kojih je u svakoj seriji jedna bila standardnog oblika. U prvoj seriji eksperimentalno je ispitana merna blenda sa otvorom u obliku trougla i fraktalni oblici napravljeni iz njega, ukupno 4 nivoa iteracije. U drugoj seriji eksperimenata je korišćena perforirana ploča od koje su takođe napravljeni fraktalni oblici u 4 nivoa iteracije. Sve ispitane merne blende su imale istu površinu otvora. Predmet istraživanja Gronych-a i sar., (2012) je takođe bilo eksperimentalno ispitivanje mernih blendi sa više otvora [6]. Montagna i sar., (2018) su ispitivali merne blende sa promenljivim otvorom [7]. Qiao i sar., (2019) su ispitivali tok i profil brzine nizvodno od merne blende. Eksperimentalno je ispitano nekoliko oblika mernih blendi. U ovim eksperimentima ispitivane merne blende su bile postavljene vertikalno. [8]. Rydlewicz i sar., (2019) su ispitivali eksperimentalno uticaj merne blende na pulsiranje cevovoda nizvodno od

merne blende. Ispitan je uticaj mernih blendi standardnog oblika sa različitim prečnicima otvora [9]. Mogućnost merenja razlike pritiska pomoću senzora je bilo predmet ispitivanja Krassow-a i sar., (1999). Rezultati su poređeni sa računarskom simulacijom [10]. Perumal i sar., (2018) su u laboratorijskim uslovima ispitivali klasičan oblik i nove oblike mernih blendi i poredili ih sa računarskom simulacijom u programskom paketu Ansys FLUENT. Ovi eksperimenti su upotrebljeni i u obrazovne svrhe, kao laboratorijska vežba [11]. Mubarok H i sar., (2019) su ispitivali u programskom paketu Ansys FLUENT standardnu i ekscentričnu mernu blendu i poredili je sa podacima iz prakse [12]. Seriji ispitivanja u kojoj su ispitane merne blende raznih oblika, ali iste površine otvora pripada i istraživanje Rudolf-a P i sar., (2017) [13]. Wang LQ i sar., (2018) su eksperimentalno ispitivali klasičnu mernu blendu i poredili je takođe sa mernom blendom iste površine, kvadratnog oblika [14]. Xu M Y i sar., (2013) su takođe eksperimentalno ispitivali klasičnu mernu blendu i mernu blendu u obliku trougla, identičnih površina otvora [15]. Pomoću računarske simulacije u programskom paketu Ansys FLUENT Kumar P i sar., (2011) su ispitivali merne blende sa više malih otvora različitih oblika, umesto klasičnog otvora. I u ovom ispitivanju je takođe bila uključena i merna blenda standardnog oblika [16]. Moosa M i sar., (2019) su poredili rezultate ispitivanja standardne merne blende kao i mernih blendi sa više otvora različitih oblika iz drugih radova, sa rezultatima koje su oni dobili u računarskim simulacijama u programskom paketu Ansys FLUENT metodom konačnih zapremina. Korišćen je k- ϵ model za opisivanje turbulentne viskoznosti. Ispitivane su karakteristike toka pre i posle merne blende [17]. Tri merne blende klasičnog oblika ali različitih prečnika, Danesh M i sar., (2018) su ispitivali, u računarskoj simulaciji u programskom paketu Ansys FLUENT. Rezultati računarske simulacije su poređeni sa empirijskim jednačinama [18]. Khan Z i sar., (2018) su ispitivali pad pritiska ispred i iza merne blende dvofaznih sistema gas tečnost pomoću računarske simulacije u programskom paketu Ansys FLUENT [19]. Singh VK i sar., (2015) su u programskom paketu Ansys FLUENT ispitivali mernu blendu standardnog oblika i seriju od 7 mernih blendi sa više otvora, ali iste ukupne površine otvora kao i kod standardne merne blende. Rezultati računarske simulacije su poređeni sa rezultatima iz literature [20]. U svom radu Tukiman MM i sar., (2017) su u programskom paketu Open FOAM, u računarskoj simulaciji analizirali profile brzina i pritiska, kao i položaj "vena contracte". Dobijene rezultate su poredili sa ranije objavljenim rezultatima u literaturi [21]. Bramaramba V i sar., (2015) su koristili programski paket Solid Works za

računarsku simulaciju merne blende i mlaznice. Rezultati su poređeni sa matematičkim modelima [22]. Shaaban S., (2014) je pomoću računarske simulacije u programskom paketu Ansys Fluent ispitivao mogućnost optimizacije pada pritiska umetanjem prstena nizvodno od merne blende. Predložen je i algoritam optimizacije [23]. U svojim istraživanjima Manish S i sar., (2012) su rezultate računarske simulacije u programskom paketu Open FOAM poredili sa svojim ranijim eksperimentalnim radovima. Takođe su ispitivali i položaj vena-contracte [24]. Ispitivanja nisu vršena samo u laboratorijskim uslovima. Mubarak H i sar., (2018) su proučavali merne blende klasičnog i ekscentričnog oblika na geotermalnom postrojenju u radu. Dobijene rezultate su poredili sa rezultatima računarske simulacije u programskom paketu ANSYS Fluent [25].

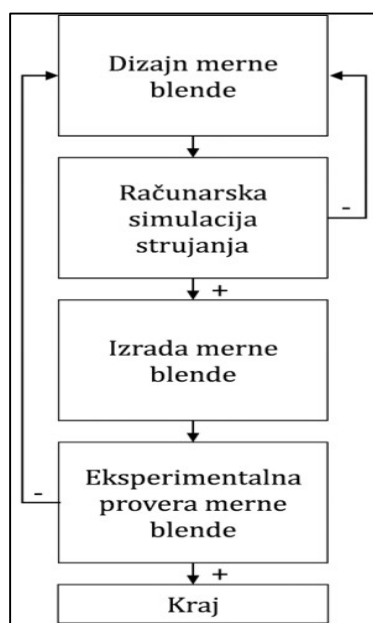
3. Eksperimentalni deo

3.1. Organizacija eksperimentalnog rada

Osmisliti, izraditi i ispitati nove oblike mernih blendi je skup i dugotrajan proces koji zahteva vreme i resurse. Razvojem računarske dinamike fluida ovaj posao je znatno olakšan i ubrzan. Novi oblici se lako mogu kreirati u programskim paketima za crtanje i projektovanje. Rezultati računarskih simulacija se mogu dobiti u obliku raznih grafičkih prikaza i u numeričkom obliku. Međutim, rezultati računarskih simulacija moraju dobiti svoju potvrdu i u praksi, odnosno potrebno ih je potvrditi u realnim uslovima. Što znači da se oni moraju i izraditi da bi se ispitili [26].

Pojavom 3D štampača, postalo je moguće na brz i efikasan način bilo koji predmet koji je konstruisan u nekom od programskih paketa za crtanje, poslati direktno na izradu pomoću 3D štampe. Tako se i predloženi oblici mernih blendi mogu lako, brzo i precizno izraditi pomoću 3D štampe, a zatim koristiti za laboratorijska ili neka druga ispitivanja.

U ovom radu je predložen metod brzog i efikasnog ispitivanja novih oblika mernih blendi primenom računarske dinamike fluida i tehnologije 3D štampe. Cilj ispitivanja novih oblika je postizanje manje vrednost pada pritiska $\Delta\omega$ uz zadovoljavajuću preciznost merenja protoka. Predložen je i algoritam toka ispitivanja. Predloženi algoritam je prikazan na slici 3.1.



Slika 3.1. Algoritam ispitivanja novih oblika mernih blendi.

Predloženim algoritmom, u prvom koraku se novi oblik merne blende, za koji se predpostavlja da će postići željene efekte, dizajnira u odgovarajućem odabranom programskom paketu.

Zatim se, u drugom koraku, ispituje pomoću računarske simulacije. U slučaju da rezultati računarske simulacije ne daju željene efekte, dizajnira se novi ili poboljšava već predloženi oblik merne blende, koji se ponovo ispituje pomoću računarske simulacije.

U slučaju postizanja željenih efekata, u trećem koraku, novi oblik merne blende se se izrađuje 3D štampom.

U četvrtom koraku merna blenda se ispituje, pod istim uslovima kao u računarskoj simulaciji, u laboratorijskim uslovima. U slučaju dobijanja zadovoljavajućih laboratorijskih rezultata, dobijen je novi oblik merne blende koji ostvaruje željene efekte. U slučaju da se podaci računarske simulacije i eksperimentalne provere ne poklapaju, proces se vraća na početak. Takođe je u tom slučaju potrebno analizirati i predloženi matematički model i poboljšati ga.

3.2. Dizajniranje novih oblika mernih blendi

3.2.1. Određivanje osnovnih parametara ispitivanja

Predloženi algoritam, prikazan na slici 3.1., predviđa poređenje rezultata računarske simulacije strujanja sa rezultatima eksperimentalne provere. To znači da je na početku potrebno odrediti osnovne parametre procesa tako da se oni mogu postići u laboratorijskim uslovima. Osnovni parametri procesa su:

- vrsta fluida za ispitivanje,
- protok fluida,
- dimenzije standardne merne blende,
- izbor uređaj za merenje pada pritiska.

Potrebno je odabrati fluid za koji postoji puno podataka u literaturi, koji je lako dostupan i bezbedan za rad. Fluid može biti gas ili tečnost. Najpovoljniji izbor su vazduh kao gas ili voda kao tečnost. Vrednost protoka je potrebno odabrati tako da se pri odabranom prečniku cevovoda postiže brzina strujanja fluida pomoću koje se postiže turbolentni režim strujanja. U slučaju izbora tečnosti kao fluida potrebno je postići i pun tok fluida.

Svaki novi dizajn merne blende proizilazi iz standardnog oblika i treba da postigne manji pad pritiska fluida pri strujanju kroz mernu blendu pri odabranom protoku nego standardni oblik, sa kojim će se porediti. Zato je neophodno odrediti dimenzije standardnog oblika merne blende, pomoću koga će se predpostaviti maksimalni moguć pad pritiska. Standardni oblik merne blende se određuje prema odabranom prečniku cevovoda.

Nakon predpostavljenog maksimalnog pada pritiska pri prolasku odabranog fluida kroz mernu blendu pri odabranom protoku, potrebno je odabrati odgovarajući uređaj za merenje pada pritiska. Najpovoljniji uređaj je diferencijalni "U" manometar. Pogodnim odabirom radne tečnosti i maksimalne razlike visina stubova radne tečnosti diferencijalnog "U" manometra može se dobiti željeni opseg i velika preciznost merenja razlike pritisaka pre i posle merne blende. Još jedna prednost i pogodnost ovih uređaja je da nije potrebno njihovo kalibrisanje.

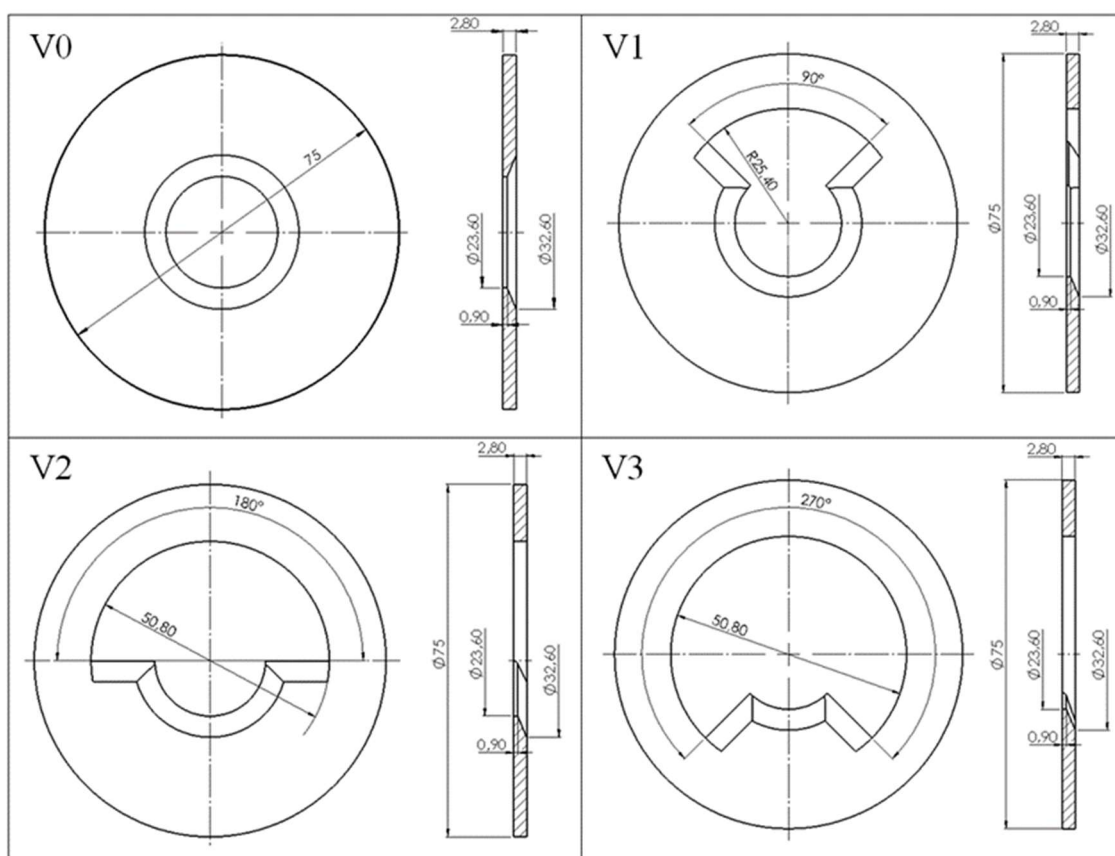
U ovom radu, za ispitivanje novih oblika mernih blendi prema predloženom algoritmu, odabrana je voda kao fluid za ispitivanje, a kao radna tečnost u diferencijalnom "U" manometru je odabran CHCl_3 . Ostali odabrani parametri procesa prikazani su u tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Parametri procesa odabrani za računarsku simulaciju i laboratorijsko ispitivanje.

Parametar	Oznaka	Vrednost	Jedinica
Zapreminski protok fluida	V_{zap}	$0,60 \times 10^{-3}$	(m^3/s)
Unutrašnji prečnik cevovoda	D	50,80	(mm)
Prečnik otvora merne blende	d_o	23,60	(mm)
Debljina merne blende	d_{mb}	2,80	(mm)
Temperatura fluida i okoline	T	20	($^{\circ}\text{C}$)
Maksimalna razlika visina stubova radne tečnosti	Δh_{max}	600	(mm)

3.2.2. Kreiranje novih oblika mernih blendi

Prvi korak, po predloženom algoritmu, podrazumevao je osmišljavanje i dizajniranje novih oblika mernih blendi. Merne blende su dizajnirane u programskom paketu SolidWorks Premium 2015 (Dessault Systemes, Francuska) [27,28]. Crteži osmišljenih oblika mernih blendi koji su predloženi i ispitani u ovom radu, kao i referentna koja je služila za poređenje, prikazani su na slici 3.2.



Slika 3.2. Merne blende dizajnirane u programskom paketu SolidWorks.

Kreirana je serija od četiri merne blende koje su označene oznakama od V0 do V3, kako je prikazano na slici 3.2. Prva merna blenda (V0) je standardnog oblika i dimenzija prema ISO 5167-2:2003 standardu [3,4]. Prečnik otvora merne blende iznosi $d_o=23,60$ (mm). Konstrukcija ostale tri je takva da je zatvoreni deo merne blende (prsten) smanjivan je za jednu četvrtinu u verziji V1, a za još po jednu četvrtinu više u svakoj narednoj verziji. Verzija V1 ima isečen deo prstena u gornjem delu od 90° , verzija V2 od 180° , a verzija V3 od 270° . Takvim dizajnom je smanjen otpor protoku fluida povećanjem dela poprečnog preseka merne blende dostupnog za

protok. Položaj svih isečenih delova prstena je nasuprot izvoda za merenje razlike pritisaka. Ovakvim konstrukcijama mernih blendi omogućava se protok fluida u onim oblastima gde se ne nalaze merna mesta za merenje Δp , što dovodi do smanjena $\Delta \omega$. Debljina svih mernih blendi je $d_{mb}=2,80$ (mm).

3.3. Računarska simulacija

Drugi korak, po predloženom algoritmu, sastojao se od računarske simulacija strujanja fluida kroz cevovod sa ugrađenom mernom blendom. Za simulaciju strujanja odabran je programski paket COMSOL Multiphysics 5.2 (COMSOL Inc., SAD). Za simulaciju je upotrebljen stoni računar Fujitsu Celsius, sa Intel Xeon CPU E5-1650 v2 procesorom na 3,5 GHz, sa 32 GB RAM memorije, na 64-bitnom operativnom sistemu Windows 10 Pro. Ispitivane merne blende su uvezene iz programskog paketa SolidWorks, gde su kreirani CAD (eng. Computer-Aided Design) modeli mernih blendi, prebačene u datoteke sa ekstenzijom STL (eng. Standard Tessellation Language). Te datoteke su upotrebljene za računarsku simulaciju u programskom paketu COMSOL Multiphysics [29,30]. Na ovaj način je obezbeđeno da su merne blende koje su osmišljene i kreirane u prvom koraku identične onima koje su korišćene u računarskoj simulaciji.

Za rešavanje sistema parcijalnih diferencijalnih jednačina upotrebljen je metod konačnih razlika. Upotrebljena je PARDISO direktna numerička metoda zasnovana na LU dekompoziciji matrice [31]. Jednačine koje su upotrebljene prilikom simulacije strujanja fluida zasnivaju se na Rejnoldsovom obliku Navije-Stoksove jednačine - RANS modelu (eng. Reynolds-averaged Navier-Stokes) i jednačini kontinuiteta za nestišljiv fluid:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\nabla p + \nabla \cdot ((\nu + \nu_T) \cdot (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)) \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

gde je ν kinematička viskoznost i zavisi, pri konstantnoj temperaturi, isključivo od prirode fluida, dok ν_T predstavlja turbulentnu viskoznost i ima za cilj da prikaže uticaj fluktuirajuće

brzine usled turbulencije. U ovom radu je korišćen k-ε model za opisivanje turbulentne viskoznosti:

$$\nu_T = \frac{C_\mu \cdot k^2}{\epsilon} \quad (3)$$

gde je k turbulentna kinetička energija, a ε brzina disipacije. Konstanta C_μ iznosi $C_\mu = 0,09$ ().

Da bi ovaj sistem parcijalnih diferencijalnih jednačina bio rešiv neophodno je postaviti jednačine koje definišu promenu parametara k i ε:

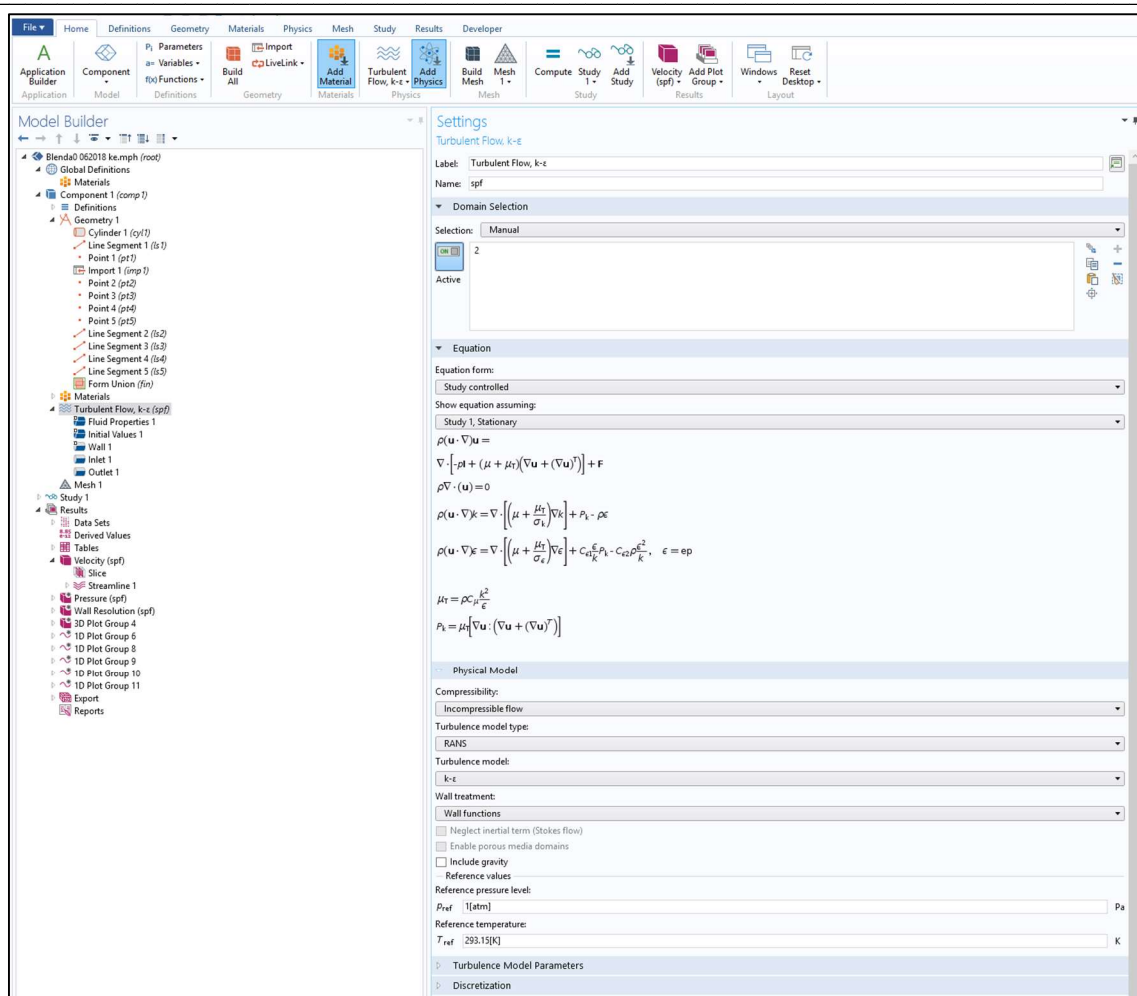
$$\frac{\partial k}{\partial t} + \nabla \cdot \left(k \cdot \mathbf{u} - \frac{\nu_T}{\sigma_k} \cdot \nabla k \right) = P_K - \epsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\epsilon \cdot \mathbf{u} - \frac{\nu_T}{\sigma_\epsilon} \cdot \nabla \epsilon \right) = \frac{\epsilon}{k} (C_1 \cdot P_K - C_2 \cdot \epsilon) \quad (5)$$

gde je P_K :

$$P_K = \frac{\nu_T}{2} (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)^2 \quad (6)$$

Usvojene vrednosti konstant su: $C_1=1,44$, $C_2=1,92$, $\sigma_k=1,0$, $\sigma_\epsilon=1,3$. Ove vrednosti su preuzete iz literature [32]. Takođe, ove vrednosti programski paket COMSOL Multiphysics uzima kao osnovne za k-ε model. Zadana relativna tolerancija stacionarne numeričke metode iznosila je $r_s=0,001$ (). Na slici 3.3. prikazano je radno okruženje za podešavanje dela parametara simulacije.



Slika 3.3. Radno okruženje za unos parametara simulacije programskog paketa COMSOL Multiphysics

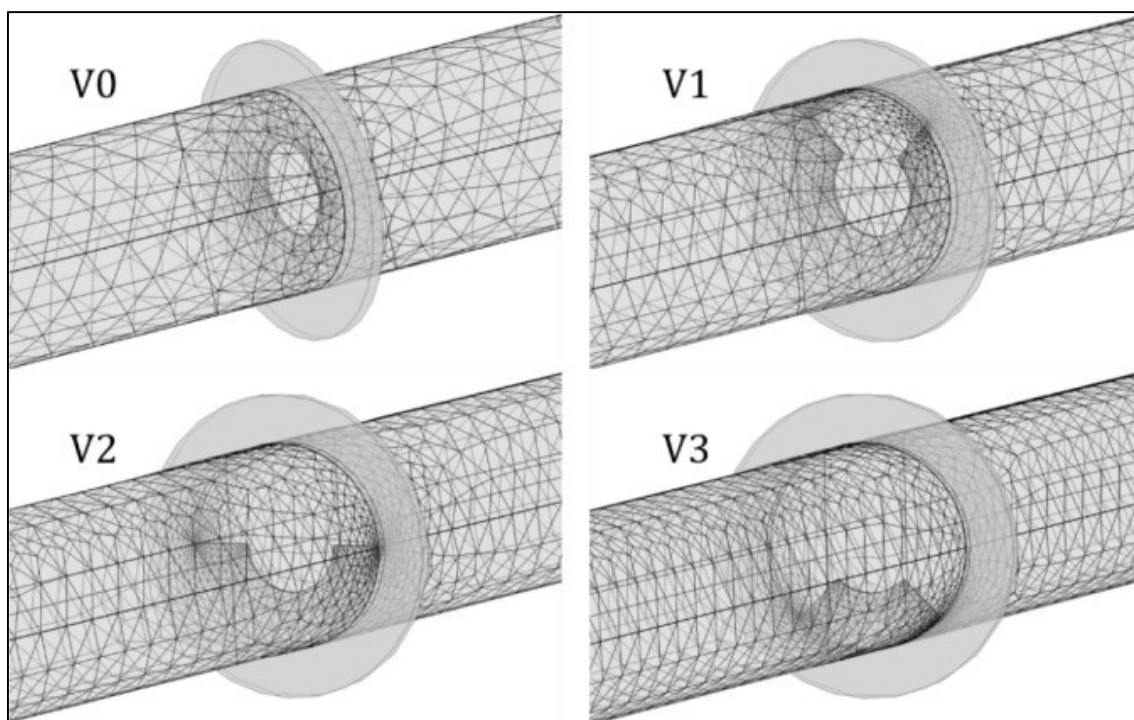
Sledeća stvar koja je bila neohodna za rešavanje navedenih jednačina su granični uslovi neophodni za dobijanje rešenja pri stacionarnom strujanju. Vrednosti graničnih uslova zadatih u simulaciji su unapred odabrane tako da su se mogle postići pri stacionarnim uslovima i na laboratorijskoj aparaturi. Zadat je zapreminski protok od $V_{zaps}=0,60 \times 10^{-3}$ (m³/s), tako da je uniformna brzina fluida na ulazu u cev iznosila je $w_{srs}=0,2959$ (m/s), što odgovara vrednosti Rejnoldsovog broja od $Re=15032$ (). Ova vrednost Rejnoldsovog broja se nalazi u turbulentnom opsegu. Pritisku na izlazu iz cevi je dodeljena vrednost atmosferskog pritiska (manometarski pritisak je iznosio $P_{man}=0$ (Pa)). Na zidu cevi i merne blende važi da je $w_{sz}=0$ (m/s) (nema „klizanja“, eng. no slip condition). Unapred je odabrana temperatura fluida i okoline od $T_s=20$ (°C). Fluid koji struji unutar cevovoda je voda. Fizička svojstva vode su preuzeta iz baze podataka programa za odabranu temperaturu.

Naredni korak računarske simulacije je bio postavljanje mreže konačnih razlika (eng. mesh) koja je neophodna za dobijanje i prikazivanje rešenja metodom konačnih razlika. Ispitane su predefinisane mreže različitih gustina i oblika. Zbog jednostavne geometrije i simetrije problema, nije uočen značajan uticaj tipa mreže na dobijene rezultate za mernu blendu V0. U cilju skraćivanja vremena simulacije (dostizanja konvergencije) i dobijanja rezultata odgovarajuće rezolucije, za sve ispitivane merne blende upotrebljena je predefinisana gruba mreža kontrolisana geometrijom i vrstom strujanja (eng. physics-controlled mesh, coarse mesh). Parametri mreže prikazani su u tabeli 3.2. za sve četiri ispitane merne blende.

Tabela 3.2. Parametri mreža korišćenih u RDF simulaciji.

Merna blenda	V0			V1		
Broj čvorova	23137			26967		
Ukupan broj elemenata	63926			75665		
Tip elementa	Tetraedar	Piramida	Prizma	Tetraedar	Piramida	Prizma
Broj	32080	331	31515	38925	575	36165
Merna blenda	V2			V3		
Broj čvorova	26546			26097		
Ukupan broj elemenata	74168			72496		
Tip elementa	Tetraedar	Piramida	Prizma	Tetraedar	Piramida	Prizma
Broj	37870	470	35828	36664	383	35449

Dobijene mreže konačnih razlika za sve dizajnirane merne blende su prikazane na slici 3.4.



Slika 3.4. Mreže konačnih razlika korišćene za ispitivane merne blende.

3.4. Izrada mernih blendi 3D štampom

Treći korak, po predloženom algoritmu, je bila izrada ispitivanih oblika mernih blendi. Merne blende su izrađene na „NEO 3D“ printeru (proizvođač German Reprap GmbH, Nemačka). Ovaj 3D štampač predmete izrađuje FDM postupkom (eng. Fused Deposition Modeling), odnosno modeliranjem nanošenjem rastopljenog materijala. Na slici 3.5. je prikazan NEO 3D štampač tokom izrade merne blende V0.

Materijal koji je odabran za izradu mernih blendi za potrebe laboratorijske provere je PLA. PLA je biorazgradivi termoplastični sintetski polimer. U zavisnosti od kojeg monomera je dobijen, označava se kao poli(mlečna kiselina) ako je dobijen iz mlečne kiseline, ili poli(laktid) ako je dobijen polimerizacijom laktida. Obe forme imaju iste konstitutivne jedinice



Slika 3.5. 3D štampač NEO, proizvođača German Reprap Gmbh, Nemačka.

koje se ponavljaju [33]. PLA koji se koristi za 3D štampu se isporučuje na kalemovima. Za izradu mernih blendi korišćen je PLA crvene boje (Cool Red PLA Spool) proizvođača German RepRap Gmbh, Nemačka, (kataloška oznaka PLA 100327).

Slika kalema sa PLA materijalom za 3D štampanje je prikazana na slici 3.6.



Slika 3.6. Slika kalema sa PLA materijalom za 3D štampanje, proizvođača German RepRap Gmbh, Nemačka, (kataloška oznaka PLA 100327).

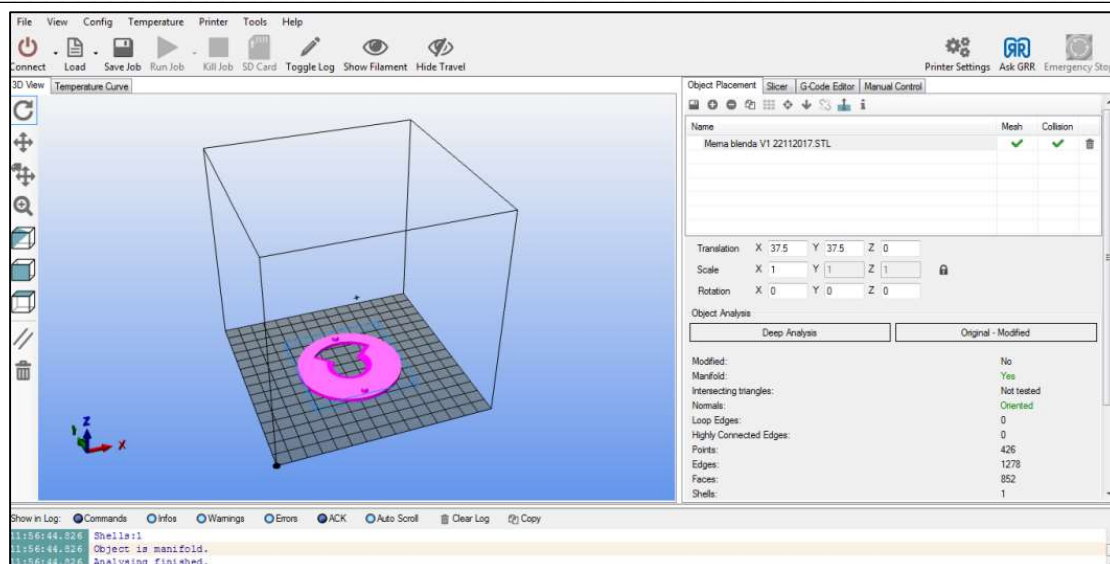
Najbitnije tehničke karakteristike PLA korišćenog za izradu mernih blendi, preuzete iz Tehničke specifikacije date u prilogu 1., date su u tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Tehničke karakteristike PLA korišćenog za izradu mernih blendi.

R.b.	Karakteristika	Jedinica	Vrednost
1	Gustina	g/cm ³	1,25
2	Indeks topljenja (190°C/2,16kg)	g/10min	2 – 10
3	Tačka topljenja	°C	170 – 180
4	Temperatura staklastog prelaza	°C	60 – 63
5	Zatezna čvrstoća	Mpa	>= 50
6	Prekidno izduženje	%	> 3
7	Molekulska masa	g/mol	70 000 – 110 000

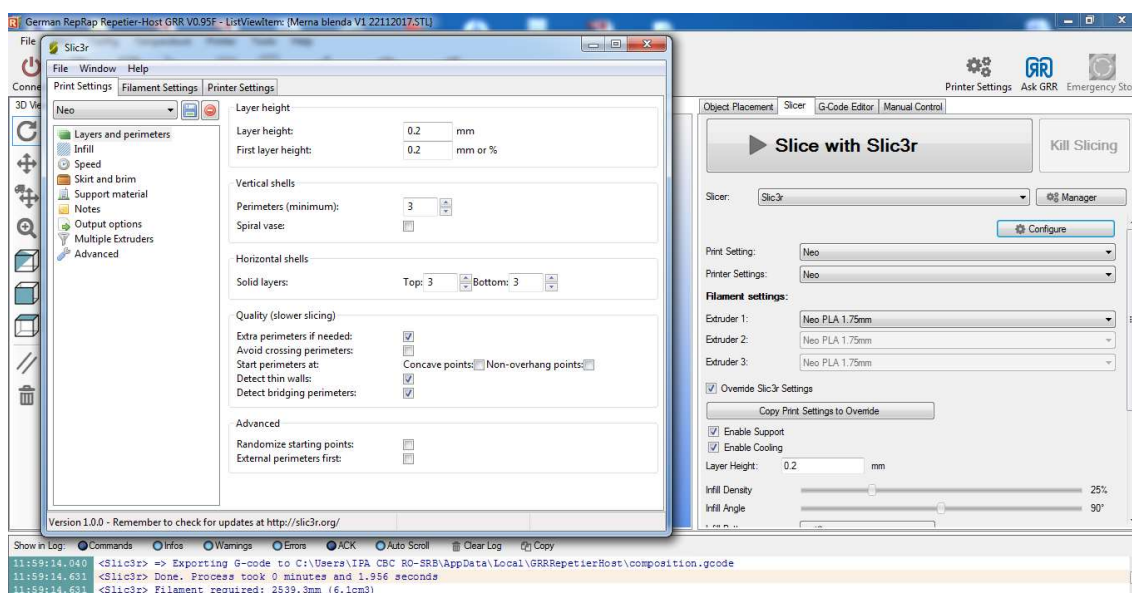
Za izradu mernih blendi 3D štampom korišćen je programski paket German RepRap Repetier-Host GRR V0.95V, proizvođača Hot-World GmbH&Co.KG na računaru Fujitsu Lifebook AH531, sa Intel Core i3-2310M procesorom na 2,10 GHz, sa 4 GB RAM memorije na 64-bitnom operativnom sistemu Windows 7 Professional. Upotrebom STL datoteka kreiranih u programskom paketu SolidWorks, koje su takođe upotrebljene i u računarskoj simulaciji, otklonjena je mogućnost greške u dimenzijama i obliku mernih blendi.

Nakon učitavanja STL datoteke neophodno je bilo podesiti niz parametara izrade. Na slici 3.7. prikazano je radno okruženje za unos nekih od njih. U dijalog prozoru “Object placement” se odabire odgovarajući položaj i orijentaciju predmeta koji se izrađuje. Za primer je uzeta merna blenda V1.



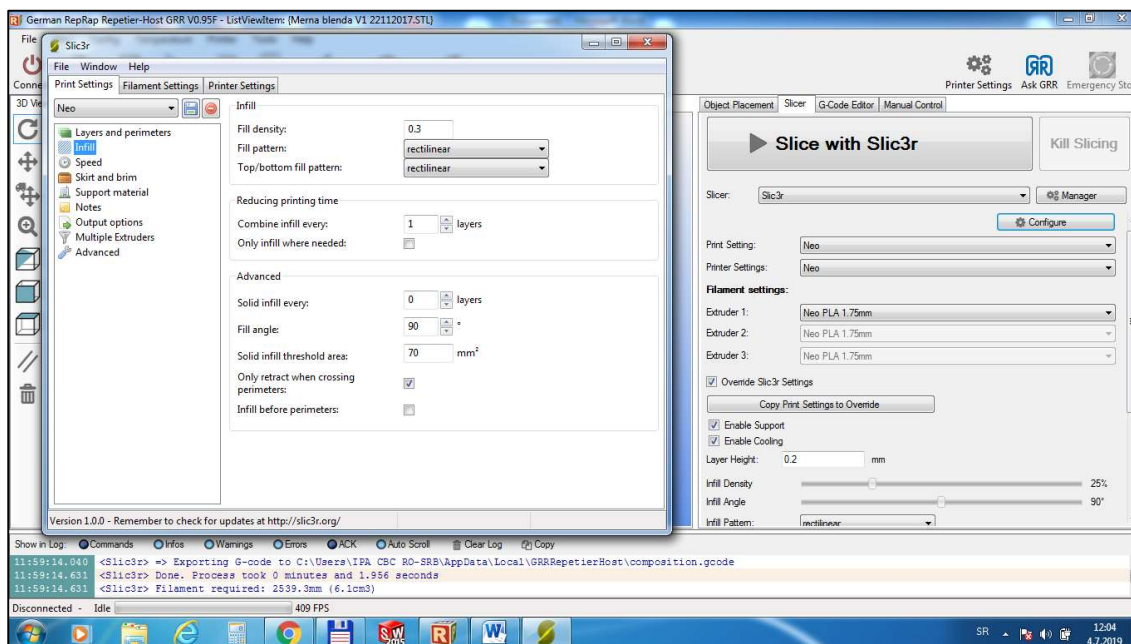
Slika 3.7. Dijalog prozor “Object placement”, odabir položaja i orijentacije predmeta koji se izrađuje.

Nakon toga se u dijalogu prozoru “Slicer”, koji je prikazan na slici 3.8. bira materijal za izradu predmeta i njegova debljina. U kartici “Print Settings” se bira debljina slojeva i vrsta popune koji će se nanositi. Može se odabrati da svi slojevi budu maksimalne gustine ili da željeni slojevi u dubini predmeta budu porozni. Za izradu mernih blendi odabran je materijal PLA debljine 1,75 (mm), maksimalne gustine popune, a za debljinu slojeva je odabrana vrednost od 0,2 (mm).



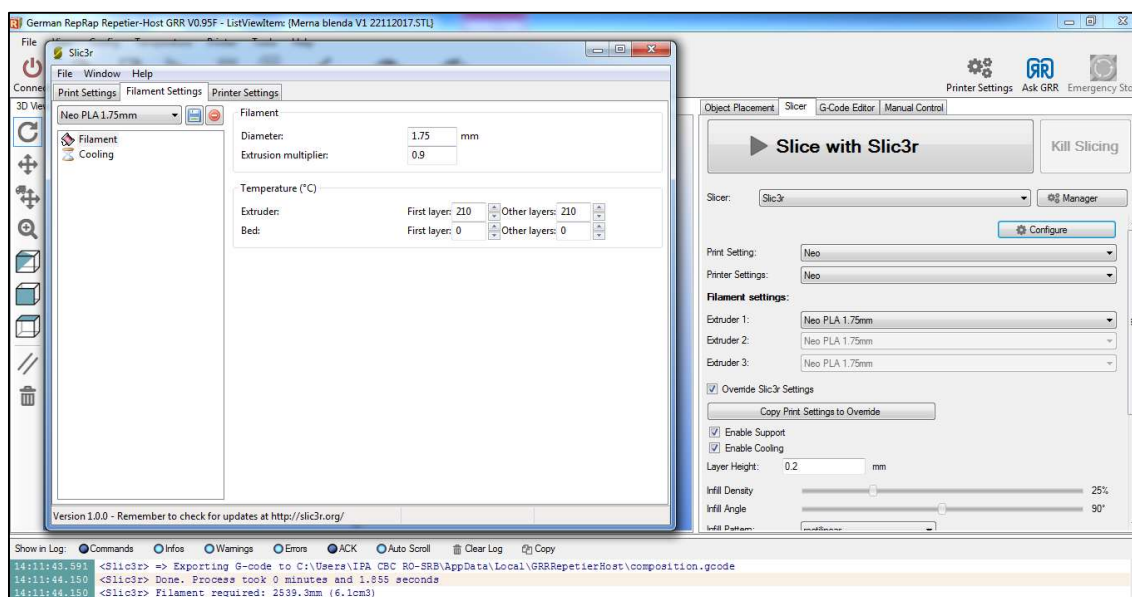
Slika 3.8. Dijalog prozor “Slicer”, kartica “Print Settings”, izbor debljine slojeva i vrste popune koji će se nanositi.

Sledeći korak je podešavanje gustine popune i ugao punjenja, što je prikazano na slici 3.9. dijalog prozora “Slicer”, kartice “Filament Settings”, opcije "Infill".



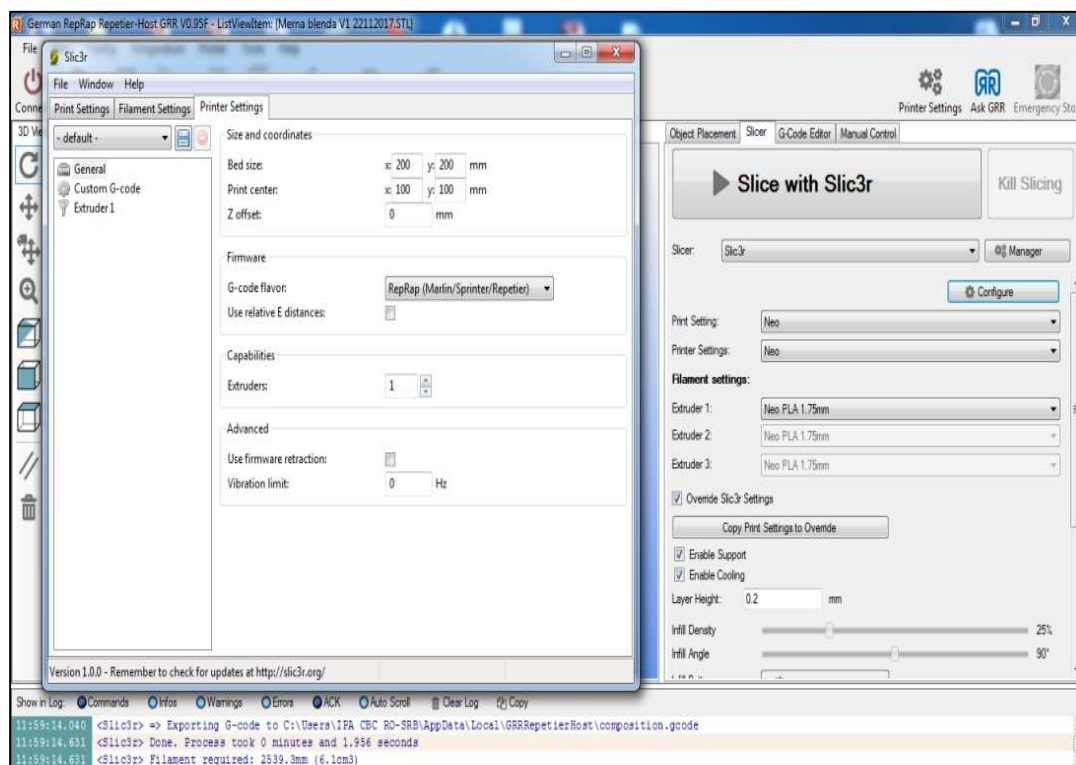
Slika 3.9. Dijalog prozor “Slicer”, kartica “Filament Settings”, opcija "Infill", izbor gustine popune i ugla punjenja.

Temperatura glave ekstrudera podešava se u kartici “Filament Settings” dijalog prozora “Slicer”, opciji "Filament", kao što je prikazano na slici 3.10. Za izradu mernih blendi je odabrana temperatura glave ekstrudera od 210 (°C).



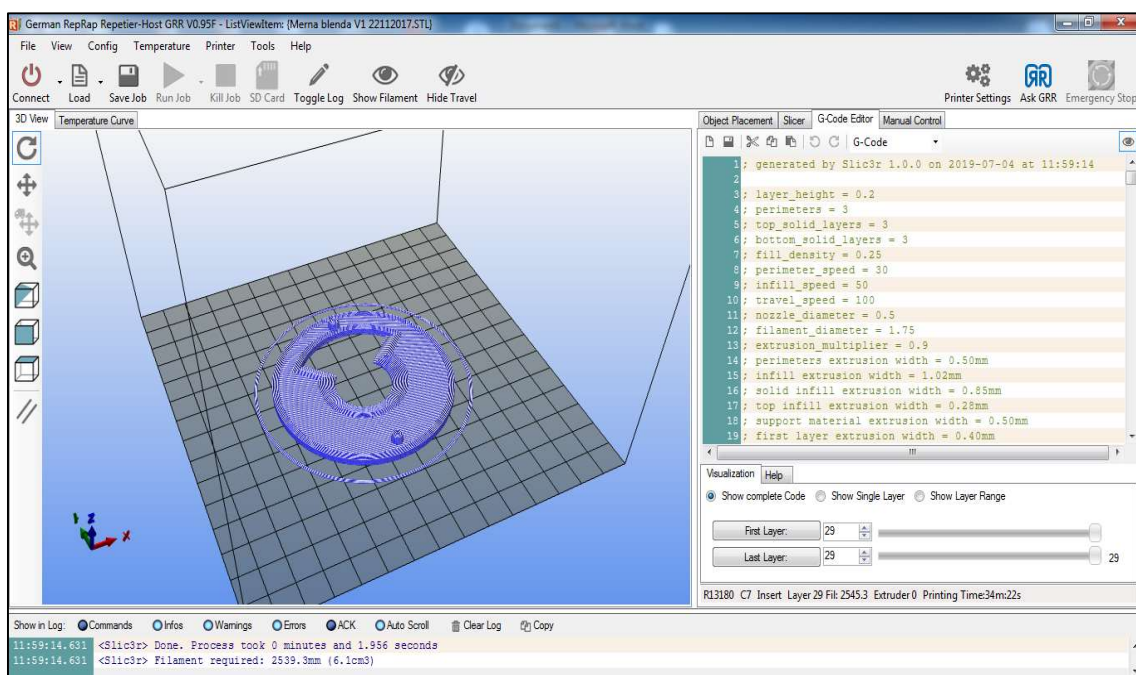
Slika 3.10. Dijalog prozor “Slicer”, kartica “Filament Settings”, opcija "Filament", izbor temperature.

U kartici “Printer Settings” dijalog prozora “Slicer”, prikazanoj na slici 3.11. podešava se položaj platforme na kojoj će se izrađivati predmet i broj ekstrudera koji će se koristiti.



Slika 3.11. Dijalog prozor “Slicer”, kartica “Printer Settings”, podešavanje položaja platforme.

Na slici 3.12. je prikazana kartica “G-Code Editor” dijalog prozora “Slicer” u kojoj se, nakon podešavanja potrebnih parametara, prikazuje putanja glave ekstrudera pri izradi predmeta kao i očekivano vreme izrade. Takođe se vrši i automatsko izračunavanje utroška materijala, odnosno potrebne dužine materijala na kalemu i zapremine materijala za izradu. Za izradu merne blende V1 bila je potrebna dužina od $L_{pla}=2539,3$ (mm) materijala, zapremine $V_{pla}=6,1(\text{cm}^3)$. Očekivano vreme izrade je procenjeno na $t_{iz}=34$ (min) i 22 (s).



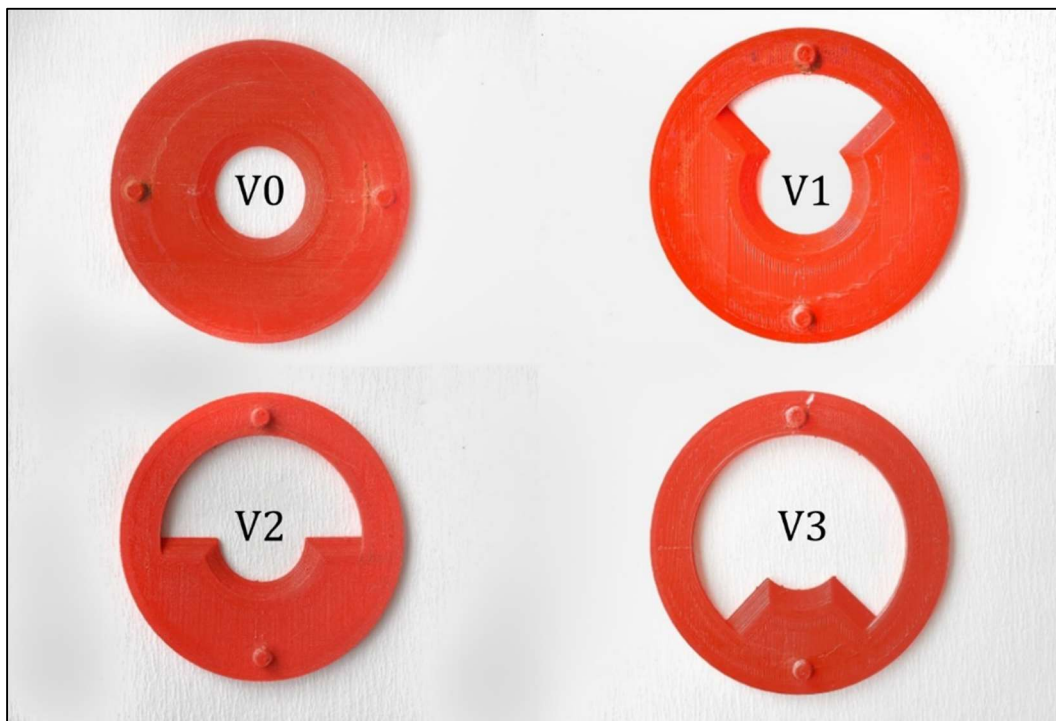
Slika 3.12. Dijalog prozor "Slicer", kartica "G-Code Editor", prikaz putanje glave ekstrudera pri izradi predmeta, prikaz očekivanog vremena izrade i utroška materijala, odnosno potrebne dužine materijala na kalemu i zapremine materijala za izradu.

U tabeli 3.4. su prikazani osnovni parametri izrade mernih blendi na 3D štampaču.

Tabela 3.4. Osnovni parametri izrade mernih blendi na 3D štampaču.

Parametar izrade	Vrednost
Debljina sloja	0,2 (mm)
Temperatura glave ekstrudera	210 (°C)
Brzina štampe	70 mm (s ⁻¹)
Gustina popune	100 (%)
Vreme izrade (V1)	45 (min)
Materijal izrade	Cool Red PLA Spool

Fotografije mernih blendi koje su izrađene 3D štampom i upotrebene u laboratorijskoj proveru prikazane su na slici 3.13.

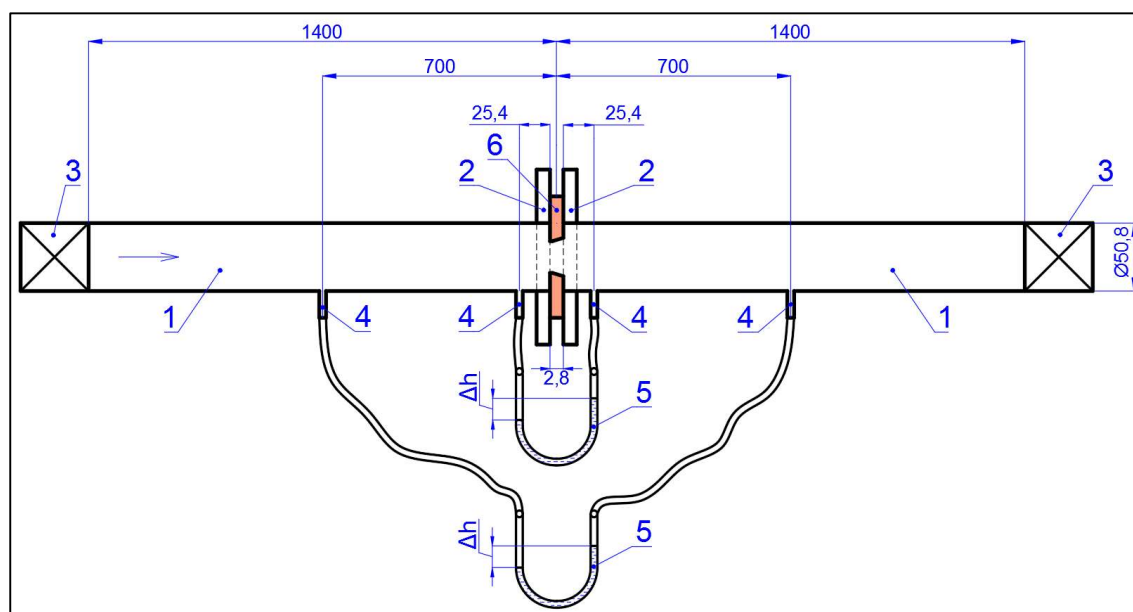


Slika 3.13. Fotografije mernih blendi koje su izrađene 3D štampom i upotrebene u laboratorijskoj proveru

3.5. Laboratorijsko ispitivanje

3.5.1. Laboratorijska aparatura

Četvrti korak, po predloženom algoritmu je bila eksperimentalna provera mernih blendi u laboratorijskim uslovima. Eksperimentalna provera je izvršena u Laboratoriji za hidromehaničke operacije Visoke tehničke škole strukovnih studija u Zrenjaninu. Kompletna laboratorijska aparatura, specijalno konstruisana za ovu namenu, napravljena je tako da omogući jednostavan i pouzdan rad, laku promenu mernih blendi i preciznu kontrolu procesa. Šematski prikaz laboratorijske aparature upotrebene za ispitivanje novih oblika mernih blendi u ovom radu, dat je na slici 3.14.



Slika 3.14. Šematski prikaz laboratorijske aparature za ispitivanje mernih blendi.

Laboratorijska aparatura se sastoji od dve bešavne čelične cevi (1). Na svakoj cevi, na jednom kraju se nalaze priрубnica (2), a na drugom kraju kuglični ventil (3). Unutrašnji prečnik cevi je $D=50,8$ (mm). Dužina svake cevi zajedno sa priрубnicom je $L=1400$ (mm). Ovako odabrana dužina obezbeđuje nesmetano strujanje fluida i pre nailaska na mernu blendu i nakon prolaska kroz mernu blendu, kako zahtevaju međunarodni standardi ISO 5167-1:2003 [3], i ISO 5167-2:2003 [4]. Otvori za merenje pritiska fluida na mernim mestima neposredno pre i posle merne blende, koji služe za merenje razlike pritiska koja daje podatke o protoku (Δp), nalaze se na rastojanju od $l_p=25,4$ (mm) pre i posle merne blende, kako predviđa standard ISO 5167-2:2003 [2]. Otvori za merenje razlike pritiska merne blende kao elementu cevovoda koja daje podatke o otporu merne blende kao elementu cevovoda ($\Delta \omega$) nalaze se na rastojanju $l_\omega=700$ (mm) pre i posle merne blende. Navedena rastojanja se mere od centra izbušenih otvora do prednjeg dela merne blende, za cev koja se nalazi ispred merne blende, a od centra izbušenih otvora do zadnjeg dela merne blende, za cev koja se nalazi iz merne blende, kao što je prikazano na slici 3.14., što je u skladu sa međunarodnim standardom ISO 5167-2:2003 [4]. Svi otvori su prečnika $l_d=6$ (mm), što je takođe u skladu sa međunarodnim standardom ISO 5167-2:2003 [4]. Na ove otvore su nadograđeni priključci za merenje razlike pritiska (4). Svi priključci su postavljeni u istoj ravni, odnosno na zamišljenoj liniji na zidu cevi koja prati tok fluida. Priključci za merenje razlike pritiska se pomoću creva povezuju sa diferencijalnim "U" manometrom (5). Sistem creva i ventila je napravljen tako da se sa jednim diferencijalnim "U"

manometrom naizmenično može meriti Δp ili $\Delta \omega$. Ispitivana merna blenda (6) se postavlja između prirubnica (2). Laboratorijska aparatura na kojoj su ispitivane merne blende je prikazana na slici 3.15.



Slika 3.15. Fotografija laboratorijske aparature na kojoj su ispitivane merne blende.

3.5.2. Postavljanje merne blende

Da bi se obezbedio pravilan položaj merne blende između prirubnica, na zadnjoj strani mernih blendi su napravljena po dva čepa za centriranje prečnika $s_{mb}=3$ (mm), na različitim udaljenostima od centra jedan nasuprot drugom. Položaj čepova se može videti na slici 3.16. Takođe su i u prirubnici koja se nalazi nizvodno od merne blende, na koju naleže zadnja strana merne blende, izbušene rupe za centriranje prečnika $s_{II}=3$ (mm), na odgovarajućim položajima. Prilikom postavljanja, čepovi za centriranje ulaze u rupe za centriranje i obezbeđuju:

- pravilan položaj merne blende,
- mogućnost provere njenog položaja,
- da se merna blenda neće pomeriti prilikom postavljanja ili ispitivanja.

Izgled i položaj rupa za centriranje u prirubnicama koje obezbeđuju pravilan položaj merne blende pri postavljanju i ispitivanju prikazan je na crtežu 3.16.



Slika 3.16. Izgled i položaj rupa za centriranje u prirubnicama koje obezbeđuju pravilan položaj merne blende pri postavljanju i ispitivanju.

3.5.3. Diferencijalni "U" manometar

Diferencijalni "U" manometar koji je specijalno projektovan i napravljen za ova ispitivanja, da bi se omogućilo merenje malih razlika pritisaaka, prikazan je na slici 3.17.



Slika 3.17. Fotografija diferencijalnog "U" manometra specijalno projektovanog i napravljenog za merenje malih razlika pritisaaka.

"U" cev je načinjena od staklene cevi dužine $D_{m1}=2000$ (mm), spoljnog prečnika $D_{mF1}=12$ (mm) i debljine zida cevi $D_{mDz}=2$ (mm). Kao radna tečnost odabran je $CHCl_3$ (trihlormetan, proizvođač Valetime limited, England). On je odabran zato što je nerastvoran u vodi, male gustine, ali veće od vode. Te osobine omogućavaju precizno merenje malih razlika pritisaka u sistemima gde je fluid koji struji voda. Osnovni podaci o $CHCl_3$ su dati u tehničkoj specifikaciji u prilogu 2. Pošto je $CHCl_3$ bezbojna tečnost, radi lakšeg očitavanja obojen je crvenom organskom bojom Sudan III ((1-(4-(fenilazo)fenilazo)-2-naftol), proizvođača Carlo Erba, Italija). Bezbednosni list Sudana III data je u prilogu 3. Količina Sudana III kojom je obojen $CHCl_3$ iznosi $C_{SIII}=0,5$ (g Sudana III/litar $CHCl_3$). Maksimalna visina razlika nivoa radne tečnosti ovog diferencijalnog "U" manometra je iznosila $h_{max}=600$ (mm). Pored oba kraka diferencijalnog "U" manometra postavljena je po jedna merna traka sa milimetarskom podelom. Pomoću tih mernih traka očitavane su vrednosti Δh , odnosno razlika visina stubova tečnosti $CHCl_3$. Očitane vrednosti su se pretvarale u razliku pritisaka pomoću jednačine diferencijalnog „U“ manometra:

$$\Delta p = (\rho_{CHCl_3} - \rho_{H_2O}) \cdot g \cdot \Delta h, \quad (7)$$

gde su Δp – razlika pritisaka (Pa), ρ_{CHCl_3} - gustina $CHCl_3$, odnosno radne tečnosti diferencijalnog "U" manometra (kg/m^3), ρ_{H_2O} - gustina vode, odnosno fluida koji struji u cevovodu (kg/m^3), g – gravitaciona konstanta ($kg/m \cdot s^2$), Δh - razlika visina stubova radne tečnosti (m).

Zamenom vrednosti gustina i gravitacione konstante i ako uzmemo da je $\Delta h=1$ (mm) u jednačinu (7):

$$\Delta p = (1\,480 - 1\,000) \cdot 9,81 \cdot 0,001 \quad (8)$$

dobija se vrednost jednog milimetra razlike visina radne tečnosti izražene u Paskalima, odnosno:

$$\Delta p = 4,709 \text{ (Pa)}. \quad (9)$$

To znači da prilikom pretvaranja razlike visina stubova radne tečnosti Δh (mm) u razliku pritisaka Δp (Pa) važi relacija:

$$1 \text{ (mm)} \Delta h = 4,709 \text{ (Pa)} \quad (10)$$

3.5.4. Očitavanje rezultata

Laboratorijska aparatura se preko kugličnog ventila koji se nalazi na početku aparature priključuje na pumpu i merač protoka. Na kraju linije se takođe nalazi kuglični ventil. Pumpa obezbeđuje stacionarno strujanje fluida. Kuglični ventili služe za regulaciju protoka. Kapacitet pumpe i prečnik cevovoda laboratorijske aparature su tako odabrani da se, kada su oba kuglična ventila maksimalno otvorena, postiže protok fluida koji daje turbulentno strujanje, pun tok i slobodno isticanje. Maksimalni protok fluida pri sasvim otvorenim ventilima je za 20% veći od protoka fluida zadatog za ispitivanje. To daje dovoljno prostora za preciznu regulaciju protoka. Takođe pri maksimalnom protoku fluida standardne merne blende V0 vrednost razlike visina stubova radne tečnosti u diferencijalnom "U" manometru se može očitati, odnosno ne prelazila maksimalnu vrednost. Nakon prolaska kroz kuglični ventil fluid prolazi kroz mernu blendu i ističe iz laboratorijske aparature u rezervoar. Postignuti pun tok fluida i slobodno isticanje su prikazani na slici 3.18.



Slika 3.18. Fotografija slobodnog isticanja vode iz laboratorijske aparature u rezervoar.

U eksperimentu su ispitivani predloženi oblici mernih blendi pri istim uslovima kao i u računarskoj simulaciji, pri konstantnoj temperaturi vode i okoline i pri istom zapreminskom protoku. Fluid je bio voda, temperatura vode i okoline je bila $T_e=20(^{\circ}\text{C})$, zapremiski protok vode je bio $V_{zape}=0,6 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$, što daje srednju brzinu strujanja fluida od $w_{sre}=0,2959 \text{ (m/s)}$. Pošto je isticanje fluida iz laboratorijske linije bilo slobodno, pritisak na izlazu iz linije je bio atmosferski čime su postignuti isti uslovi kao i u računarskoj simulaciji.

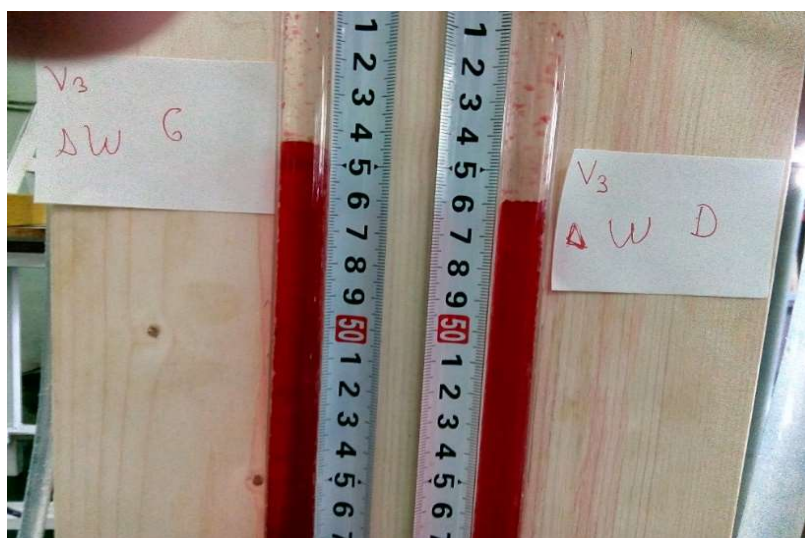
Nakon montaže svake od ispitivanih mernih blendi i postizanja stacionarnih uslova, očitavana je razlika visina stubova radne tečnosti Δh . Prvo je očitavana vrednost razlike visina stubova tečnosti merne blende na rastojanjima od $l_p=25,4 \text{ (mm)}$ pre i posle merne blende ($\Delta h_{\Delta p}$), a zatim otvaranjem i zatvaranjem odgovarajućih ventila očitavana je vrednost razlike visina stubova tečnosti merne blende na rastojanjima od $l_o=700 \text{ (mm)}$ pre i posle merne blende ($\Delta h_{\Delta o}$)

Očitavanja su vršena tako što su visine stubova radne tečnosti fotografisane kamerom mobilnog telefona. Mobilni telefon je bio postavljen na stalak namenjen za pravljenje fotografija na daljinu (eng. Wireless Remote Shooter). Stalak sa mobilnim telefonom je postavljen ispred diferencijalnog "U" manometra. Pomoću daljinskog upravljača, koji se isporučuje uz stalak, pravljen su serije fotografija u jednakim vremenskim razmacima. Broj fotografija u seriji i vremenski interval između fotografija se mogao podešavati. Za svaku mernu blendu je vršena serija od po 4 očitavanja vrednosti, odnosno pravljenja fotografija, u razmacima od po 1 sekunde. Način fotografisanja je prikazan na slici 3.19.



Slika 3.19. Način fotografisanja razlika nivoa stubova radne tečnosti pomoću mobilnog telefona i stalka.

Slike očitavanja dobijene na ovaj način, prebacivane su u računar, gde je njihovim uveličavanjem postignuto precizno očitavanje. Primer fotografije, pre uveličavanja, napravljene mobilnim telefonom sa koje se očitava vrednost razlika nivoa radne tečnosti koji se nalazio na stalku, prikazan je na slici 3.20.



Slika 3.20. Primer fotografije, pre uveličavanja, napravljene mobilnim telefonom sa koje se očitava vrednost razlike nivoa radne tečnosti.

Na slici 3.21. prikazan je uvećan deo fotografije sa koje se očitavala vrednost Δh .



Slika 3.21. Primer uvećane fotografije napravljene mobilnim telefonom sa koje se očitavala vrednost Δh .

Sa slike 3.21. se može videti da je ovim načinom očitavanja postignuta velika preciznost merenja razlike nivoa radne tečnosti, odnosno da je preciznost očitavanja razlike visina stubova radne tečnosti bila 1 mm, što prema izrazu (10) iznosi 4,709 (Pa).

4. Rezultati i diskusija

4.1. Rezultati računarske simulacije

Sve simulacije strujanja fluida kroz cev u prisustvu mernih blendi su uspešno izvedene. Podaci konvergencije i iterativnog postupka dati su u tabeli 4.1. Niske vrednosti procenjene greške i mali broj iteracija potvrđuju dobru konvergenciju kao i validnost dobijenih rezultata, koja je potvrđena i eksperimentalno.

Tabela 4.1. Podaci konvergencije i iterativnog postupka simulacije.

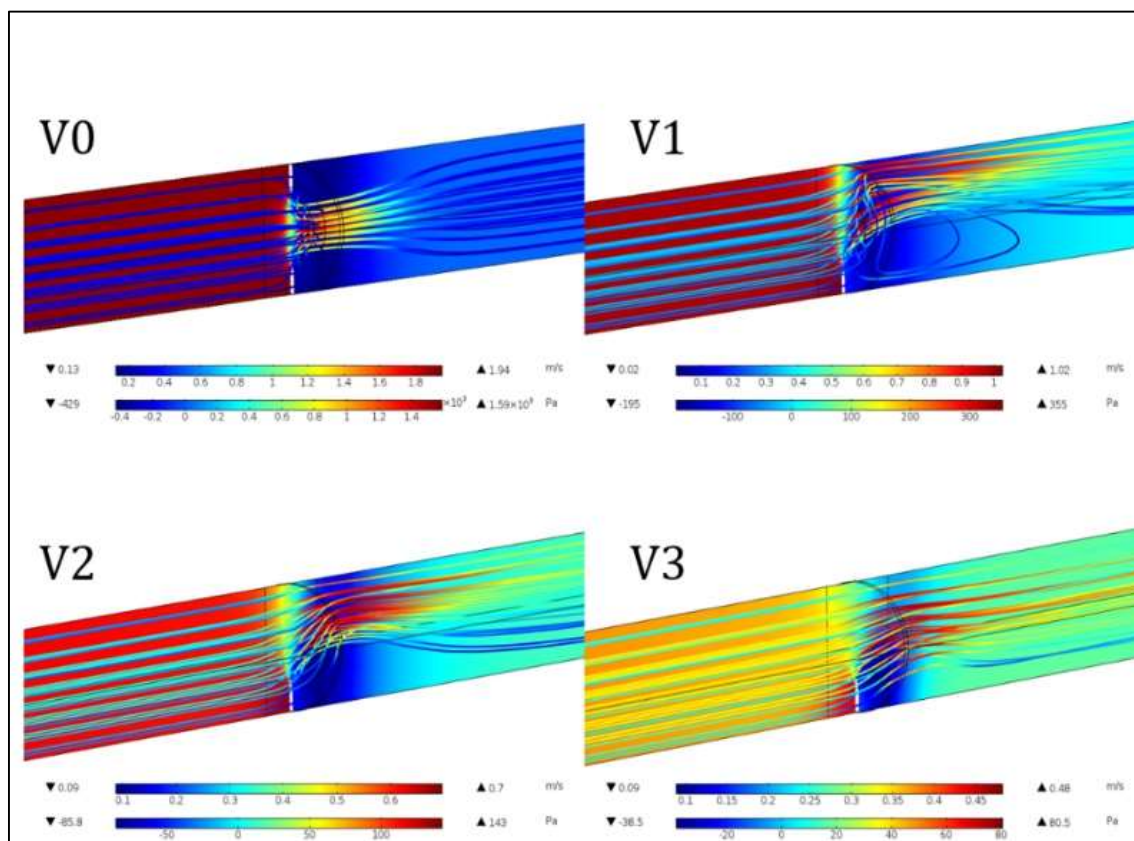
Merna blenda	Broj iteracija	Vreme simulacije, s	Procene greške rešenja za odvojene grupe
V0	58	559	0,0006 i 0,00016
V1	50	596	$6,4 \times 10^{-5}$ i 0,00017
V2	39	473	5×10^{-5} i 0,00018
V3	51	592	$2,4 \times 10^{-5}$ i 0,00019

Programski paket COMSOL Multiphysics omogućava prikaz rezultata računarskih simulacija na više načina. Rezultati se mogu dobiti u obliku tabela, grafika ili slika. Na njima se mogu prikazati dobijeni rezultati računarske simulacije za jedan parametar ili za više parametara odjednom. Takođe, dobijeni rezultati se mogu učitati u drugim programskim paketima, radi dalje obrade.

Na slici 4.1. su prikazani brzina i tok fluida, kao i profili pritiska dobijeni kao rezultati računarskih simulacija ispitivanih mernih blendi u programskom paketu COMSOL Multiphysics. Oni su prikazani za svaku ispitivanu mernu blendu posebno. Tok i brzine fluida duž x ose cevovoda su prikazani pomoću strujnica. Profili pritiska fluida duž x ose cevovoda su prikazani pomoću palete boja koje ispunjavaju prostor unutar cevovoda.

Na slici 4.1. se uočava, da je kod verzije V0 tok fluida osno simetričan u odnosu na x osu. Strujnice se ravnomerno sužavaju, a brzine strujnica se povećavaju nakon prolaska kroz

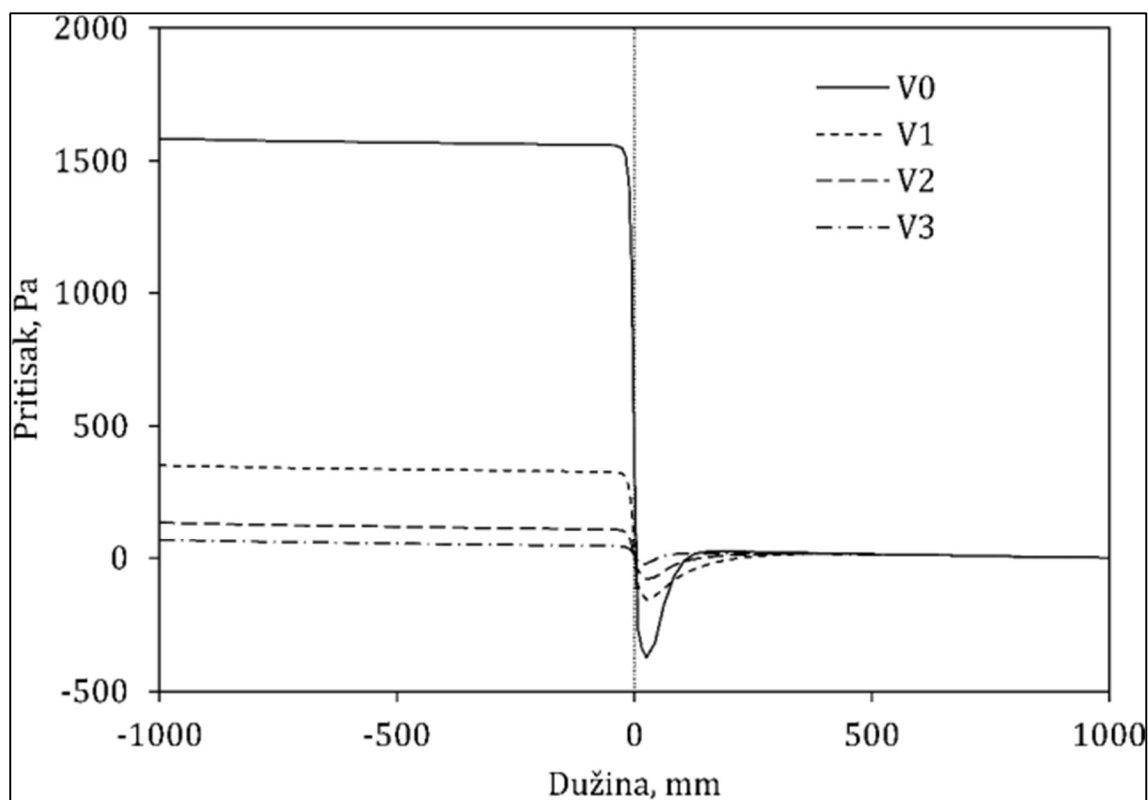
mernu blendu. Kod ostalih verzija mernih blendi, gde je oslobođen dodatni prostor za protok fluida, tok fluida nije osno simetričan u odnosu na x osu toka fluida, što je i očekivano. Tok fluida je pomenen ka delu poprečnog preseka mernih blendi koji je oslobođen za njegov tok. Posmatrajući strujnice na slici 4.1. može se zaključiti da je tok fluida uzvodno od mernih blendi uniforman, što je i jedan od uslova po ISO 5167-2:2003 standardu [3,4].



Slika 4.1. Grafički prikaz simulacija protoka kroz ispitivane merne blende dobijenih primenom programskog paketa COMSOL Multiphysics .

Posmatrajući vrednosti pritiska na slici 4.1. može se uočiti da je kod verzije V0 pad pritiska osno simetričan u odnosu na x osu. Kod mernih blendi V1- V3, vrednosti pada pritiska u oblastima gde je deo poprečnog preseka merne blende dodatno oslobođen za protok fluida u odnosu na standardnu V0, su manje nego u delu koji je ostao nepromenjen.

Profili pritisaka fluida na zid cevi duž x ose cevovoda dobijeni kao rezultat računarskih simulacija su prikazani na slici 4.2. za sve četiri verzije merne blende zajedno.



Slika 4.2. Profili pritiska fluida na zid cevi duž linije za ispitivanje dobijeni simulacijom u programskom paketu COMSOL Multiphysics za sva četiri predložena oblika mernih blendi.

Na x osi grafika na slici 4.2. je predstavljena dužina linije za ispitivanje pri čemu vrednost $x=0$ (mm) predstavlja mesto gde se nalazi merna blenda. Na y osi je predstavljen pritisak pri čemu vrednost $P=0$ (Pa) predstavlja atmosferski pritisak. Može se uočiti karakterističan oblik profila pritiska identičan profilu datom na slici 2.1. Međutim, tačka dostizanja minimalnog pritiska za četiri ispitivana oblika mernih blendi je različita. Kod standardnog oblika merne blende (V0) je najudaljenija od merne blende, a kako se povećava površina merne blende kroz koju teče fluid, tačka dostizanja minimalnog pritiska se približava mernoj blendi (slika 4.2.). Sa grafika se takođe može uočiti da je izlazni pritisak za sve četiri merne blende jednak, što je i bio jedan od uslova simulacije.

Da bi se rezultati računarske simulacije uporedili sa rezultatima laboratorijskog ispitivanja potrebno je dobiti vrednosti razlike pritiska na istim rastojanjima i mestima od merne blende za oba eksperimenta. U tabeli 4.2. date su vrednosti razlike pritiska računarske simulacije, na istim mestima gde su merena i u laboratorijskom ispitivanju. Ta mesta su na $l_p=25,4$ (mm) pre i posle merne blende, (Δp) i na $l_w=700$ (mm) pre i posle merne blende, ($\Delta \omega$).

Tabela 4.2. Vrednosti razlika pritiska Δp i $\Delta \omega$ računarske simulacije

Merna blenda	Δp	$\Delta \omega$
()	(Pa)	(Pa)
V0	1976	1566
V1	500	333
V2	207	118
V3	86	51

U prilogu 4 je prikazan deo izveštaja računarske simulacije. On se odnosi na vrednost razlike pritiska na na $l_{\omega}=700$ (mm) pre i posle merne blende, ($\Delta \omega$). Izveštaj se odnosi na mernu blendu V0. U prilogu 4 je prikazan deo izveštaja uvezen u programskom paketu Excel. Kolone B i C se odnose na podatke na $l_{\omega}=-700$ (mm), a kolone E i F se odnose na podatke na $l_{\omega}=+700$ (mm). U koloni B su prikazane merne tačke prečnika cevi kroz koju teče fluid u tački $l_{\omega}=-700$ (mm) od merne blende. One se kreću od donje tačke na zidu cevi (ćelija B2) do gornje tačke na zidu cevi (ćelija B100) i prolaze kroz centralnu osu cevovoda. U koloni C su prikazane vrednosti pritiska u Paskalima za odgovarajuću tačku prečnika cevi iz kolone B. Ćelija B2 odgovara položaju mernog mesta u laboratorijskom ispitivanju, za koji nam je i potreban podatak vrednosti pritiska u računarskoj simulaciji. On iznosi $P_{\omega_{l_{\omega}=-700}}=1573,74$ (Pa). Sledstveno tome, vrednost ćelije F2, iznosi $P_{\omega_{l_{\omega}=+700}}=8,11105$ (Pa). Njihova razlika daje vrednost razlike pritiska $\Delta \omega$, za mernu blendu V0 i iznosi:

$$\Delta \omega = 1573,74 - 8,11105 \quad (11)$$

odnosno:

$$\Delta\omega = 1565,62895 \text{ (Pa)} \quad (12)$$

Vrednost $\Delta\omega=1566$ (Pa) predstavlja zaokruženu vrednost izraza (12) i predstavlja vrednost $\Delta\omega$ za V_0 u tabeli 4.2. Na identičan način dobijene su i ostale vrednosti iz tabele 4.2.

4. 2. Rezultati laboratorijskog ispitivanja

Sva laboratorijska ispitivanja na laboratorijskoj liniji su uspešno izvedena za sve četiri merne blende.

Ispitivane merne blende koje su izrađene na 3D štampaču od materijala PLA, pokazale su se dobro u laboratorijskom ispitivanju. Dimenzije sve četiri izrađene merne blende su bile u saglasnosti sa dimenzijama mernih blendi koje su projektovane u programskom paketu SolidWorks prikazanim na slici 3.2. Pri montaži, pomoću sistema čepova i rupa, opisanog u poglavlju 3.5.2., merne blende su zauzele pravilan položaj, što se moglo proveriti i vizuelno tokom ugradnje. Nakon izvršenih laboratorijskih ispitivanja, merne blende nisu promenile dimenzije niti su na njima postojala ikakva oštećenja. Takođe ni materijal od kojeg su napravljene nije omekšao ili promenuo boju tokom izlaganja vodi tokom eksperimenta.

Rezultati merenja razlike visina radne tečnosti diferencijalnog "U" manometra, $\Delta h_{\Delta p}$ i $\Delta h_{\Delta\omega}$, za sve 4 merne blende, prikazani su u tabeli 4.3

Tabela 4.3. Rezultati merenja za sve 4 ispitivane merne blende.

	V0		V1	
Merenje	$\Delta h_{\Delta p}$	$\Delta h_{\Delta \omega}$	$\Delta h_{\Delta p}$	$\Delta h_{\Delta \omega}$
()	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	425	353	76	53
2	426	354	77	52
3	427	356	77	53
4	425	354	76	54
Usvojena vrednost	425,75	354.25	76,50	53,00
	V2		V3	
Merenje	$\Delta h_{\Delta p}$	$\Delta h_{\Delta \omega}$	$\Delta h_{\Delta p}$	$\Delta h_{\Delta \omega}$
()	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	30	20	13	13
2	27	18	12	12
3	28	17	14	12
4	30	19	14	12
Usvojena vrednost	28,75	18,50	13,25	12,25

Iz tabele 4.3. uočava se da je razlika u izmerenim vrednostima u okviru jedne serije merenja bila najviše 3 (mm), što je bila potvrda stacionarnog stanja. Ovim načinom očitavanja postignuta tačnost od $\Delta h_g=3$ (mm), tako da je prema jednačini (10) dobijena standardna greška od $\Delta h_{gPa}=14$ (Pa).

U tabeli 4.4. prikazani su rezultati merenja preračunati iz milimetara u Paskale prema jednačini (10).

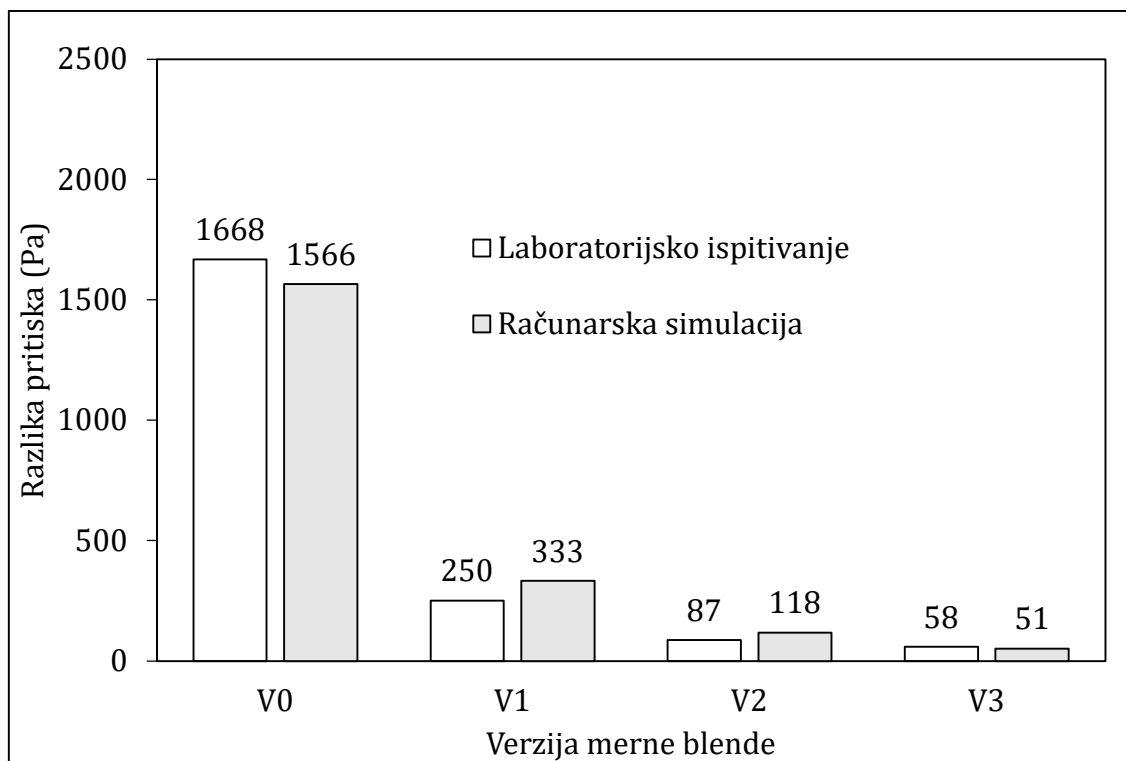
Tabela 4.4. Rezultati merenja za sve 4 ispitivane merne blende, preračunati u Paskale.

Merna blenda	$\Delta h_{\Delta p}$	Δp	$\Delta h_{\Delta \omega}$	$\Delta \omega$
()	(mm)	(Pa)	(mm)	(Pa)
V0	425,75	2005	354,25	1668
V1	76,50	361	53,00	250
V2	28,75	135	18,50	87
V3	13,25	62	12,25	58

Posmatrajući tabelu 4.4. može se zaključiti da su dobijeni rezultati očekivani, odnosno da postoji očekivani znatan pad obe merene vrednosti (Δp i $\Delta \omega$) mernih blendi V1-V3 u odnosu na referentnu V0.

4.3. Poređenje rezultata

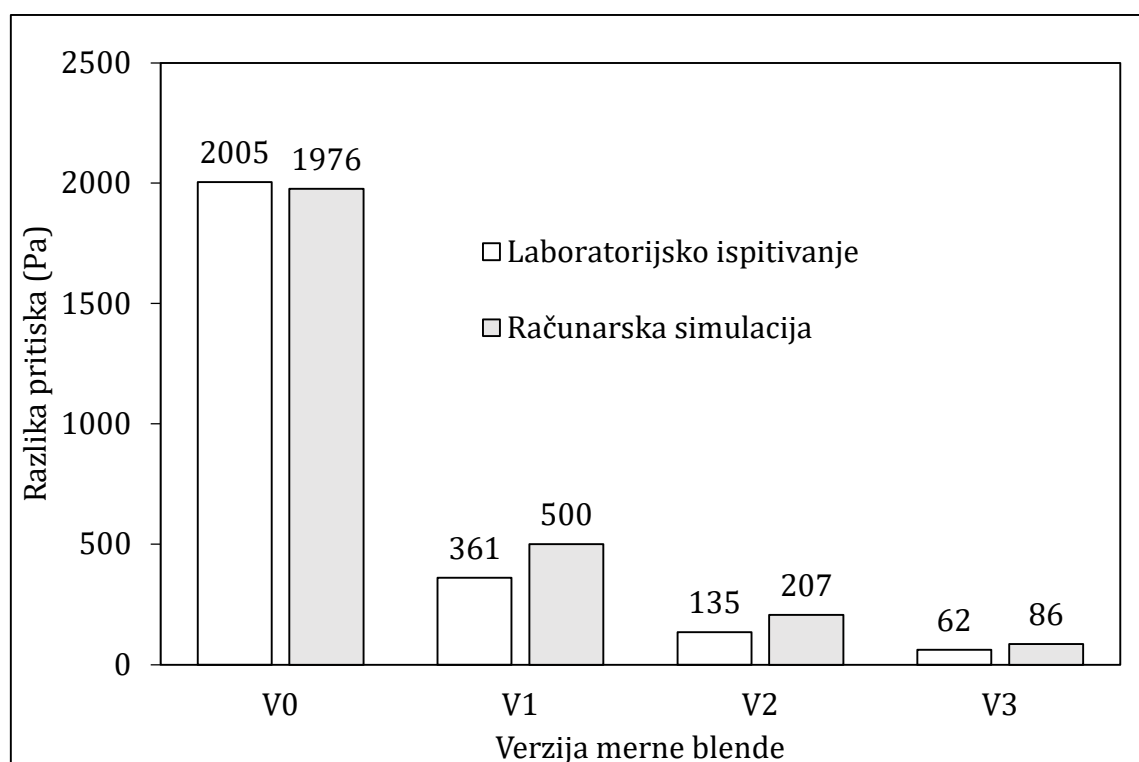
Na slici 4.3. su prikazani rezultati laboratorijskih ispitivanja $\Delta\omega$ uporedo sa rezultatima računarske simulacije za sve četiri ispitivane merne blende.



Slika 4.3. Pad pritiska na mernoj blendi kao elementu cevovoda određen eksperimentalno i računarskom simulacijom.

Na y osi grafika na slici 4.3. nalaze se vrednosti razlike pritisaka, na udaljenosti od $l\omega = 700$ (mm) pre i posle merne blende, odnosno merne blende kao elementa cevovoda.

Na slici 4.4. su prikazani rezultati laboratorijskih ispitivanja Δp uporedo sa rezultatima računarske simulacije za sve četiri ispitivane merne blende.



Slika 4.4. Pad pritiska na mernim mestima neposredno pre i posle merne blende određen eksperimentalno i računarskom simulacijom.

Na y osi grafika na slici 4.4. nalaze se vrednosti razlike pritisaka, na udaljenosti od $l_p = 25,4$ (mm) pre i posle merne blende, na mestima gde se meri razlika pritisaka koja služi za izračunavanje protoka fluida.

Posmatrajući razlike pritisaka $\Delta\omega$, između laboratorijskih vrednosti i vrednosti računarske simulacije merne blende kao elementa cevovoda (slika 4.3.) može se zaključiti da računarska simulacija dobro opisuje situaciju u slučaju verzije V0, kada je oblik otvora kružni, a najlošije u slučaju verzije V2 kada je oblik otvora približno polukružni. Kod verzija V1 i V2 računarska simulacija predviđa veće padove pritiska, dok kod verzije V3 računarska simulacija predviđa manji pad pritiska.

Posmatrajući razlike pritisaka Δp , između laboratorijskih vrednosti i vrednosti računarske simulacije (slika 4.4.) takođe može se zaključiti da računarska simulacija dobro opisuje situaciju u slučaju verzije V0, kada je oblik otvora kružni a najlošije u slučaju verzije V2 kada je oblik otvora približno polukružni. Kod verzija V1-V3 računarska simulacija predviđa veće padove pritiska.

Posmatrajući sve rezultate zajedno, ne može se uočiti pravilnost odstupanja rezultata simulacije od laboratorijskih merenja, odnosno nema pravilnosti u odstupanju. Za verziju V0 rezultati računarske simulacije dobro opisuju situaciju predviđajući neznatno manje padove pritiska. Kod verzija V1 i V2 računarska simulacija lošije opisuje situaciju predviđajući značajnije veće padove pritiska. Kod verzije V3 uočava se da kod razlike pritisaka $\Delta\omega$ računarska simulacija predviđa manji pad pritiska, a kod Δp računarska simulacija predviđa značajnije veći pad pritiska.

Iz svega gore navedenog može se zaključiti da:

- Kod verzije V0 predviđanja računarske simulacije su u skladu sa laboratorijskim ispitivanjima,
- Za padove pritisaka merne blende kao elementa cevovoda ($\Delta\omega$), računarska simulacija predviđa veće vrednosti za sve ispitivane merne blende osim V0.
- Za padove pritiska neposredno ispred i iza merne blende (Δp), računarska simulacija predviđa veće vrednosti za sve ispitivane merne blende.

Razlike rezultata merenja se mogu objasniti time što računarska simulacija koristi modele koji sadrže određene aproksimacije i uproštavanja. Rezultati ukazuju i na to da odabrani koeficijenti korišćeni u računarskoj simulaciji za merne blende V1 – V3 nisu adekvatno odabrani.

Profili pritiska duž x ose cevovoda u računarskoj simulaciji imaju karakterističan oblik profila pritiska sličan profilu što se može uočiti poređenjem slika 2.1. i 4.2. Posmatranjem sva četiri profila na slici 4.2. uočava se da je pad pritiska kod verzije V0 puno veći u odnosu na ostale merne blende. Pad pritiska utiče na preciznost očitavanja a samim tim i na tačnost merenja protoka. Iz toga se može izvesti zaključak da se već verzijom V1 gubi na preciznosti merenja protoka u manjoj meri, dok je kod verzija V2 i V3 gubitak na preciznosti znan.

Takođe se može uočiti da predloženo povećanje dela otvora merne blende kroz koji teče fluid, daje već u verziji V1 u odnosu na verziju V0 znatano smanjenje vrednosti $\Delta\omega$ (slika 4.3.). Između verzija V1 i V2 smanjenje vrednosti $\Delta\omega$ je znatno manje. Između verzija V2 i V3 razlika vrednosti $\Delta\omega$ je zanemarljiva. Takođe i vrednost Δp (slika 4.4.) pokazuje znatno smanjenje vrednosti kod verzije V1 u odnosu na V0 dok je to smanjenje između verzija V1 i V2 znatno manje, a zanemarljivo između verzija V2 i V3. Stoga se može zaključiti da se značajno smanjenje razlike pritisaka postiže već verzijom V1, odnosno početnim povećanjem

otvora merne blende kroz koji teče fluid, ali se ne nastavlja značajno daljim povećanjem dobijenim verzijom V2, a između verzija V2 i V3 praktično je bez efekata. Iz rezultata računarske simulacije se može izvući zaključak da laboratorijska ispitivanja verzija V2 i V3 nisu bila potrebna. Međutim, ona su urađena da bi se proverilo slaganje rezultata računarske simulacije sa laboratorijskim rezultatima i ispitala tačnost računarske simulacije.

Predloženim oblicima merne blende je postignuto smanjenje $\Delta\omega$, što je dovelo do jednog od ciljeva ove doktorske disertacije odnosno uštede energije tokom rada. Međutim, to je dovelo i do pada Δp , što rezultuje padom tačnosti merenja protoka i povećava mogućnost greške merenja.

4.4. Smernice za buduća istraživanja

Na osnovu dobijenih rezultata u ovoj doktorskoj disertaciji istraživanja bi trebalo nastaviti konstruisanjem i ispitivanjem novih oblika mernih blendi koje bi imale oslobođen dodatni prostor za protok fluida manji od verzije V1. Takođe bi trebalo uraditi i seriju mernih blendi sa istim dizajnom ali različitim dimenzijama otvorima kroz koji struji fluid.

Ispitivanje tačnosti i preciznosti bi trebalo nastaviti ispitivanjima koja bi bila vršena pri različitim protocima.

Gustina i oblik mreže konačnih razlika trebali bi takođe biti predmet budućih istraživanja, a takođe i korišćeni koeficijenti, radi dobijanja još manjih odstupanja pri ispitivanju novih oblika. Interesantno bi bilo uraditi računarske simulacije i u drugim programskim paketima i porediti ih sa rezultatima dobijenim u ovoj doktorskoj disertaciji u programskom paketu COMSOL Multiphysics.

Laboratorijska linija upotrebljena u ovoj doktorskoj disertaciji, sa obzirom da se na njoj mogu meriti male razlike pritisaka, se može koristiti za kalibrisanje drugih uređaja za merenje malih razlika pritisaka ili malih vrednosti pritisaka.

5. Zaključci

U okviru ove doktorske disertacije izvedena su eksperimentalna ispitivanja novih oblika mernih blendi, radi postizanja uštede energije tokom njihovog rada, prema predloženom algoritmu. Dizajnirana je serija od četiri merne blende, od kojih su tri bile novih oblika a četvrta je bila standardnog odlika i služila je za poređenje kao referentna. Merne blende su prvo ispitivane u računarskoj simulaciji, da bi po dobijanju povoljnih rezultata bile ispitane eksperimentalno u laboratorijskim uslovima. Za to je bilo potrebno izraditi ih pomoću 3D štampe odabirom odgovarajućeg materijala za izradu. Konstruisana je i izrađena laboratorijska linija za ispitivanje mernih blendi. Takođe je konstruisan i diferencijalni "U" manometar za merenje malih razlika pritisaka. Osmišljen je i upotrebljen sistem za precizno postavljanje mernih blendi. Za očitavanje rezultata laboratorijskih ispitivanja u svrhu tačnosti i preciznosti, upotrebljeni su mobilni telefon i stalak. Laboratorijski rezultati su poređeni sa rezultatima računarske simulacije, da bi se ispitala valjanost odabranog matematičkog modela i parametara simulacije.

Na osnovu dobijenih rezultata i njihove analize mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Algoritam ispitivanja koji je predložen u ovoj doktorskoj disertaciji se pokazao efikasnim. Pomoću računarske simulacije su dobijeni pouzdani podaci na osnovu kojih je zatim doneta odluka da li predložene oblike treba korigovati ili se može pristupiti laboratorijskom ispitivanju. Time je dobijena značajna ušteta u vremenu. Samim tim ovaj algoritam je svakako preporučljivo primeniti prilikom konstruisanja i ispitivanja mernih blendi.
2. Izbor programskog paketa COMSOL Multiphysics za računarsku simulaciju se pokazao dobrim izborom. Rezultati računarske simulacije su dobijeni u preglednom obliku, lakom za dalju obradu i analize. Odabrane jednačine i granični uslovi u ovom radu su se pokazali odgovarajućim. Poređenjem računarske simulacije sa laboratorijskim ispitivanjima dobijena su neznatna odstupanja za verziju V0. Za ostale ispitivane merne blende V1 – V3 odstupanja su bila znatnija nego kod referentne, ali su rezultati bili zadovoljavajući za primenu u ovoj doktorskoj disertaciji, odnosno odluka koja je doneta na osnovu ovih rezultata, da li nastaviti ispitivanje ili doraditi merne blende, se pokazala ispravnom. U budućim istraživanjima treba analizirati gustinu i oblik mreže konačnih razlika, kao i odabrane vrednosti koeficijenata, radi

dobijanja još manjih odstupanja pri ispitivanju novih oblika. Takođe bi u budućim istraživanjima trebalo uraditi računarske simulacije u drugim programskim paketima i podeliti ih sa rezultatima dobijenim u ovoj doktorskoj disertaciji u programskom paketu COMSOL Multiphysics.

3. Merne blende koje su izrađene 3D štampom, tokom ugradnje i laboratorijskih ispitivanja nisu promenile dimenzije niti su se na njima pojavila ikakva oštećenja. Materijal od kojeg su merne blende izrađene dobro je podneo uticaj vode i pritiska i nije omekšao tokom izlaganja vodi. Može se zaključiti da se odabrani materijal, PLA, pokazao kao pogodan.
4. Laboratorijska aparatura za ispitivanje mernih blendi, koja je konstruisana i izrađena za potrebe ove doktorske disertacije se pokazala efikasnom i pouzdanom. Ispunjavala je sve potrebne uslove koje propisuju međunarodni standardi ISO 5167-1:2003, i ISO 5167-2:2003 [3,4]. Ispitivane merne blende su se lako menjale pri ispitivanju. Diferencijalni "U" manometar, konstruisan i napravljen za potrebe ove doktorske disertacije se pokazao kao pouzdan i precizan za merenje malih razlika pritisaka. Tome je posebno doprineo i način očitavanja rezultata merenja primenom mobilnog telefona montiranog na postolju i upravljano pomoću daljinskog upravljača.
5. Kompletna laboratorijska aparatura, zajedno sa diferencijalnim "U" manometrom može se koristiti za dalji naučnoistraživački rad, a koristi se i u obrazovne svrhe u laboratorijskim vežbama na odgovarajućim predmetima.
6. Jedan od ciljeva rada je bio ispitivanje novih oblika mernih blendi radi postizanja uštede energije tokom njihovog rada. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je znatan efekat uštede energije, u odnosu na referentni oblik (V0), koja se manifestuje smanjenjem $\Delta\omega$ postignut već kod prvog (V1) od tri predložena nova oblika, dok je kod ostalih efekat uštede energije bio znatno manji. Rezultati dobijeni laboratorijskim ispitivanjem pokazuju da razlika vrednosti laboratorijski merenja $\Delta\omega$ pada sa 2005 (Pa) kod referentnog oblika (V0), na 361 Pa kod V1, što je znatna razlika. Postignute su razlike u vrednosti $\Delta\omega$ između V1 (361 Pa) i V2 (135 Pa) i između V2 (361 Pa) i V3 (135 Pa) ali u znatno manjoj meri. Razlike vrednosti laboratorijskih merenja Δp prate trend razlika $\Delta\omega$ što dovodi do pada tačnosti merenja protoka i povećava mogućnost greške merenja. Iako je predloženim oblicima mernih blendi postignuto smanjenje utroška energije, to je dovelo i do pada tačnosti merenja protoka i do povećanja mogućnosti greške merenja. Postizanje optimuma između željene tačnosti merenja i

uštede energije treba tražiti konstruisanjem merne blende čiji će oblik biti između referentnog V0 i predloženog V1.

6. Spisak oznaka, grčkih slova, indeksa i skraćenica

6.1. Oznake

- C_1 - konstanta u k- ε modelu,
- C_2 - konstanta u k- ε modelu,
- C_μ - konstanta u k- ε modelu,
- C_{SIII} - količina Sudana III kojom je obojen $CHCl_3$ (g Sudana III/litar $CHCl_3$),
- D - unutrašnji prečnik cevovoda (mm),
- D_{mI} - dužina staklene cevi od koje je napravljen diferencijalni "U" manometar (mm),
- D_{mFi} - spoljnog prečnik staklene cevi od koje je napravljen diferencijalni "U" manometar (mm),
- D_{mdz} - debljina zida staklene cevi od koje je napravljen diferencijalni "U" manometar (mm),
- d_o - prečnik otvora merne blende (mm),
- d_{mb} - debljina merne blende (mm),
- Δh - razlika nivoa radne tečnosti diferencijalnog "U" manometra (mm),
- h_{max} - maksimalna visina razlika nivoa radne tečnosti diferencijalnog "U" manometra (mm),
- $\Delta h_{\Delta p}$ - očitavana vrednost razlike visina stubova tečnosti merne blende (mm),
- $\Delta h_{\Delta \omega}$ - očitavana vrednost razlike visina stubova tečnosti merne blende (mm),
- k - turbulentna kinetička energija,
- L - dužina cevi laboratorijske aparature (m),
- L_{pla} - dužina materijala potrebna za izradu merne blende 3D štampom (mm),
- l_d - prečnik otvora za merenje razlika pritisaka (mm),
- l_p - rastojanje otvora za merenje razlika pritisaka od merne blende (mm),

-
- l_{ω} - rastojanje otvora za merenje razlika pritisaka od merne blende (mm),
- P_{man} - manometarski pritisak (Pa),
- $P_{\omega_{l_{\omega}-700}}$ - pritisak na -700 (mm) od merne blende (Pa),
- $P_{\omega_{l_{\omega}+700}}$ - pritisak na $+700$ (mm) od merne blende (Pa),
- Re - Rejnoldsov broj (),
- r_s - zadata relativna tolerancija stacionarne numeričke metode,
- s_{mb} - prečnik čepova za postavljanje merne blende (mm),
- s_{ll} - prečnik rupa za postavljanje merne blende (mm),
- T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$),
- T_s - temperatura odabrana u računarskoj simulaciji ($^{\circ}\text{C}$),
- T_e - temperatura vode i okoline tokom laboratorijskog eksperimenta ($^{\circ}\text{C}$),
- t_{iz} - očekivano vreme izrade merne blende 3D štampom (s),
- V_0 - merna blenda, kreirana i ispitana u ovom radu,
- V_1 - merna blenda, kreirana i ispitana u ovom radu,
- V_2 - merna blenda, kreirana i ispitana u ovom radu,
- V_3 - merna blenda, kreirana i ispitana u ovom radu,
- V_{zap} - zapreminski protok fluida (m^3/s),
- V_{zaps} - zapreminski protok fluida u računarskoj simulaciji (m^3/s),
- V_{zape} - zapreminski protok fluida u laboratorijskom eksperimentu (m^3/s),
- V_{pla} - zapremina materijala potrebna za izradu merne blende 3D štampom (cm^3),
- w_{srs} - brzina fluida u računarskoj simulaciji na ulazu u cev (m/s),
- w_{sre} - brzina strujanja fluida u laboratorijskom eksperimentu (m/s),
- w_{sz} - brzina fluida u računarskoj simulaciji na zidu cevi (m/s),
- ν - kinematička viskoznost,
- ν_T - turbulentna viskoznost,

-
- Δp - pad apsolutnog statičkog pritiska fluida na mernim mestima neposredno pre i posle merne blende (Pa),
- $\Delta \omega$ - pad apsolutnog statičkog pritiska fluida merne blende kao elementa cevovoda (Pa),
- ε - brzina disipacije,
- σ_k - konstanta u k- ε modelu,
- σ_ε - konstanta u k- ε modelu,

6.2. Grčka slova

- Δ - razlika,
- ω - pritisak,
- ν - viskoznost,
- ε - brzina disipacije,
- σ - konstanta u k- ε modelu,

6.3. Indeksi

- d - prečnik,
- mb - merna blenda,
- man - manometarski pritisak,
- o - prečnik otvora,
- pla - polilaktid,

p	-	pritisak,
s	-	računarska simulacija,
z	-	zid cevi,
zap	-	zapreminski protok fluida,
ω	-	pritisak,
$\omega_{\omega-700}$	-	pritisak na – 700 (mm) od merne blende,
$\omega_{\omega+700}$	-	pritisak na + 700 (mm) od merne blende,
Δp	-	razlika pritisaka,
$\Delta \omega$	-	razlika pritisaka,

6.4. Skraćenice

3D	-	trodimenzionalan,
CAD	-	(eng. <u>C</u> omputer- <u>A</u> ided <u>D</u> esign), programski paketi za projektovanje, menjanje, analizu i optimizaciju dizajna,
CFD	-	(eng. <u>C</u> omputational <u>F</u> luid <u>D</u> ynamics) računarska dinamika fluida,
FDM	-	(eng. <u>F</u> used <u>D</u> eposition <u>M</u> odeling), način izrade predmeta 3D štampom, nanošenjem rastopljenog materijala,
PLA	-	poli(mlečna kiselina) ako je dobijen iz mlečne kiseline, ili poli(laktid) ako je dobijen polimerizacijom laktida,
RANS	-	(eng. <u>R</u> eynolds- <u>a</u> veraged <u>N</u> avier- <u>S</u> tokes), Rejnoldsovom obliku Navije-Stoksove jednačine,
STL	-	(eng. <u>S</u> tandard <u>T</u> essellation <u>L</u> anguage), standardni tip datoteke koju mogu koristiti i razmenjivati mnogi CAD programski paketi,

- Δp - pad apsolutnog statičkog pritiska fluida na mernim mestima neposredno pre i posle merne blende,
- $\Delta \omega$ - pad apsolutnog statičkog pritiska fluida merne blende kao elementa cevovoda,

7. Literatura


- [1] Milenković B. Priručnik za merenje protoka, SMEITS, Beograd 2000.
- [2] Čorluka F. Mjerenje protoka fluida, Tehnička knjiga, Zagreb 1975.
- [3] EN ISO 5167-1: Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices Inserted in Circular Cross-Section Conduits Running Full. Part 1: General principles and requirements. 2003.
- [4] EN ISO 5167-2: Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices Inserted in Circular Cross-Section Conduits Running Full. Part 2: Orifice plates. 2003.
- [5] Nicolleau FC, Return to axi-symmetry for pipe flows generated after a fractal orifice. *Fluid Dynamics Research* 2013; 45: 061402.
- [6] Gronych T., Jerab M, Peksa L, Wild J, Stanček F, Vičar M. Experimental study of gasflow through a multi-opening orifice. *Vacuum* 2012; 86: 1759-1763.
- [7] Montagna F, Schena E, Massaroni C, Caciotti C, Presti DL, Silvestri S. Influence of the length of lead lines on the response of a variable orifice meter: analysis of sensitivity and settling time. In: *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, Rome, 2018, pp. 1-6.
- [8] Qiao M, Wei W, Huang W, Li J, Xue Y, Deng C. Flow patterns and hydrodynamic model for gas-liquid co-current downward flow through an orifice plate. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2019; 100: 144-157.
- [9] Rydlewicz W, Rydlewicz M, Palczynski T. Experimental investigation of the influence of an orifice plate on the pressure pulsation amplitude in the pulsating flow in a straight pipe. *Mechanical Systems and Signal Processing* 2019; 117: 634–652.
- [10] Krassow H, Campabadal F, Lora-Tamayo E. The smart-orifice meter: a mini head meter for volume flow measurement. *Flow Measurement and Instrumentation* 1999; 10: 109–115.
- [11] Perumal K, Ganesan R. Integration of numerical and physical experiments to enhance student learning experience. *Computer Applications in Engineering Education* 2018; 26: 1930–1938.
- [12] Mubarok MH, Zarrouk SJ, Cater JE. Two-phase flow measurement of geothermal fluid using orifice plate: Field testing and CFD validation, *Renewable Energy* 2019; 134: 927–946.
- [13] Rudolf P, Kubina D, Kozak J, Hudec M, Pochlyly F. Dynamics of the Cavitating Flow Downstream of the Orifice Plate. *AIP Conference Proceedings* 2017; 1889 (1): 020033 8 pp.

-
- [14] Wang LQ, Ma HH, Shen ZW. Effect of orifice plates on detonation propagation in stoichiometric hydrogen-oxygen mixture. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2018; 99: 367-373.
- [15] Xu M Y, Zhang J P, Mi J C, Nathan GJ, Kaltp AM. PIV measurements of turbulent jets issuing from triangular and circular orifice plates. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy* 2013; 56: 1176–1186.
- [16] Kumar P, Wong M, Bing M. A CFD study of low pressure wet gas metering using slotted orifice meters. *Flow Measurement and Instrumentation* 2011; 22: 33–42.
- [17] Moosa M, Hekmat MH. Numerical investigation of turbulence characteristics and upstream disturbance of flow through standard and multi-hole orifice flowmeters. *Flow Measurement and Instrumentation* 2019; 65: 203–218.
- [18] Danesh M, Hassan AM. Estimation of Discharge Coefficient in Orifice Meter by Computational Fluid Dynamics Simulation. In: *International Conference on Pure and Applied Sciences*. Koya University, Iraq, 2018 pp. 154-156.
- [19] Khan Z, Tafreshi R, Franchek M, Grigoriadis K. Numerical evaluation of pressure drop across orifices for different gas-liquid mixtures. In: *Proceedings of the ASME 2018 Dynamic Systems and Control Conference DSCC2018*. Atlanta, Georgia, USA, 2018, DSCC2018-9038, pp V003T30A007; 6 pages.
- [20] Singh VK, Tharakan TJ. Numerical simulations for multi-hole orifice flow meter. *Flow Measurement and Instrumentation* 2015; 45: 375-383.
- [21] Tukiman MM, Ghazali MNM, Sadikin A, Nasir NF, Nordin N, Sapit A, Razali MA. CFD simulation of flow through an orifice plate. *Materials Science and Engineering* 2017; 243: 012036.
- [22] Bramaramba V, Srinivasan S. Calculation of Coefficient of Discharge of Orifice Plate and Flow Nozzle Using CFD Analysis. *International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research* 2015; 2 (12): 31-34.
- [23] Shaaban S. Optimization of orifice meter's energy consumption. *Chemical engineering research and design* 2014; 92: 1005-1015.
- [24] S. Manish Shah, B. Jyeshtharaj Joshi, S. Avtar Kalsi, C.S.R. Prasad, S. Daya Shukla, Analysis of flow through an orifice meter: CFD simulation, *Chemical Engineering Science* 71 (2012); 300–309.
- [25] Mubarok, Mohamad & Zarrouk, Sadiq & Cater, John. Numerical and analytical modeling of pressure drop through a geothermal two-phase orifice plate. In: *Proceedings 40th New Zealand Geothermal Workshop, Taupo, New Zealand, 2018*.
- [26] Halas D, Bera O, Omorjan R, Rajić A, Jašin D. Analiza novih oblika mernih blendi primenom računarske dinamike fluida, *Hemijska Industrija* 2019; 73 (5) 311–323.
- [27] J.E. Matsson, *An Introduction to SolidWorks Flow Simulation*, Schroff

-
- Development Corporation, 2012.
- [28]D. Nedelcu, Digital prototyping & numerical simulation with SolidWorks, Temišvar, Erudita Eurostampa, 2011.
- [29]L. S. Mayboudi, Geometry Creation and Import with COMSOL Multiphysics, Mercury Learning and Information, 2020.
- [30]M. Tabatabaian, COMSOL For Engineers, Mercury Learning and Information, 2014.
- [31]N. Ćirović, Numerička matematika, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2018.
- [32]Kuzmin D, Mierka O, Turek S. On the implementation of the $k - \varepsilon$ turbulence model in incompressible flowsolvers based on a finite element discretization. Int. J. Comp. Sci. Math. 2007; 2/3/4: 193–206.
- [33]Ristić I, Nikolić Lj, Cakić S, Radičević R, Pilić B, Budinski-Simendić J. Poli(laktid): dostignuća i perspektive, Hemijska industrija, 2012; 1 (1) 67–77.

8. Prilozi

8.1. PLA - Tehnička specifikacija

German RepRap 

Technical Datasheet

PLA

Physical Properties		
Properties	Value	Unit
Density	1,25 +/-0,05	g/cm ³
Melt Index (190°C/2.16kg)	2 - 10	g/10min
Melting Point	170 – 180	°C
Glass Transition Temperature	60 – 63	°C

Mechanical Properties		
Properties	Value	Unit
Tensile Strength	>= 50	MPa
Elongation at Break	>3	%

Impact Properties		
Properties	Value	Unit
Impact Strength (Izod)	3 – 5	kJ/m ²

Technical Datasheet
PLA
01/06

Further Information

Hazards Identification:

Emergency Overview:

This product with no health hazards reported from normal use.
Thermal decomposition can create toxic vapours, gases or fumes.

Route of entry:

Inhalation, skin contact, eye contact, ingestion.

Eye:

Dust may cause irritation or corneal injury due to mechanical action. Fumes released during hot operation may cause eye irritation.

Skin:

May cause skin irritation for certain people.

Ingestion:

May be harmful if swallowed.

Inhalation:

Fumes generated under heat may cause irritation to upper respiratory tract and lungs.

First Aid Measures:

Eye Contact:

Wash eyes with plenty of water for at least 15 minutes, lifting lids occasionally to remove particles. Seek medical aid.

Skin Contact:

Wash exposed area with soap and water. If irritation persists, seek medical attention. Remove contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. Thoroughly clean shoes before reuse.

Inhalation:

Remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen.

Ingestion:

Not a likely route of exposure. Induce vomiting if large quantities are swallowed. Get medical attention.

Fire Fighting Measures:**Fire Hazard Summary:**

This material is flammable if being heated strongly.

Extinguishing Media: Use water, water fog or foam, carbon dioxide or dry chemical to extinguish fires.

Special information:

As in any fire, wear a self-contained breathing apparatus in pressuredemand, MSHA/NIOSH (approved or equivalent), and full protective gear. Dusts at sufficient concentrations can form explosive mixtures with air. Combustion generates toxic fumes.

Unusual Hazards:

None.

Accidental Release Measures:**Personal Precautions:**

Wear appropriate personal protective equipment as specified in Section VIII.

Environmental Precautions:

This product is non-hazardous and may be discarded in accordance with applicable governmental regulations and take order with the demands of the environmental protection section.

Accidental Release Measures:

Sweep, scoop or pick up spilled material, package for reclamation or recovery. Finish cleaning by spreading water on the contaminates surface. Any product recovery or disposal must comply with local, state, federal, international or country specific regulations.

Handling and Storage:**Handling:**

Keep far away from fire sources, heated or molten product when handling. Washing thoroughly after handling. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid ingestion.

Storage:

Store in a cool, dry, and well-ventilated area and away from sources of ignition, excessive heat and direct sunlight. Keep container closed when not in use. Protect from physical damage. Separate from combustible and strong oxidizing agents. Put it lightly when packing and transport, prevent the packing and container from damage.

Exposure Controls/Personal Protection:**Signs and Symptoms of Exposure:**

There are no significant health hazards under normal conditions of use. Dust of the product may cause eyes and skin irritation. Harmful if swallowed. Prolonged breathing of vapours may cause respiratory irritation.

Medical Conditions Generally Aggravated by Exposure: None known.

Respiratory Protection (Specify Type): N/A

Ventilation:

Local Exhaust: Yes

Mechanical (General): No

Special Other: No

Personal Protective Equipment:**Eye/Face Protection:**

Not expected to require eye/face protection in ordinary use. Wear appropriate protective eyeglasses or chemical safety goggles as described by OSHA's eye and face protection regulations in 29 CFR 1910.133 or European Standard EN166 and maintain eye wash fountain and quick-drench facilities in workshop.

Skin Protection:

Not expected to require skin protection in ordinary use. But in workshop, appropriate gloves and impervious protective clothing, including boot, gloves, lab coat, apron or coveralls should be worn to prevent skin exposure.

Respiratory Protection:

Not expected to require respiratory protection in ordinary use. But in workshop, respiratory protection program that meets OSHA's 29 CFR 1910.134 and ANSI Z88.2 requirements or European Standard. EN149 must be followed whenever workplace conditions warrant a respirator's use.

Protective Clothing:

Not expected to require protective clothing in ordinary use. In workshop, use impervious protective clothing to avoid prolonged skin contact. Also use chemical goggles.

Additional protective measures:

Wash after use and before eating, drinking or smoking.

Work/Hygienic Practices:
NONE

Engineering Controls:
None required in normal use.

Physical and Chemical Properties:

Appearance and Odor:	sweet
Solubility in Water:	Insoluble.
Specific Gravity (H₂O=1):	1.25
Melting Point:	170-180° C
Molecular Weight:	70000-110000

Stability and Reactivity:

Stability:
The product is considered stable under normal conditions.

Hazardous Polymerization:
Will not occur

Incompatibility – Materials to Avoid:
Incompatible with strong oxidizing agents.

Hazardous Combustion Products:
Combustion may produce carbon dioxide and carbon monoxide.

Conditions to Avoid:
Direct sunlight, excessive heat and physical damage.

Corrosive to Metals:
Not corrosive.

Toxicological Information:
Believed to be safe.

Carcinogenicity (NTP) (IARC) (OSHA):
Not listed as a carcinogen.

Teratogenicity and Embryotoxocity:
No human information was located.

Reproductive Toxicity:

No human or animal information was located.

Mutagenicity:

This product is not expected to be mutagenic. No human information or studies using live animals were located.

Toxicologically Synergistic Materials:

There is no information available.

Ecological Information:**Environmental Toxicity:**

On the basis of available information, this product is not expected to produce any significant adverse environmental effects when recommended use instructions are followed.

Disposal Considerations

Waste Disposal Method:

Put into dustbin, otherwise incineration, otherwise licensed landfill, or safe disposal as required by local, state, federal, international or country specific regulations.

Empty Container Warnings:

Follow MSDS and label warnings even after they have been emptied.

Transport Information:**US Department of Transportation Classification:**

The product is not a DOT controlled material (United States)

International Air Transportation Association Classification:

This product is not classified as a hazardous material for transport under IATA regulations.

International Maritime Organization – IMDG:

This product is not classified as a hazardous material for transport under IMDG regulations.

UN, IMO, ADR/RID, IC AO Code:

This product is not classified as a hazardous material for conveyance under these codes.

The regulations may change from time to time. Please consult the most recent version of the relevant regulations.

EC label: N/A



Other Information

This data is offered in good faith as typical values and not as a product specification. No warranty, either expressed or implied is hereby made. The recommended industrial hygiene and safe handling procedures are believed to be generally applicable. However, each user should review these recommendations in the specific context of the intended use and determine whether they are appropriate.

06/06

Technical Datasheet
PLA

8.2. CHCl₃ - Tehnička specifikacija

CHLOROFORM		Valetime Limited 	
Specification		International Trade & Business Development	
DETAILS			
Name	Chloroform	CAS No.	67-66-3
IUPAC name	Trichloromethane	PubChem	6212
Alternative names	Chloroform, Formyl trichloride, Methane trichloride, Methyl trichloride, Methenyl trichloride, TCM, Freon 20, R-20, UN 1888	ChEBI	35255
Structural formula	Cl ₃ CH	EINECS number	200-663-8
Source	Romania	KEGG	C13827
		RTECS number	F 59100000
SPECIFICATION – CHLOROFORM 93.0%			
Test		Result	Testing method
Purity	%	93.0	
Acidity (HCL)	ppm, max	5	
Water Content	wt %, max	0.05	
Relative Density at 20 °C	g/cm ³	1.480 – 1.495	
Residue on evaporation	ppm, max	50	
Appearance		Clear, Volatile liquid	
SPECIFICATION – CHLOROFORM “TYPE A”			
Test		Result	Testing method
Purity	%, min	99	Chromatography
Acidity (HCL)	ppm, max	3	ASTM 4755-92
Water Content	wt %, max	0.05	SR ISO 760/94
Relative Density at 20 °C	g/cm ³	1.475 – 1.487	ASTM D 1298/85
Residue on evaporation	ppm, max	50	ISO 2210
Free chlorine content		absent	ASTM D 4755/92
Methylene Chloride	%, max	1.4	
1.1 Dichloroethane	%, max	2.9	
1.2 Dichloroethylene	%, max	0.3	
Carbon Tetrachloride	%, max	0.4	
Colour		colourless	Visual inspection
 www.valetimegroup.com Valetime Group Limited Registered in England #4759587		Valetime Limited Registered in England # 2437781 VAT Registration No. GB 546 477 511 Operating in International Business since 1989 ISO 9001:2000 registered No. GB 12897	
		Disclaimer for Specifications Every effort is made to ensure that technical specifications are accurate. However, technical specifications included herein should be used as a guideline only and not construed as commitment by any company within or supported by the VALETIME Group. All specifications are subject to change without notice.	

8.3. Sudan III - Bezbednosni list



Strana: 1/7

Bezbednosni list

Na osnovu Sl. gl. RS br. 100/11

Datum štampanja: 21.02.2019

Broj verzije 11

prerađeno: 21.02.2019

POGLAVLJE 1: Identifikacija hemikalije i podaci o licu koje stavlja hemikaliju u promet

- **1.1 Identifikacija hemikalije**
- **Tržišni naziv:** 1-(4-(phenylazo)phenylazo)-2-naphthol
- **Broj artikla:** CH1697
- **CAS-broj:**
85-86-9
- **EEC broj:**
201-638-4
- **1.2 Identifikovani načini korišćenja hemikalije i načini korišćenja koji se ne preporučuju**
Nisu dostupne dalje relevantne informacije.
- **Étape du cycle de vie**
- IS Use at industrial Sites
- F Formulation or re-packing
- **Sektor primene**
- SU9 Manufacture of fine chemicals
- SU24 Scientific research and development
- **Kategorija proizvoda**
- PC20 Processing aids such as pH-regulators, flocculants, precipitants, neutralization agents
- PC21 Laboratory chemicals
- PC29 Pharmaceuticals
- PC40 Extraction agents
- **Kategorija procesa**
- PROC1 Chemical production or refinery in closed process without likelihood of exposure or processes with equivalent containment conditions.
- PROC2 Chemical production or refinery in closed continuous process with occasional controlled exposure or processes with equivalent containment conditions
- PROC3 Manufacture or formulation in the chemical industry in closed batch processes with occasional controlled exposure or processes with equivalent containment condition
- PROC4 Chemical production where opportunity for exposure arises
- PROC5 Miscelazione o mescolamento in processi a lotti
- PROC9 Transfer of substance or mixture into small containers (dedicated filling line, including weighing)
- PROC15 Use as laboratory reagent
- **Kategorija zaštite okoline**
- ERC1 Manufacture of the substance
- ERC2 Formulation into mixture
- ERC4 Use of non-reactive processing aid at industrial site (no inclusion into or onto article)
- ERC6a Use of intermediate
- **Primena supstance / pripreme** Хемички производи за лабораторије
- **1.3 Podaci o snabdevaču**
- **Proizvodač/dobavljač:**
CARLO ERBA REAGENTS
Chaussée du Vexin
Parc d'Affaires des Portes - BP616
27106 VAL DE REUIL Cedex
Téléphone: +33 (0)2 32 09 20 00
Télécopie: +33 (0)2 32 09 20 20
- **Dalje informacije možete dobiti od:**
Q.A / Normative
email: MSDS_CER-SDS@cer.dgroup.it
- **1.4 Broj telefona za hitne slučajeve**
France (ORFILA 24h/24) - Tel : +33 (0)1 45 42 59 59
Belgium - Tel : 32 070/245 245
EU Tel : 112
Suisse : 145

RS
(nastavak na strani 2)



Strana: 2/7

Bezbednosni list

Na osnovu Sl. gl. RS br. 100/11

Datum štampanja: 21.02.2019

Broj verzije 11

prerađeno: 21.02.2019

Tržišni naziv: 1-(4-(phenylazo)phenylazo)-2-naphthol

(nastavak na strani 1)

POGLAVLJE 2: Identifikacija opasnosti

- 2.1 Klasifikacija hemikalije
- Kategorizacija prema odredbi (EG) br. 1272/2008 Proizvod nije klasifikovan prema CLP regulativama.
- 2.2 Elementi obeležavanja
- Karakteristike prema pravilniku (EC) broj 1272/2008 otpada
- Piktogrami opasnosti otpada
- Reč upozorenja otpada
- Obaveštenja o opasnosti otpada
- 2.3 Ostale opasnosti -
- Rezultati ocene PBT i vPvB
- PBT: Neprimenjivo.
- vPvB: Neprimenjivo.

POGLAVLJE 3: Sastav/Podaci o sastojcima

- 3.1 Podaci o sastojcima supstance
- CAS-br. opis
- 85-86-9 1-(4-(phenylazo)phenylazo)-2-naphthol
- Identifikacioni broj/brojevi
- EEC broj: 201-638-4

POGLAVLJE 4: Mere prve pomoći

- 4.1 Opis mera prve pomoći
- Opšte informacije: Nisu potrebne posebne mere.
- Nakon udisanja:
- Dovod svežeg vazduha; u slučaju tegoba obratiti se lekaru.
- Move the person into fresh air and immediately consult a doctor
- Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Consult doctor.
- Nakon kontakta sa kožom: Ukoliko iritacija kože ne prestane, obratiti se lekaru.
- Nakon kontakta sa očima: Oči otvorenih kapaka više minuta ispirati pod tekućom vodom.
- Nakon gutanja:
- Ne izazivati povraćanje, već odmah zatražiti pomoć lekara.
- Odmah otići kod lekara.
- 4.2 Najvažniji simptomi i efekti, akutni i odloženi Nisu dostupne dalje relevantne informacije.
- Informacije za lekara: Покажите доктору овај Материјални сигурносни лист.
- 4.3 Hitna medicinska pomoć i poseban tretman Nisu dostupne dalje relevantne informacije.

POGLAVLJE 5: Mere za gašenje požara

- 5.1 Sredstva za gašenje požara
- Pogodna sredstva za gašenje:
- CO₂, prah za gašenje ili vodeni šmrk. Veći požar gasiti vodenim šmrkom ili penom otpornom na alkohol.
- Mere za suzbijanje požara uskladiti prema okolini.
- 5.2 Posebne opasnosti koje mogu nastati od supstanci i smeša
- Nitrogeni oksidi (NO_x)
- Prilikom požara može doći do oslobađanja:
- Ugljenmonoksid i ugljendioksid

(nastavak na strani 3)

RS



Strana: 3/7

Bezbednosni list

Na osnovu Sl. gl. RS br. 100/11

Datum štampanja: 21.02.2019

Broj verzije 11

prerađeno: 21.02.2019

Tržišni naziv: 1-(4-(phenylazo)phenylazo)-2-naphthol

(nastavak na strani 2)

- In the absence of oxygen: Ammonia (NH₃).*
- **5.3 Savet za vatrogasce**
 - **Posebna zaštitna oprema:** Ne udisati gasove eksplozije i požara.
 - **Dalje informacije** Ugrožene posude hladiti vodenim šmrkom.

POGLAVLJE 6: Mere u slučaju udesa

- **6.1 Lične predostrožnosti, zaštitna oprema i postupci u slučaju udesa** Nije potrebno.
- **6.2 Predostrožnosti koje se odnose na životnu sredinu**
Ukoliko dođe do izlivanja u okolne vode ili kanalizaciju, odmah obavestiti nadležne organe.
- **6.3 Mere koje treba preduzeti i materijal za sprečavanje širenja i sanaciju**
Sakupiti mehanički.
For fine dusts use a vacuum cleaner.
- **6.4 Upućivanje na druga poglavlja**
Ne dolazi do oslobađanja opasnih materija.
Informacije o bezbednom rukovanju vidi u poglavlju 7.
Informacije o ličnoj zaštitnoj opremi vidi u poglavlju 8.
Informacije o odlaganju vidi u poglavlju 13.

POGLAVLJE 7: Rukovanje i skladištenje

- **7.1 Predostrožnosti za bezbedno rukovanje** Nisu potrebne posebne mere.
- **Informacije o zaštiti od požara i eksplozije:** Proizvod nije zapaljiv.
- **7.2 Uslovi za bezbedno skladištenje, uključujući nekompatibilnosti**
Skladištenje:
- **Zahtevi koje treba da ispunjavaju prostorije za skladištenje i posude:**
Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.
- **Informacije o skladištenju u jednoj zajedničkoj prostoriji:** Nije potrebno.
- **Dodatne informacije o uslovima skladištenja:** Nema.
- **7.3 Posebni načini korišćenja** Nisu dostupne dalje relevantne informacije.

POGLAVLJE 8: Kontrola izloženosti

- **Dodatne informacije o uredjenju tehničkih postrojenja:** Nema daljih informacija, vidi tačku 7.
- **8.1 Parametri kontrole izloženosti**
- **Sastojci sa limitiranim vrednostima koji zahtevaju nadzor na radnom mestu:** Otpada.

DNEL-vrednosti

dermalno	DNEL (consumer-chronic systemic effects)	250 (rab)
----------	--	-----------

- **Dodatne informacije:** Za osnovu su poslužili spiskovi napravljeni prilikom pravljenja.

8.2 Kontrola izloženosti i lična zaštita

Lična zaštitna oprema:

Opšte mere zaštite i higijene:

Obratiti pažnju na uobičajene mere predostrožnosti prilikom rukovanja sa hemikalijama.

· **Zaštita disanja:** Nije potrebno.

· **Zaštita za ruke:**

The selected protective gloves have to satisfy the specifications of REGULATION (EU) 2016/425 and the standard EN 374 derived from it.

Materijal rukavica

Odabir odgovarajućih rukavica ne zavisi samo od materijala već i od drugih karakteristika kvaliteta, koje se razlikuju od proizvođača do proizvođača.

(nastavak na strani 4)

RS



Bezbednosni list

Na osnovu Sl. gl. RS br. 100/11

Datum štampanja: 21.02.2019

Broj verzije 11

prerađeno: 21.02.2019

Tržišni naziv: 1-(4-(phenylazo)phenylazo)-2-naphthol

(nastavak na strani 3)

- **Vreme propuštanja materijala za rukavice**
Tačno vreme prodiranja možete saznati od proizvođača zaštitnih rukavica i treba se pridržavati istog.
- **Zaštita za oči:** -
- **Limitacija i nadzor nad ekspozicijom u okolinu**
U slučaju nenamernog ispuštanje proizvoda u okolinu: pogledaj pasus 6, lista sa bezbedonosnim podacima.

* POGLAVLJE 9: Fizička i hemijska svojstva

- **9.1 Podaci o osnovnim fizičkim i hemijskim svojstvima hemikalije**

Opšti podaci	352,4 g
--------------	---------
- **Izgledu**

Oblik:	Kristalin prah
Boja:	Crveno
- **Miris:** Karakteristično
- **Pragu mirisa** Nije određeno.
- **pH-vrednost:** Neprimenjivo.
- **Promena stanja**

Tačka topljenja/Oblast topljenja:	Neodređeno.
Tačka ključanja/Oblast ključanja:	Neodređeno.
Tačka plamena:	Neprimenjivo.
Zapaljivost (čvrsto stanje, gasno stanje):	Materija nije zapaljiva.
Temperatura raspadanja:	Nije određeno.
Samozapaljivost:	Nije određeno.
Opasnost od eksplozije:	Proizvod ne nosi opasnost od eksplozije.
Granice eksplozije:	
Donja:	Nije određeno.
Gornja:	Nije određeno.
Pritisak pare:	Neprimenjivo.
Gustina:	Neodređeno.
Relativna gustina	Nije određeno.
Gustina pare	Neprimenjivo.
Brzina isparavanja	Neprimenjivo.
Rastvorljivo u / Može se mešati sa	
Vodom:	Nerastvorljivo.
organskim rastvaračima:	Soluble in aromatic and chlorinated solvents
hloriranim ugljovodonicima:	Soluble in trichloromethane
- **koeficijent raspodele (n-oktanol/voda):** Nije određeno.
- **Viskoznost:**

dinamična:	Neprimenjivo.
kinematična:	Neprimenjivo.
- **9.2 Ostali podaci** Nisu dostupne dalje relevantne informacije.

* POGLAVLJE 10: Reaktivnost i stabilnost

- **10.1 Reaktivnost** See 10.3
- **10.2 Hemijska stabilnost**
- **Termičko raspadanje / uslovi koje treba izbegavati:** Nema raspadanja prilikom pravilne primene.
- **10.3 Mogućnost nastanka opasnih reakcija** Opasne reakcije nisu poznate.
- **10.4 Uslovi koje treba izbegavati** Nisu dostupne dalje relevantne informacije.
- **10.5 Nekompatibilni materijali** Nisu dostupne dalje relevantne informacije.

(nastavak na strani 5)

RS



Bezbednosni list

Na osnovu Sl. gl. RS br. 100/11

Datum štampanja: 21.02.2019

Broj verzije 11

prerađeno: 21.02.2019

Tržišni naziv: 1-(4-(phenylazo)phenylazo)-2-naphthol

(nastavak na strani 4)

- 10.6 Opasni proizvodi razgradnje
- Ugljenmonoksid
- Nitrogeni oksidi (NOx)

POGLAVLJE 11: Toksikološki podaci

- 11.1 Podaci o toksičnim efektima sadrži
- Akutna toksičnost Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.
- Primarno nadražajno dejstvo:
- Korozivno oštećenje kože/iritacija Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.
- Teško oštećenje oka/iritacija oka Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.
- Senzibilizacija respiratornih organa ili kože
- Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.
- Ostale informacije (o eksperimentalnoj toksikologiji): Nisu dostupne dalje relevantne informacije.
- CMR-dejstva (izazivač karcinoma, promena u genetici kao i štetno dejstvo na organe za reprodukciju)
- Mutagenost germinativnih ćelija Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.
- Karcinogenost Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.
- Toksičnost po reprodukciju Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.
- Specifična toksičnost za ciljni organ - jednokratna izloženost
- Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.
- Specifična toksičnost za ciljni organ - višekratna izloženost
- Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.
- Opasnost od aspiracije Na osnovu dostupnih podataka, kriterijumi za klasifikaciju nisu ispunjeni.

POGLAVLJE 12: Ekotoksikološki podaci

- 12.1 Toksičnost
- Akvatična toksičnost: Nisu dostupne dalje relevantne informacije.
- 12.2 Perzistentnost i razgradljivost Nisu dostupne dalje relevantne informacije.
- Ostale informacije: Possibility of photochemical degradation
- 12.3 Potencijal bioakumulacije Nisu dostupne dalje relevantne informacije.
- 12.4 Mobilnost u zemljištu Nisu dostupne dalje relevantne informacije.
- Ekotoksična dejstva:
- Primedba: No available data.
- Dalje ekološke informacije:
- Opšte informacije:
- Nije poznato ugrožavanje vode.
- Uopšteno nije štetno za vodu
- 12.5 Rezultati PBT i vPvB procene
- PBT: Neprimenjivo.
- vPvB: Neprimenjivo.
- 12.6 Ostali štetni efekti Nisu dostupne dalje relevantne informacije.

POGLAVLJE 13: Odlaganje

- 13.1 Metode tretmana otpada
- Preporuka:
- Manje količine se mogu deponovati zajedno sa kućnim otpadom.
- Obratiti se berzama otpada u vezi reciklaže.
- Ključni broj otpada:
- The European Union does not establish uniform rules for the disposal of chemical waste, which are special waste. Their treatment and elimination of the domestic legislation of each country. So, in each case, you should contact the relevant authorities, or those companies legally authorized for elimination of waste.

(nastavak na strani 6)

RS



Bezbednosni list

Na osnovu Sl. gl. RS br. 100/11

Datum štampanja: 21.02.2019

Broj verzije 11

prerađeno: 21.02.2019

Tržišni naziv: 1-(4-(phenylazo)phenylazo)-2-naphthol

(nastavak na strani 5)

2014/955/UE: Council Decision of 18 December 2014 amending the list of wastes contained in Decision 2000/532/EC.

Council Directive 91/156/EEC of 18 March 1991 amending Directive 75/442/EEC on waste.

· Neočišćena ambalaža:

Контејнери и амбалажа контаминирани опасним супстанцама или препаратима морају имати исти третман као и производи.

Директива 94/62 / ЕЦ Европског парламента и Вијећа од 20. децембра 1994. о амбалажи и амбалажн ом отпаду.

· Preporuka:

Odlaganje prema propisima nadležnih organa.

Ambalaža koja se ne može očistiti treba biti odložena na isti način kao i sam proizvod.

* POGLAVLJE 14: Podaci o transportu

· 14.1 UN broj -

· ADR, ADN, IMDG, IATA otpada

· 14.2 UN naziv za teret u transportu -

· ADR, ADN, IMDG, IATA otpada

· 14.3 Klasa opasnosti u transportu

· ADR, ADN, IMDG, IATA

· klasa otpada

· 14.4 Ambalažna grupa

· ADR, IMDG, IATA otpada

· 14.5 Opasnost po životnu sredinu

· Morski загађивач: Ne

· 14.6 Posebne predostrožnosti za korisnika Neprimenjivo.

· 14.7 Transport u rasutom stanju Neprimenjivo.

· UN "Model Regulation": otpada

* POGLAVLJE 15: Regulatorni podaci

· 15.1 Propisi u vezi sa bezbednošću, zdravljem i životnom sredinom

· Direktiva 2012/18/EU

· Imena opasnih supstanci - **PRILOG I** Materija nije sadržana.

· Nacionalni propisi:

· Informacije o limitaciji u korišćenju: -

· Klasa ugrožavanja voda: U suštini nije štetno za vodu.

· 15.2 Procena bezbednosti hemikalije Nije izvedena procena o bezbednosti materije.

* POGLAVLJE 16: Ostali podaci

Navođena se baziraju na današnje stanje naših saznanja, ali ne predstavljaju garanciju za karakteristike proizvoda i ne daju osnov za ugovorno pravni odnos.

· Odeljenje koje izdaje podatke: Q.A / Normative

· Kontakt osoba: msds_cer-sds@cer.dgroup.it

(nastavak na strani 7)

RS



Strana: 7/7

Bezbednosni list
 Na osnovu Sl. gl. RS br. 100/11

Datum štampanja: 21.02.2019

Broj verzije 11

prerađeno: 21.02.2019

Tržišni naziv: 1-(4-(phenylazo)phenylazo)-2-naphthol

(nastavak na strani 6)

· **Skraćenice i akronimi:**

RID: Règlement international concernant le transport des marchandises dangereuses par chemin de fer (Regulations Concerning the International Transport of Dangerous Goods by Rail)

ICAO: International Civil Aviation Organisation

RCR: Risk Characterisation Ratio

ADR: Accord européen sur le transport des marchandises dangereuses par Route (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road)

IMDG: International Maritime Code for Dangerous Goods

IATA: International Air Transport Association

GHS: Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances

CAS: Chemical Abstracts Service (division of the American Chemical Society)

DNEL: Derived No-Effect Level (REACH)

PBT: Persistent, Bioaccumulative and Toxic

vPvB: very Persistent and very Bioaccumulative

· **Izvori**

Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006, REACH, in latest valid version.

Regulation (EC) N° 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008, CLP, in the latest valid version.

Globally Harmonized System, GHS

ADR2019

· *** Podaci izmenjeni u odnosu na prethodnu verziju**

The sections where alterations took place are marked with an asterisk in the left border.

RS

8.4. Comsol – Deo izveštaja računarske simulacije

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		-700			700			
2		0	1573.74		0	8.11105		
3		0.157632	1573.745		0.151559	8.111588		
4		0.315265	1573.745		0.303118	8.112121		
5		0.472897	1573.744		0.454676	8.112655		
6		0.630529	1573.744		0.606235	8.113188		
7		0.788161	1573.744		0.757794	8.113721		
8		0.945794	1573.744		0.909353	8.114255		
9		1.103426	1573.744		1.060911	8.114788		
10		1.292585	1573.744		1.242782	8.115456		
11		1.481744	1573.744		1.424652	8.116124		
12		1.670902	1573.744		1.606523	8.116793		
13		1.860061	1573.744		1.788393	8.117461		
14		2.04922	1573.744		1.970264	8.118129		
15		2.238379	1573.744		2.152135	8.118797		
16		2.427537	1573.743		2.334005	8.119465		
17		2.654528	1573.743		2.55225	8.120218		
18		2.881518	1573.743		2.770494	8.120971		
19		3.108509	1573.743		2.988739	8.121723		
20		3.335499	1573.743		3.206984	8.122476		
21		3.56249	1573.743		3.425228	8.123229		
22		3.78948	1573.743		3.643473	8.123982		
23		4.016471	1573.743		3.861717	8.124734		
24		4.288859	1573.744		4.123611	8.125639		
25		4.561248	1573.744		4.385505	8.126544		
26		4.833637	1573.744		4.647398	8.127449		
27		5.106025	1573.744		4.909292	8.128355		
28		5.378414	1573.744		5.171185	8.12926		
29		5.650802	1573.744		5.433079	8.130165		
30		5.923191	1573.744		5.694972	8.13107		
31		6.250057	1573.744		6.009245	8.132387		
32		6.576924	1573.744		6.323517	8.133705		
33		6.90379	1573.744		6.637789	8.135023		
34		7.230656	1573.744		6.952061	8.13634		
35		7.557523	1573.744		7.266334	8.137658		
36		7.884389	1573.744		7.580606	8.138976		
37		8.211255	1573.744		7.894878	8.140293		
38		9.060273	1573.744		8.901802	8.13872		
39		9.90929	1573.744		9.908726	8.137147		
40		10.75831	1573.745		10.91565	8.135574		
41		11.60733	1573.745		11.92257	8.134001		
42		12.45634	1573.745		12.9295	8.132428		
43		13.30536	1573.745		13.93642	8.130855		
44		14.15438	1573.745		14.94335	8.129282		
45		15.7609	1573.744		16.43715	8.132279		
46		17.36741	1573.744		17.93096	8.135275		
47		18.97393	1573.744		19.42477	8.138272		
48		20.58045	1573.743		20.91858	8.141269		
49		22.18697	1573.743		22.41238	8.144265		
50		23.79348	1573.742		23.90619	8.147262		

	A	B	C	D	E	F	G	H
51		25.4	1573.742		25.4	8.150259		
52		26.96152	1573.742		27.06305	8.144974		
53		28.52303	1573.742		28.7261	8.139689		
54		30.08455	1573.742		30.38915	8.134404		
55		31.64607	1573.742		32.05219	8.12912		
56		33.20758	1573.742		33.71524	8.123835		
57		34.7691	1573.742		35.37829	8.11855		
58		36.33062	1573.742		37.04134	8.113265		
59		37.20017	1573.741		37.89033	8.118036		
60		38.06971	1573.741		38.73932	8.122808		
61		38.93926	1573.741		39.5883	8.127579		
62		39.80881	1573.741		40.43729	8.13235		
63		40.67836	1573.74		41.28628	8.137121		
64		41.54791	1573.74		42.13527	8.141892		
65		42.41746	1573.74		42.98425	8.146663		
66		42.75114	1573.739		43.29538	8.147363		
67		43.08483	1573.739		43.6065	8.148063		
68		43.41851	1573.739		43.91762	8.148762		
69		43.75219	1573.739		44.22874	8.149462		
70		44.08588	1573.738		44.53987	8.150162		
71		44.41956	1573.738		44.85099	8.150861		
72		44.75325	1573.738		45.16211	8.151561		
73		45.03132	1573.738		45.42138	8.151817		
74		45.30939	1573.737		45.68065	8.152073		
75		45.58746	1573.737		45.93992	8.152329		
76		45.86553	1573.737		46.19918	8.152585		
77		46.1436	1573.737		46.45845	8.152841		
78		46.42167	1573.737		46.71772	8.153097		
79		46.69974	1573.737		46.97699	8.153354		
80		46.93147	1573.737		47.19305	8.153448		
81		47.1632	1573.737		47.4091	8.153543		
82		47.39492	1573.737		47.62516	8.153638		
83		47.62665	1573.737		47.84122	8.153732		
84		47.85837	1573.736		48.05728	8.153827		
85		48.0901	1573.736		48.27333	8.153922		
86		48.32182	1573.736		48.48939	8.154016		
87		48.51493	1573.736		48.66944	8.15405		
88		48.70803	1573.736		48.84948	8.154084		
89		48.90114	1573.737		49.02953	8.154118		
90		49.09424	1573.737		49.20958	8.154152		
91		49.28735	1573.737		49.38963	8.154186		
92		49.48045	1573.737		49.56967	8.154219		
93		49.67356	1573.737		49.74972	8.154253		
94		49.83448	1573.737		49.89976	8.154247		
95		49.9954	1573.737		50.0498	8.154242		
96		50.15632	1573.737		50.19984	8.154236		
97		50.31724	1573.737		50.34988	8.15423		
98		50.47816	1573.737		50.49992	8.154225		
99		50.63908	1573.737		50.64996	8.154219		
100		50.8	1573.737		50.8	8.154213		