

# ANALIZA STRUJANJA FLUIDA KROZ POBOLJŠANI DIFUZOR FRANCIS TURBINE

---

**Biškup, Melani**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:467345>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ANALIZA STRUJANJA FLUIDA KROZ POBOLJŠANI  
DIFUZOR FRANCIS TURBINE**

Rijeka, rujan 2023.

Melani Biškup  
0069087296

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ANALIZA STRUJANJA FLUIDA KROZ POBOLJŠANI  
DIFUZOR FRANCIS TURBINE**

Mentor: Prof. dr. sc. Zoran Čarija

Komentor: Dr. sc. Ivana Lučin

Rijeka, rujan 2023.

Melani Biškup  
0069087296

## **Izjava**

Izjavljujem da sam ovaj rad “Analiza strujanja fluida kroz poboljšani difuzor Francis turbine” izradila samostalno koristeći navedenu literaturu uz znanje stečeno tijekom prijediplomskog studija.

Rijeka, rujan 2023.

---

Melani Biškup

## ZAHVALA

Ovaj rad posvećujem svojoj obitelji koji su mi bili najveća podrška za vrijeme studiranja.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Zoranu Čariji na prihvaćanju mentorstva, te za svaki savjet i pomoć pri izradi rada.

Veliko hvala asist. dr. sc. Ivani Lučin na dostupnosti za sva pitanja, nedoumice ili probleme, na susretljivosti i na svakom danom savjetu tijekom izrade rada.

Hvala svima koji su ovih godina bili uz mene na bilo koji način, svima koji su mi bili potpora, koji su imali razumijevanja za mene u lijepim, ali i u teškim trenucima, i svima koji su vjerovali u mene.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. HIDRAULIČKI STROJEVI.....	2
3. VODNE TURBINE .....	5
3.1. Akcijske turbine.....	5
3.2. Reakcijske turbine .....	7
4. DIFUZOR .....	10
4.1. Princip rada difuzora.....	10
4.2. Gubitci u difuzoru.....	10
4.3. Vrste difuzora.....	11
5. ANALIZA STRUJANJA FLUIDA KROZ DIFUZOR FRANCIS TURBINE	
13	
5.1. Ansys Fluent .....	13
5.2. Generiranje numeričke mreže.....	13
6. REZULTATI.....	21
6.1. Graf konvergencije .....	21
6.2. Statički tlak .....	22
6.3. Dinamički tlak .....	23
6.4. Apsolutni tlak.....	25
6.5. Brzine.....	26
7. VIZUALIZACIJA KORIŠTENJEM MODULA PYVISTA .....	29
8. ZAKLJUČAK .....	36
9. POPIS LITERATURE.....	37

10. POPIS SLIKA .....	39
11. POPIS OZNAKA I KRATICA .....	41
12. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	42
13. SUMMARY AND KEY WORDS .....	43

# 1. UVOD

Hidraulički strojevi su ključni elementi u proizvodnji energije iz obnovljivih izvora, posebno hidroenergije. Njihova učinkovitost i performanse igraju ključnu ulogu u optimizaciji energetske sustava. U sklopu hidrauličkih strojeva, turbine su posebno važne jer pretvaraju kinetičku energiju fluida u mehaničku energiju rotacije, koja se potom koristi za proizvodnju električne energije.

Ovaj završni rad ima za cilj pružiti detaljan pregled hidrauličkih strojeva, s posebnim fokusom na vodne turbine i difuzore. Osim teoretskog pregleda provedena je numerička analiza strujanja kroz difuzor Francis turbine kako bi se dobio detaljniji uvid u strujanje fluida za odabranu geometriju.

U drugom poglavlju rada dana je podjela hidrauličkih strojeva, uključujući turbine, crpke i ventilatore, te su opisani principi rada istih. U trećem poglavlju je dan pregled vodnih turbina koje se dijele na akcijske i reakcijske, i detaljnije je opisana podjela akcijskih i reakcijskih turbina s naglaskom na Francis turbinu i njene dijelove. U četvrtom poglavlju je dan detaljniji opis difuzora, koji je važan dio turbina. Analiziran je princip rada difuzora, gubiteci koji se javljaju u njemu te razne vrste difuzora.

Nakon detaljnog pregleda hidrauličkih strojeva i difuzora, u petom poglavlju fokus je na analizi strujanja fluida kroz difuzor Francis turbine. Korišten je softver Ansys Fluent za numeričku simulaciju strujanja fluida. Opisan je postupak generiranja numeričke mreže difuzora i postavke simulacije. Na kraju su u šestom poglavlju prikazani rezultati simulacije, uključujući graf konvergencije, statički tlak, dinamički tlak, apsolutni tlak i brzine fluida. U radu je također prikazana vizualizacija rezultata korištenjem modula PyVista, što će omogućiti bolje razumijevanje strujanja fluida kroz difuzor Francis turbine.

Kroz analizu strujanja fluida, koristeći numeričke simulacije i vizualizaciju rezultata, dobivaju se važni uvidi u učinkovitost i performanse hidrauličkih strojeva, što će biti od koristi za daljnje istraživanje i razvoj u području hidroelektrana.



## 2. HIDRAULIČKI STROJEVI

Energija je fizikalna veličina koja opisuje sposobnost sustava ili tijela da obavlja rad ili da izvršava promjene. Postoje različite vrste energije: kinetička energija, potencijalna energija, električna energija, termalna energija, elektromagnetska energija i nuklearna energija. Hidroenergija se odnosi na energiju koja se dobiva iz vodnih izvora, kao što su rijeke, jezera i oceani (Slika 2.1.). Ova vrsta energije koristi se već dugi niz godina kao jedan od najstarijih oblika obnovljive energije. Proizvodi se pretvaranjem kinetičke energije ili potencijalne energije vode u mehaničku energiju, a zatim u električnu energiju putem hidroelektrane.



*Slika 2.1. Hidroenergija u prirodi [1]*

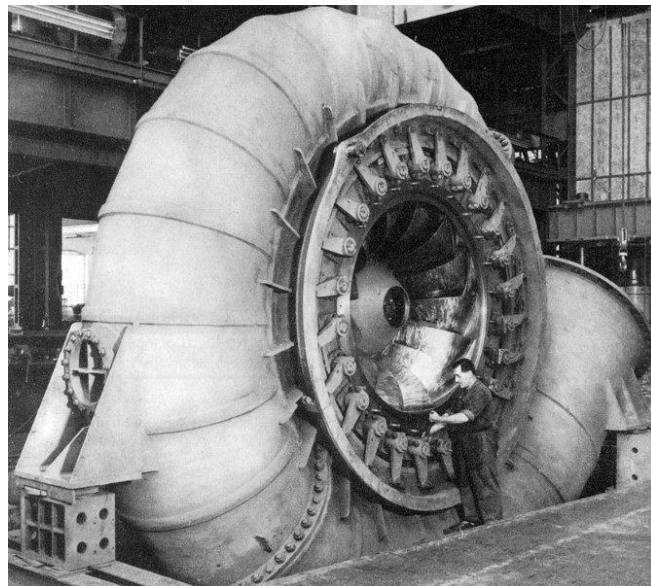
Hidraulički strojevi su strojevi koji koriste energiju fluida za prijenos i pretvorbu energije, ali je sami fluid ne troši, nego se energija prenosi između fluida i mehaničkih dijelova stroja kako bi se obavljao rad. Hidraulička energija se prenosi putem radnog medija, tj. kapljevinoom ili plinom do tlaka kod kojeg ga još možemo smatrati nestišljivim. Tlak vode u različitim dijelovima kroz hidraulički stroj od velike je važnosti u procjeni energije kao i drugih karakteristika performansi stroja. [2] Princip rada hidrauličkog stroja je da se radni medij stisne ili komprimira kako bi se stvorila sila i pokrenula određeni mehanizam.

U hidrauličkim strojevima imamo nekoliko vrsta energije: potencijalna energija vode, kinetička energija vode i hidrostatički tlak. Potencijalna energija vode se odnosi na energiju koja se može pretvoriti u kinetičku energiju i mehanički rad, a nastaje uslijed uzdizanja vode ili

pohranjivanja u rezervoarima hidroelektrana. Ova energija ovisi o visinskoj razlici (visini pada) i masi vode. Kada voda struji kroz hidrauličke strojeve, kao što su turbine, brzina strujanja vode rezultira kinetičkom energijom vode. Ova kinetička energija se pretvara u mehanički rad rotacijom turbine, koja može biti iskorištena za pokretanje generatora i proizvodnju električne energije.

U hidrauličkim strojevima koji koriste fluid za prijenos sile, hidrostatički tlak igra važnu ulogu. Kada se pritisak primijeni na fluid, on prenosi tu silu na drugi dio sustava. Ova energija tlaka može se koristiti za pokretanje cilindara, podizanje tereta ili izvođenje drugih mehaničkih radnji. Hidrauličke strojeve dijelimo na vodne turbine, crpke i ventilatore. Vodne turbine su hidraulički strojevi koji pretvaraju kinetičku energiju vode u mehaničku energiju rotacije. One koriste snagu vodotoka, kao što su rijeke ili padovi vode, kako bi pokretale turbine i generirale električnu energiju ili mehaničku snagu.

Turbina je hidraulički stroj koji ima stalni protok radnog fluida kroz sustav rotorskih i statorskih lopatica, a služi za pretvorbu potencijalne ili toplinske energije u kinetičku energiju, te daljnjim okretanjem rotora za dobivanje mehaničkog rada (Slika 2.2.).



*Slika 2.2. Izgled Francis turbine [3]*

Crpke se koriste za premještanje tekućina ili plinova iz jednog mjesta u drugo, obično protiv prirodnog protoka ili protiv gravitacije (Slika 2.3.). One stvaraju pritisak i povećavaju brzinu protoka tekućine kako bi je premjestile s jednog mjesta na drugo.



*Slika 2.3. Crpka za vodu [4]*

Ventilator je uređaj koji koristi hidraulički sustav za pokretanje ventilatora radi cirkulacije zraka ili plinova (Slika 2.4.). Uobičajeno se koristi u sustavima ventilacije, klimatizacije ili hlađenja.



*Slika 2.4. Sirocco ventilator [5]*

### **3. VODNE TURBINE**

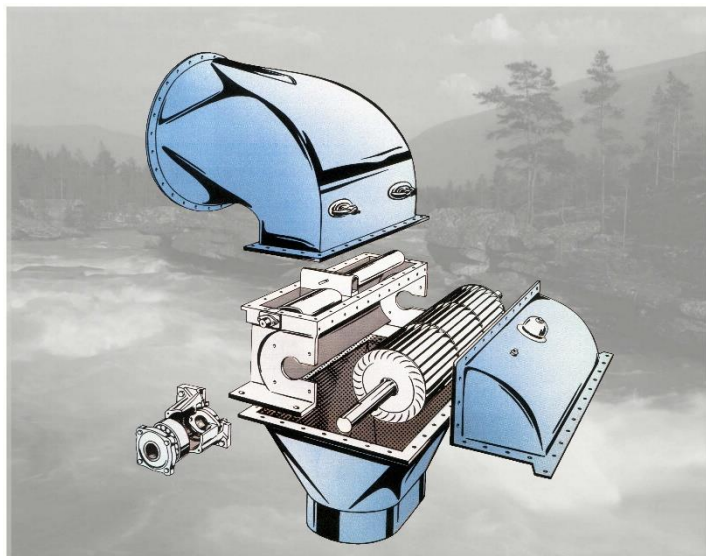
Dvije osnovne vrste vodnih turbina koje se koriste za pretvaranje energije fluida u mehanički rad su akcijske i reakcijske turbine. Glavna razlika između njih leži u načinu na koji fluid djeluje na lopatice turbine i kako se odvija promjena brzine fluida kroz turbinu. Regulacija snage postiže se putem promjene protoka kroz turbinu, koji je mjerodavan za dimenzioniranje turbine, a određuje se iz višegodišnjih mjerenja dnevnih protoka. [6]

Također postoje i akcijsko-reakcijske turbine, tj. kombinirane, koje kombiniraju karakteristike akcijskih i reakcijskih turbina. Kod akcijsko-reakcijskih turbina, fluid prolazi kroz statorske lopatice i rotorske lopatice, pri čemu se promjena tlaka i brzine strujanja događa i kod statorskih i rotorskih lopatica. Učinak ove kombinacije je povećanje učinkovitosti i fleksibilnosti turbine u odnosu na čistu akcijsku ili reakcijsku turbinu.

#### **3.1. Akcijske turbine**

Akcijska (impulsna) turbina je vrsta turbine u kojoj se strujanje fluida ne mijenja tijekom prolaska kroz rotorske lopatice. Fluid pruža akciju, ili impuls, na lopatice turbine prije nego što napusti rotor. U akcijskoj turbini, radni medij struji kroz fiksne i pokretne lopatice rotora bez promjene tlaka. Fluid djeluje samo na površinu rotorskih lopatica, stvarajući impuls i pokrećući rotor.

Crossflow turbina (Slika 3.1.) se razlikuje od drugih hidroturbina po svom karakterističnom dizajnu lopatica. Ova turbina ima horizontalnu osovinu i rotor koji se sastoji od jednog ili više diska s lopaticama postavljenim okomito na protok vode. Protok vode prolazi kroz diskove, a lopatice turbine hvataju energiju iz vode koja prolazi kroz njih. Kao rezultat toga, rotor se okreće i prenosi kinetičku energiju vode na mehanički sistem i generator za proizvodnju električne energije. Ova vrsta turbine je često korištena u manjim hidroelektranama ili za decentraliziranu proizvodnju električne energije.



*Slika 3.1. Crossflow turbina [7]*

Pelton turbina (Slika 3.2.) se sastoji od rotora sa specifičnim lopaticama, koje su nazvane mlaznice. Mlaznice su postavljene na obodu rotora i okrenute su prema mlazu brze vode. Svaka mlaznica ima oblik dvostruke žlice ili polu-žlice. Mlaznica usmjerava vodu prema lopaticama pod velikim pritiskom i brzinom. Kada voda udari u lopaticu, dolazi do promjene smjera i brzine protoka vode, što rezultira stvaranjem sile koja pokreće rotor. Ova kinetička energija se zatim pretvara u mehaničku energiju rotacije. Pelton turbina se koristi za visoke padove vode i u hidroelektranama s velikom snagom.



*Slika 3.2. Pelton turbina [8]*



Turgo turbina (Slika 3.3.) se sastoji od rotora sa lopaticama koje su postavljene na obodu rotora pod određenim kutem u odnosu na protok vode. Lopatice turbine su dizajnirane tako da usmjere mlaz vode na rotirajući rotor. Mlaznice koje usmjeravaju vodu prema lopaticama su obično male i multipleksne, što omogućava veći protok vode kroz turbinu. Kada voda udari u lopatice pod odgovarajućim kutem, dolazi do promjene smjera i brzine protoka vode, što rezultira stvaranjem sile koja pokreće rotor i generira energiju. Turgo turbine su posebno efikasne za srednje padove vode te u hidroelektranama srednje snage.



*Slika 3.3. Turgo turbina [9]*

### **3.2. Reakcijske turbine**

Reakcijska turbina je vrsta turbine u kojoj se strujanje fluida mijenja tijekom prolaska kroz rotorske lopatice. Fluid gubi kinetičku energiju i stvara promjenu tlaka dok prolazi kroz rotor. Reakcijska turbina ima statorske i rotorske lopatice. Fluid prvo prolazi kroz statorske lopatice koje ga usmjeravaju i mijenjaju brzinu, a zatim prolazi kroz rotorske lopatice koje dodatno djeluju na fluid. Fluid tako gubi energiju dok prolazi kroz rotorske lopatice, što rezultira pretvaranjem kinetičke energije u mehanički rad.

Kaplan turbina (Slika 3.4.) je horizontalna osovinska turbina koja se sastoji od rotora sa zakrivljenim lopaticama. Lopatice Kaplan turbine su promijenjive i mogu se podesiti pod različitim kutevima u odnosu na protok vode. To omogućava optimiziranu prilagodbu turbine u različitim uvjetima rada. Kada voda ulazi u Kaplan turbinu, ona prolazi kroz lopatice rotora.

Zahvaljujući zakrivljenim oblicima lopatica i mogućnosti podešavanja kuta, Kaplan turbina može efikasno koristiti energiju vode pri različitim brzinama i protocima. Rotirajući rotor generira mehaničku energiju rotacije koja se može prenijeti na generator za proizvodnju električne energije ili na druge mehaničke sisteme. Ova vrsta turbine je posebno pogodna za niske i srednje padove vode i u hidroelektranama različitih snaga.



*Slika 3.4. Kaplan turbina [10]*

Francis turbina (Slika 3.5.) se sastoji od ulaznog kućišta, rotora i izlaznog kućišta. Ulazno kućište usmjerava protok vode prema rotoru, dok izlazno kućište regulira izlazni protok vode. Rotor je dizajniran sa serijom zakrivljenih lopatica koje su postavljene između dva diska. Ove lopatice imaju krivulje koje omogućavaju optimalno korištenje energije vode. Kada voda ulazi u ulazno kućište, ona prolazi kroz lopatice rotora. Zahvaljujući zakrivljenim oblicima lopatica, voda gubi pritisak i brzinu, prenoseći svoju energiju rotoru. Rotirajući rotor generira mehaničku energiju rotacije koja se može prenijeti na generator za proizvodnju električne energije ili na druge mehaničke sisteme. Francis turbina vrlo je efikasna u širokom opsegu padova vode i često se koristi u hidroelektranama različitih snaga.



*Slika 3.5. Francis turbina [11]*



## 4. DIFUZOR

### 4.1. Princip rada difuzora

Difuzor ili odsisna cijev, komponenta je koja se koristi u dinamici fluida, posebno u dizajnu hidrauličkih turbina i pumpi. Njegova primarna svrha je poboljšati učinkovitost i izvedbu ovih strojeva pretvaranjem protoka velike brzine, niskog tlaka koji izlazi iz turbine ili pumpe u protok koji se sporije kreće, s višim tlakom.

Kada voda (ili bilo koja tekućina) prolazi kroz turbinu ili pumpu, dobiva kinetičku energiju zbog velike brzine. Međutim, ova velika brzina također rezultira niskim tlakom na izlazu. Da bi se energija učinkovito izvukla iz tekućine i pretvorila u koristan rad, potrebno je smanjiti brzinu tekućine i povećati njezin tlak.

Difuzor olakšava ovaj proces pružajući područje postupnog širenja za usporavanje tekućine i povećanje tlaka. Oblik cijevi pažljivo je dizajniran kako bi se osigurao glatki prijelaz iz protoka velike brzine u protok niže brzine i višeg tlaka. To se postiže principom očuvanja energije.

### 4.2. Gubitci u difuzoru

Gubitci u difuzoru su posljedica gubitaka trenja i gubitaka uslijed odvajanja struje fluida od čvrste stjenke. Pravilnom konstrukcijom difuzora moguće je izbjeći gubitke odvajanja, a kod difuzora izvedenih u obliku zavoja, koljeno predstavlja dodatni lokalni otpor kojeg treba pribrojiti gubicima trenja. [12] Gubitke u difuzoru opisujemo izrazom (5.1.):

$$H_{\text{gub,dif}} = k_{\text{dif}} \frac{v_2^2}{2g} \quad (5.1.)$$

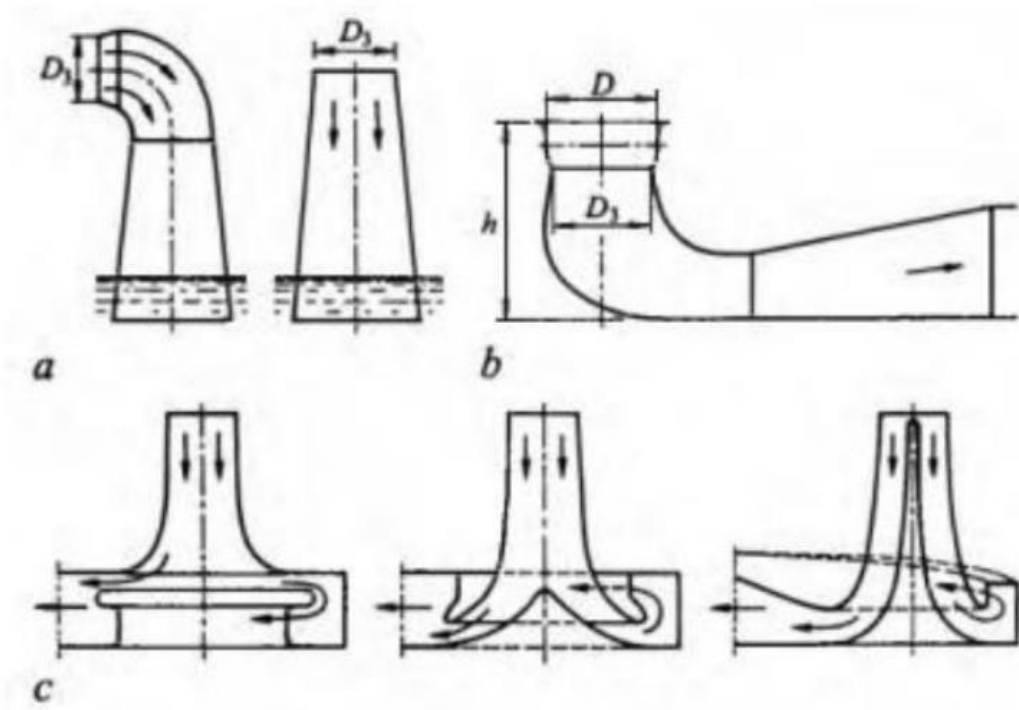
pri čemu je:

$H_{\text{gub,dif}}$	gubitci u difuzoru
$k_{\text{dif}}$	koeficijent lokalnog otpora difuzora
$v_2$	brzina na ulazu u difuzor
$g$	ubrzanje sile teže

### 4.3. Vrste difuzora

Postoje četiri osnovna tipa difuzora:

1. Ravni i stožasti difuzor
2. Običan prošireni difuzor
3. Moodyjev difuzor
4. Koljenasti difuzor.



Slika 4.1. a) ravan i stožasti difuzor; b) koljenasti difuzor; c) obični prošireni difuzor i Moodyjev difuzor [13]

Ravni difuzor je najjednostavniji oblik difuzora. Ovaj oblik difuzora je najpovoljniji jer su gubitci trenja kod njega najmanji zbog linearnog postupnog povećavanja poprečnog presjeka. Ravni difuzor se najčešće koristi kod manjih turbina ili turbina s horizontalno postavljenim vratilom.

Stožasti (savijeni) difuzor je gotovo isti kao i ravni, jedina je razlika u tome da ima savinuti dio kružnog poprečnog presjeka. Što se tiče poprečnog presjeka, također ima linearno postupno povećanje, no kod savijenih difuzora dolazi do većih gubitaka trenja koji su uzrokovani neujednačenim brzinama strujanja.

Kod običnog proširenog difuzora povećanje poprečnog presjeka je eksponencijlno za razliku od ravnog i stožastog difuzora gdje je povećanje linearno te je kraći. Primjenjuje se kada je potrebna ugradnja kratkog difuzora sa malim gubicima. Difuzor ima učinkovitost 60%. [14]

Moodyjev difuzor je koncipiran na način da ima jedan ulazni presjek i jedan izlazni presjek koji je podijeljen na dva dijela. Moodyjev difuzor je pogodan za smanjenje vrtloženja vode i za smanjenje gubitaka u turbini. Najčešće se koristi kod turbina sa vertikalno postavljenim vratilom. Učinkovitost ovog difuzora je gotovo 88%. [14]

Koljenasti difuzor je sastavljen od vertikalnog i horizontalnog dijela pri čemu je vertikalni dio ulazni presjek, a horizontalni dio izlazni presjek. Koljeno difuzora se primjenjuje za promjenu smjera vode. Kako voda ulazi kroz ulazni presjek ona ima vertikalni smjer, te se pomoću koljena vodi mijenja smjer u horizontalni. Pomoću ovog difuzora se postiže efikasnost do 70%.

## 5. ANALIZA STRUJANJA FLUIDA KROZ DIFUZOR FRANCIS TURBINE

### 5.1. Ansys Fluent

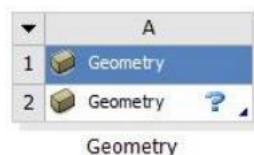
Program Ansys Fluent je vodeći software za simulacije i analize raznih geometrija i modela u realnim uvjetima. [15] Da se dobije konačna simulacija i rješenje, na svakom polju generirane numeričke mreže se izvršava iterativno rješavanje Navier Stokesovih jednažbi.

Postupak kako bi se mogla izvršiti analiza na željenom modelu je sljedeći:

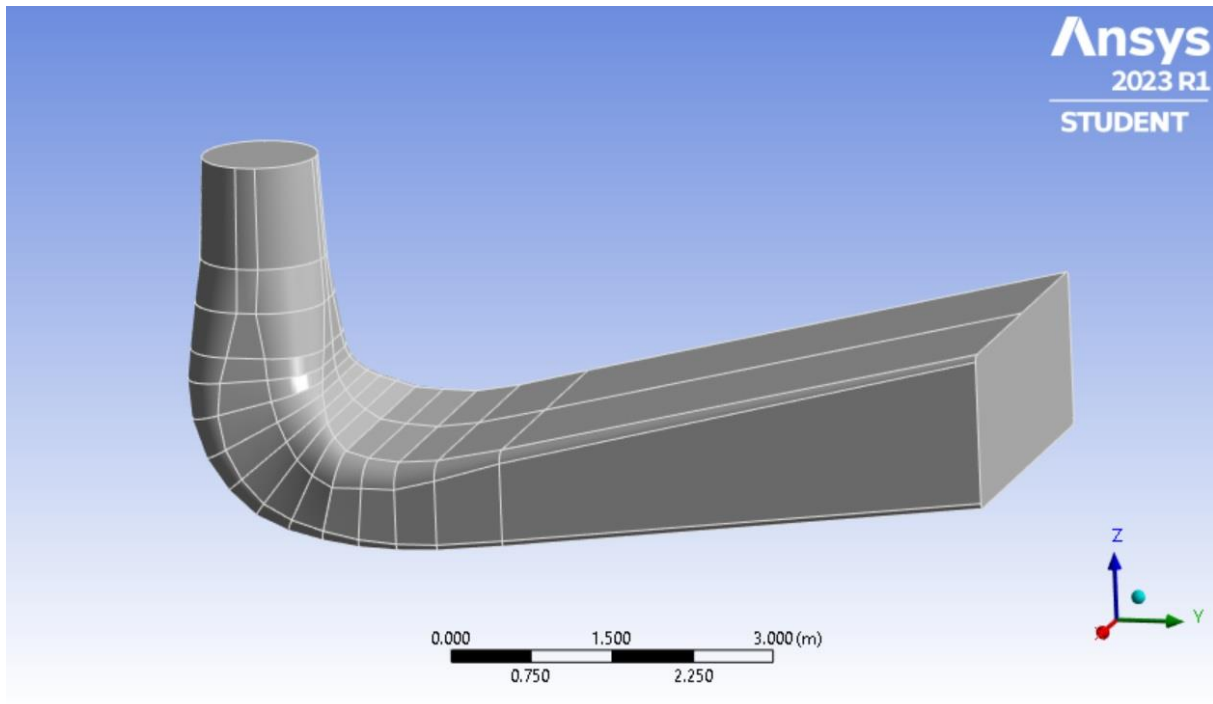
1. Napravi se željeni model, tj. projektira se geometrija i generira se njena numerička mreža
2. Definiraju se rubni uvjeti, materijal i fluid sa kojim će se raditi na samoj simulaciji
3. Promjena raznih parametara ispitivanja (tlakovi, brzine, sile) kako bi se mogla izvršiti konačna analiza.

### 5.2. Generiranje numeričke mreže

Kada se otvori program Ansys Fluent na izborniku se pojavljuju razne mogućnosti, no za početak je u projektu potrebno ubaciti modul za izradu geometrije (Slika 5.1.) i generirati geometriju klikom na Geometry (Slika 5.2.).

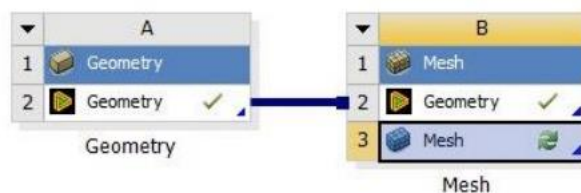


Slika 5.1. Odabrana naredba za geometriju u programu



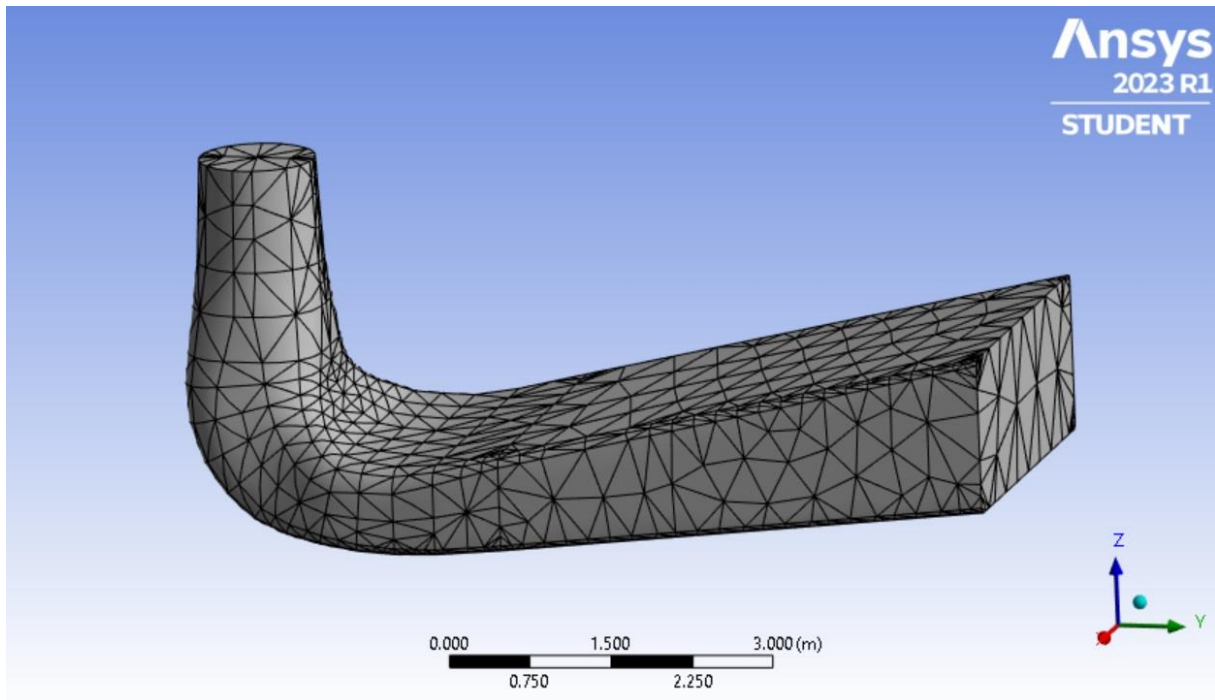
Slika 5.2. Generirana geometrija difuzora

Nakon što se generira geometrija difuzora, zatvara se prozor geometrije i odabire se naredba Mesh (Slika 5.3.) kako bi se generirala numerička mreža za geometriju na kojoj će se za svaki element iterativno rješavati Navier Stokesove jednačbe.

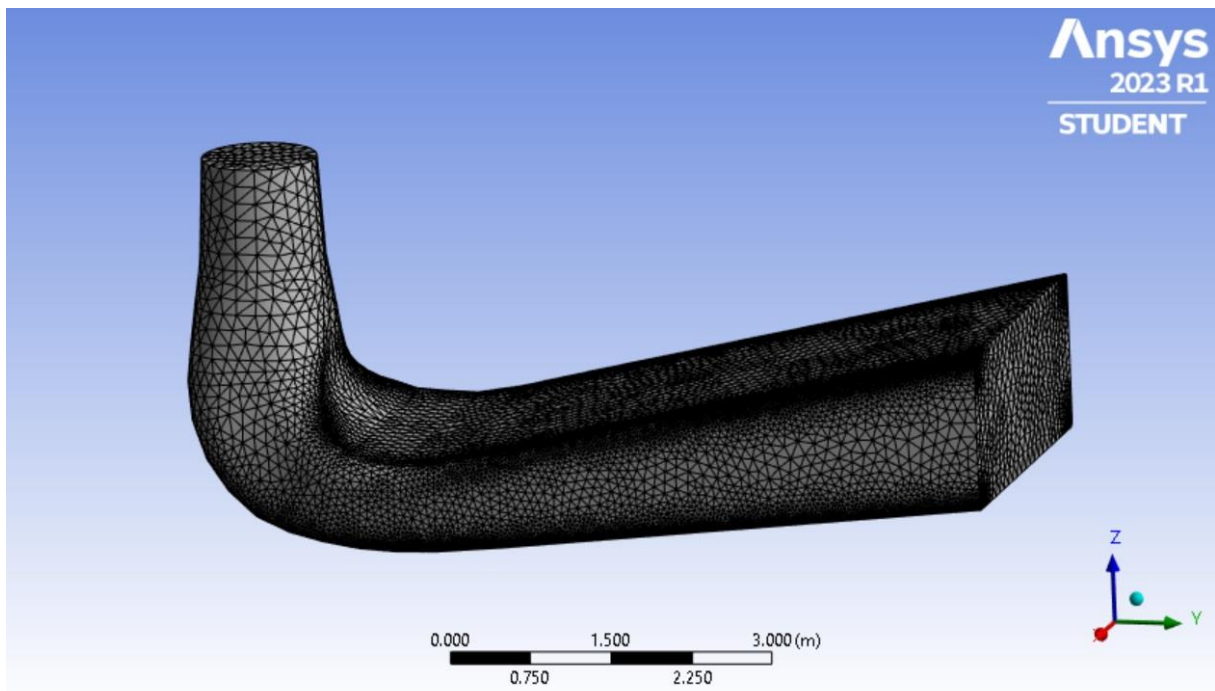


Slika 5.3. Odabrana naredba za generiranje numeričke mreže

Nakon generiranja numeričke mreže i dobivenog njenog početnog izgleda (Slika 5.4.), potrebno je mrežu podijeliti na što više manjih elemenata, tj. povećati joj gustoću. U ovom slučaju veličina elementa iznosi 0.2m (Slika 5.5.). Što je više manjih elemenata, račun će biti zahtjevniji.



*Slika 5.4. Početni izgled numeričke mreže*



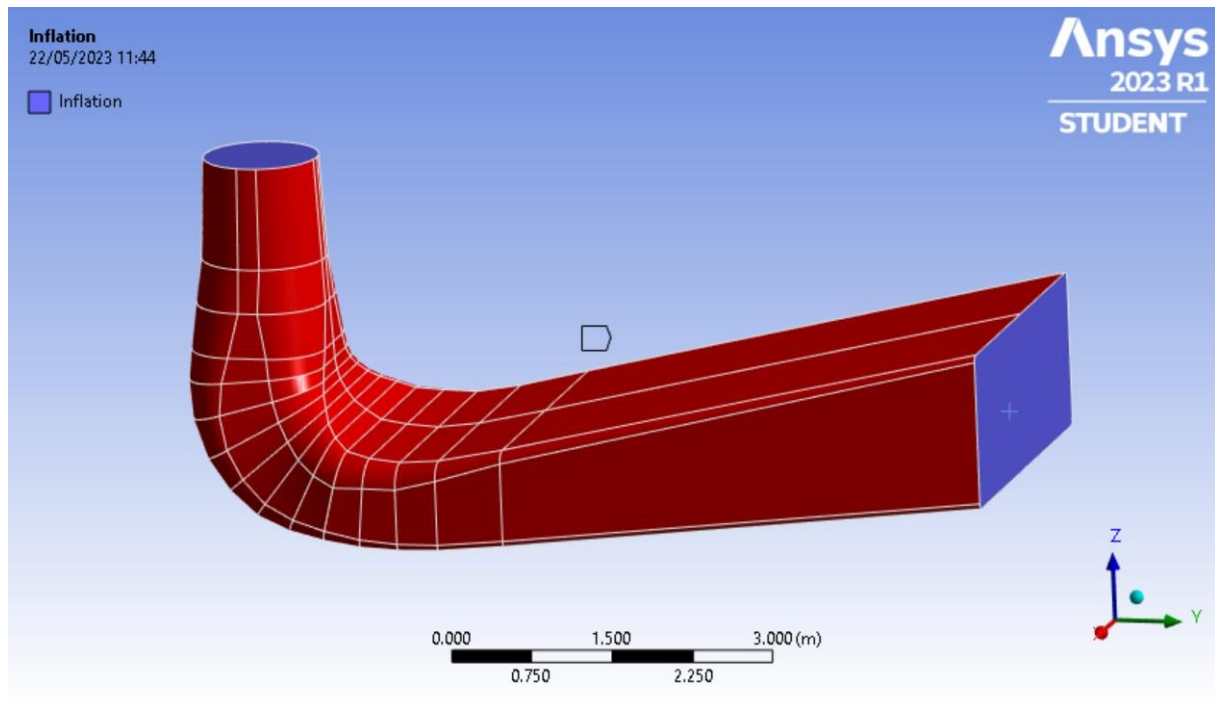
*Slika 5.5. Izgled numeričke mreže nakon reguliranja veličine elemenata*

Nakon povećane gustoće numeričke mreže, odabire se naredba Inflation koja omogućava kreiranje ravnomjernih elemenata uz stijenke, gdje će brzina biti jednaka nuli, kako bi se pravilno opisala promjena brzine uz tu stijenku.

Kod naredbe Inflation prvo odabiremo ‘Scoping Method’ koja će biti ‘Geometry Selection’ (Slika 5.6.) te nakon toga odabiremo ‘Geometry’, a to će biti cijela geometrija (Slika 5.7.)

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body

Slika 5.6. Biranje metode obuhvata za naredbu Inflation



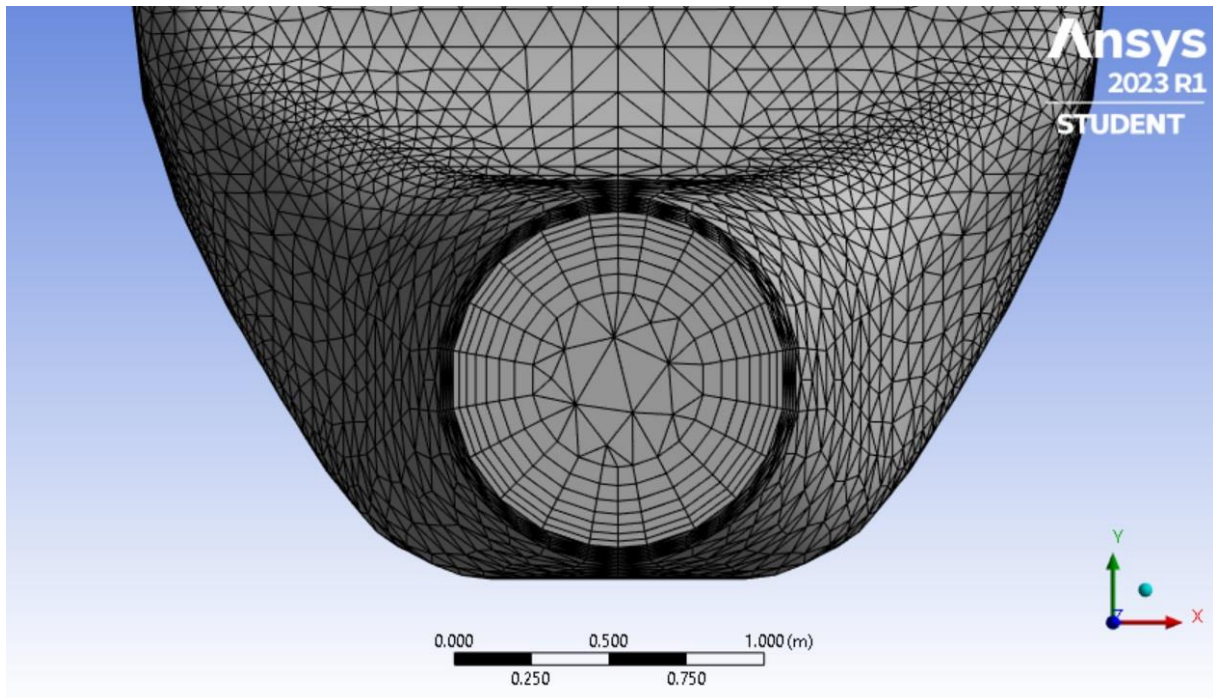
Slika 5.7. Odabrana površina za primjenjivanje naredbe Inflation

Za naredbu Inflation nakon izbornika ‘Scope’ pojavljuje se izbornik ‘Definition’ (Slika 5.8.) u kojem se odabiru ostale opcije za primjenu naredbe. Odabiru se površine, opcija inflacije koja će u ovom slučaju biti ‘First Layer Thickness’, zatim se odabire visina prvog sloja (First Layer Height) te na kraju koliko će slojeva biti ‘Maximum Layers’, što će u ovom slučaju biti 7 slojeva.

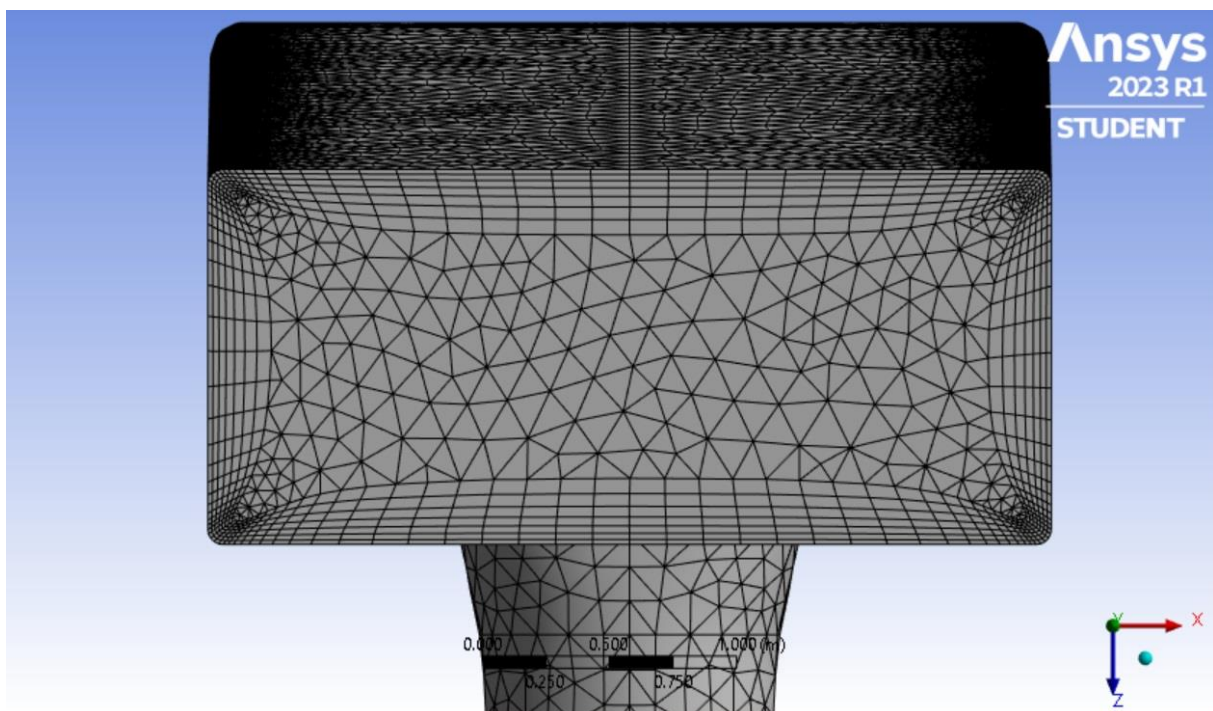
Definition	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Geometry Selection
Boundary	150 Faces
Inflation Option	First Layer Thickness
<input type="checkbox"/> First Layer Height	2.e-002 m
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	7
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre

Slika 5.8. Prikaz izbornika Definition

Na slikama 5.9. i 5.10. je prikazana primjena naredbe Inflation na ulaznom i izlaznom presjeku.



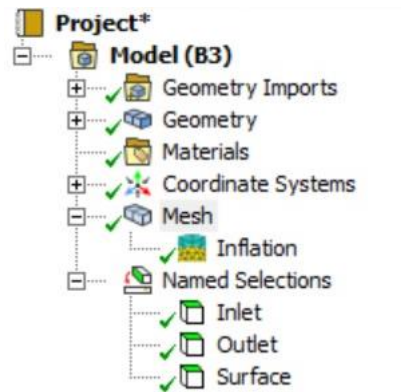
*Slika 5.9. Primjena naredbe Inflation i prikaz ulaznog presjeka*



*Slika 5.10. Primjena naredbe Inflation i prikaz izlaznog presjeka*



Rubne površine se definiraju naredbom Named Selections (Slika 5.11.). U ovom slučaju definira se Inlet (lijevi rub), Surface i Outlet (desni rub). Ovaj korak je bitan, kada se žele definirati rubni uvjeti određenih parametara, kako bi se znali odgovarajući nazivi tih površina da se mogu definirati željeni parametri (tlak, temperatura, protok, brzina).



Slika 5.11. Definirane rubne površine

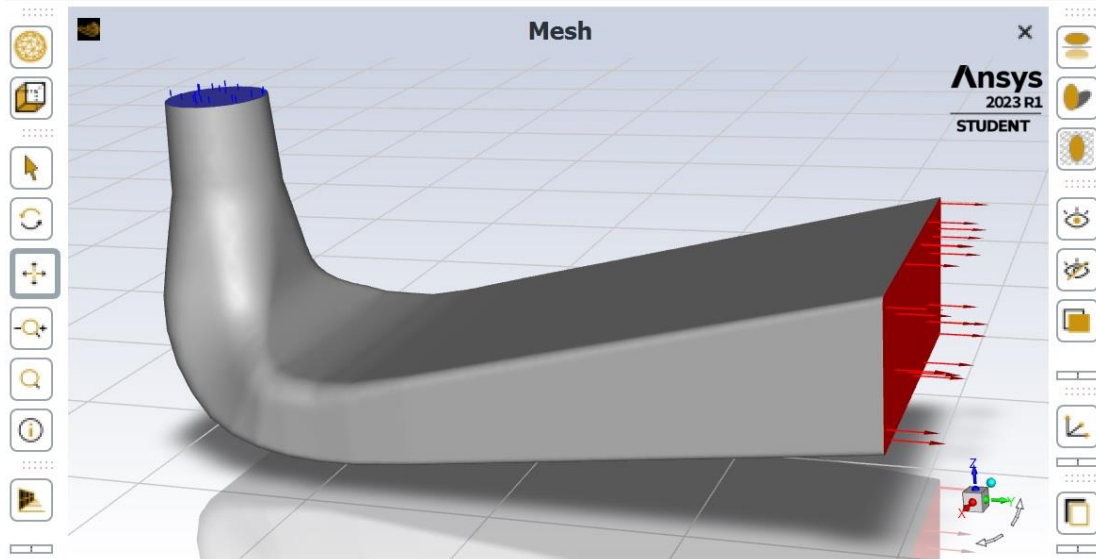
Nakon definiranih rubnih površina, u Ansysu se zatvara prozor Mesh i otvara prozor Fluent gdje će se odabrati materijal, radni fluid, a kasnije i dobiti rezultati za odabrane parametre ispitivanja koji će se analizirati.



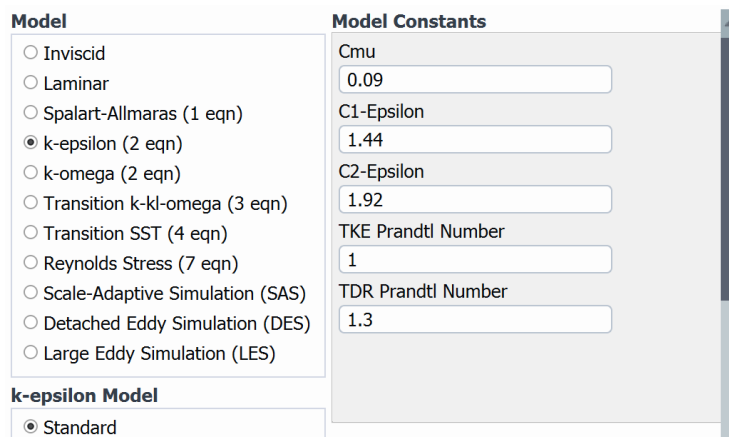
Slika 5.12. Odabrana naredba za izradu simulacije

### 5.3. Postavke simulacije

Kada se otvori Fluent, dobiva se prikaz difuzora kao na slici 5.13. Prvo se definira model, koji je u ovom slučaju 'Viscous – Standard k-e, Standard Wall Fn', tj. Navier Stokesove jednačbe sa dvije dodatne jednačbe koje opisuju turbulenciju (Slika 5.14.).

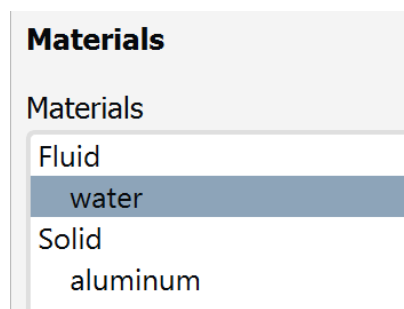


Slika 5.13. Prikaz difuzora u otvorenom Fluentu



Slika 5.14. Odabrani model strujanja

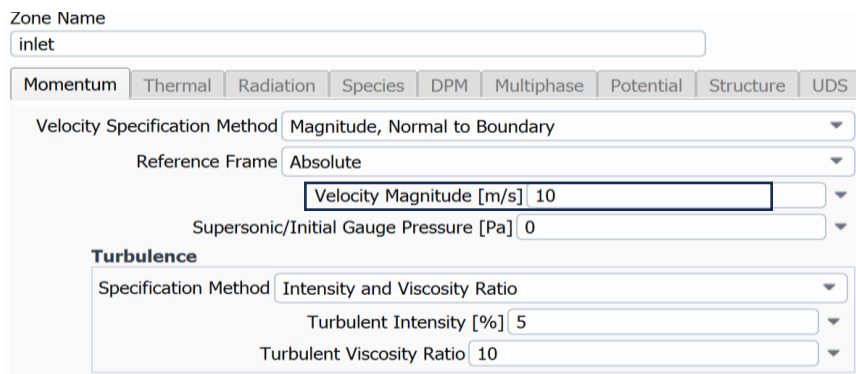
Nakon definiranog modela, odabire se radni materijal s kojim će se raditi analizu, a to će biti fluid, tj. u ovom slučaju voda (Slika 5.15.).



Slika 5.15. Odabrani radni materijal

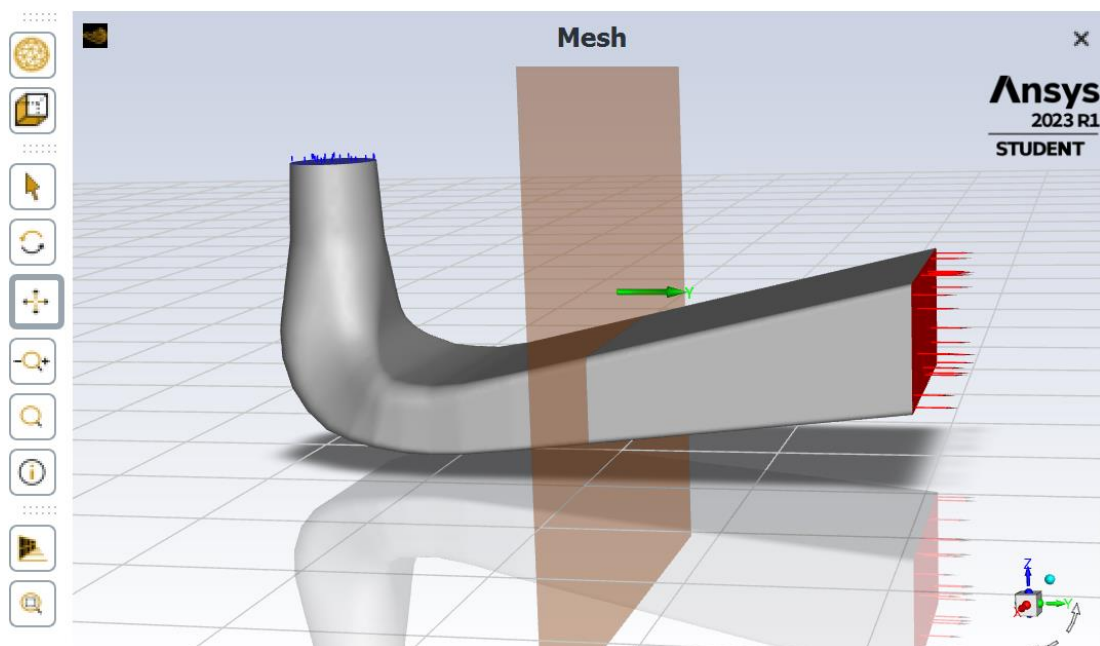
Rubni uvjeti se definiraju za prethodno imenovane rubne površine, naredbom Boundary Conditions. U ovom slučaju, za Inlet – velocity-inlet, za Surface – wall sa NoSlip uvjetom i Outlet – pressure-outlet.

U program je za daljnje izračune potrebno unijeti brzinu na ulazu u difuzor, tj. u Inletu, koja će u ovom slučaju iznositi 10 m/s. Kada imamo tako definirane rubne uvjete, možemo započeti sa promjenom željenih parametara i primjenom analize.



Slika 5.16. Početna brzina fluida na ulazu u difuzor

Kako bi se dobio što bolji prikaz simulacije, tj. što se dešava kod određenih parametara, dodaju se presječne ravnine kroz difuzor na način da se u Fluentu odabire 'Results', zatim 'Plane' i naposljetku se odabire koliko će model imati presječnih ravnina, kojih će u ovom slučaju biti 6.



Slika 5.17. Prikaz jedne presječne ravnine

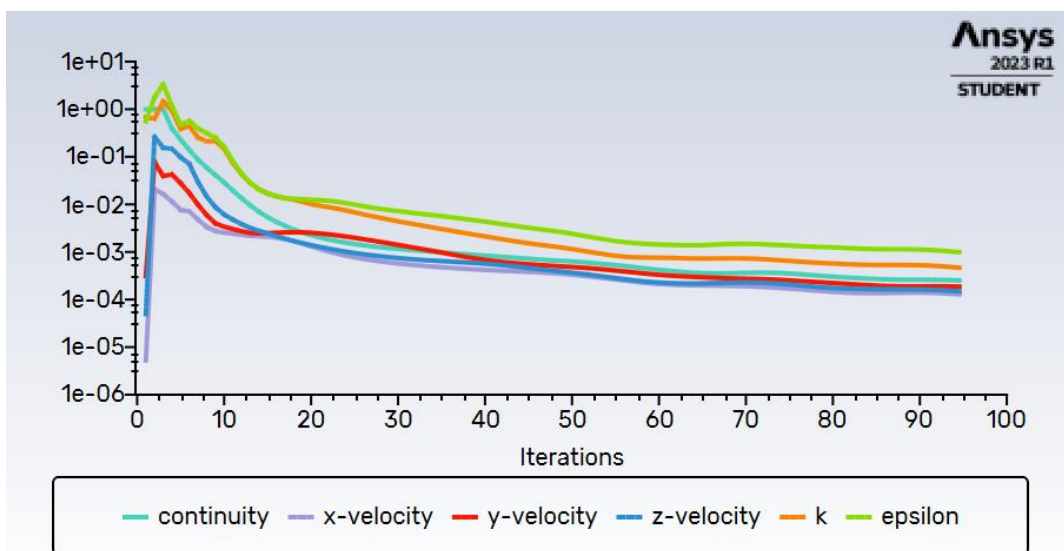
## 6. REZULTATI

U sljedećim potpoglavljima će biti prikazani dobiveni rezultati simulacije gdje će se analizirati statički tlak, dinamički tlak, apsolutni tlak i brzine.

### 6.1. Graf konvergencije

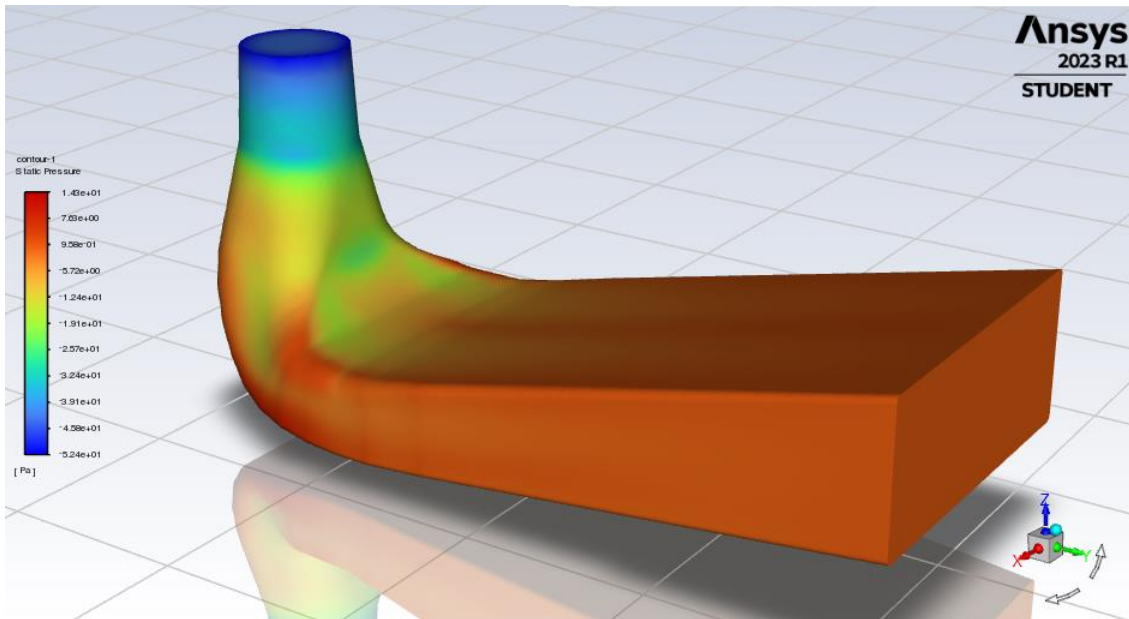
Nakon definiranog ulaznog protoka u difuzor i kreiranih presječnih ravnina potrebno je generirati graf konvergencije na način da se odabire 'Calculation', proizvoljan broj iteracija koji će u ovom slučaju biti 200, te se tako odabrani parametri pokreću naredbom 'Run Calculation' i dobiva se željeni graf. Kada je u pitanju graf konvergencije, važno je definirati vrijednosti residuala, tj. ostatka, koji predstavljaju traženu razinu točnosti simulacija.

Iz prikazanog grafa (Slika 6.1.) može se vidjeti da je rješenje konvergiralo, tj. da su residuali zadovoljili postavljeni kriterij. Inicijalizacija se ponavlja sve do kada ranije navedene Navier Stokesove jednačbe ne postignu definiranu grešku. Na grafu se može vidjeti da je ta gotovo zanemariva greška postignuta na devedeset i petoj iteraciji pa nije bilo potrebe provoditi 200 iteracija kako je bilo proizvoljno odabrano.



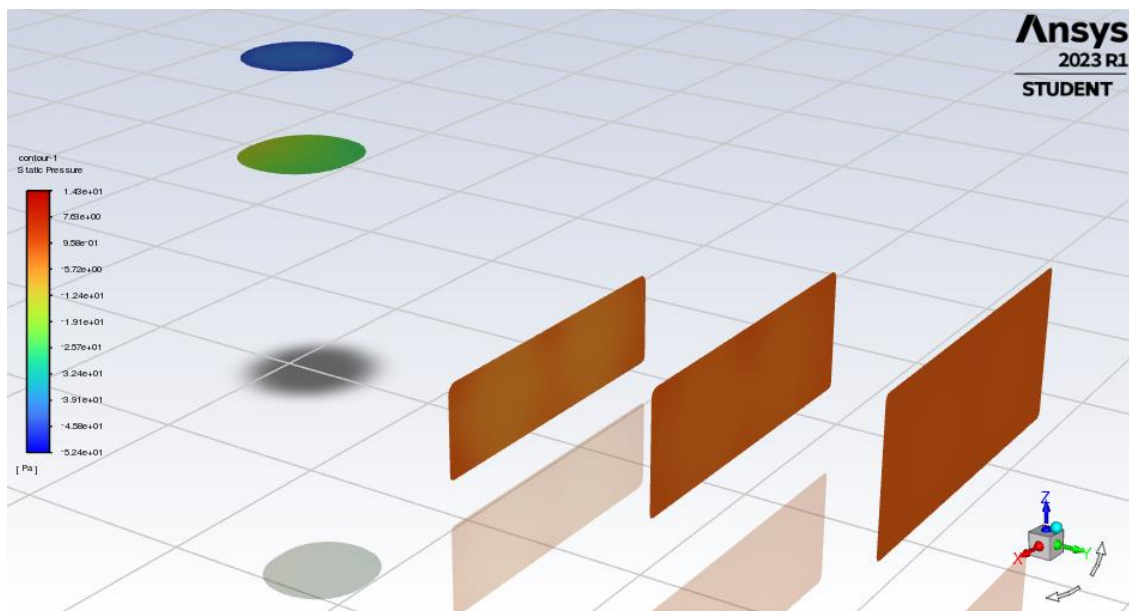
Slika 6.1. Graf konvergencije

## 6.2. Statički tlak

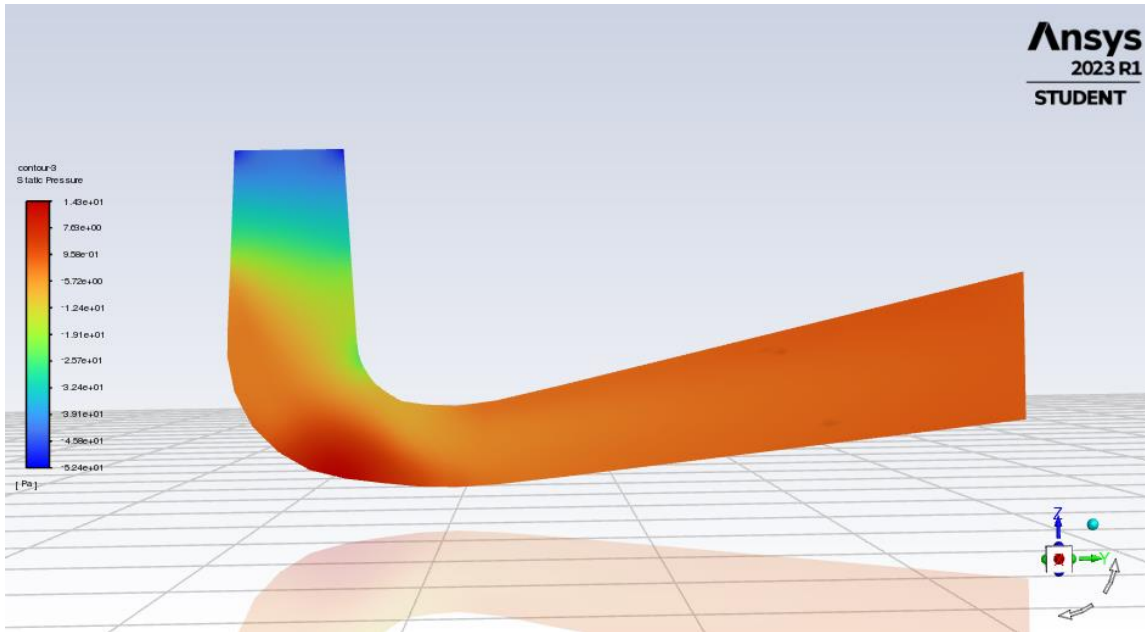


Slika 6.2. Raspodjela statičkog tlaka kroz difuzor

Na slici 6.2. te slikama 6.3 i 6.4. je prikazana raspodjela statičkog tlaka kroz difuzor i raspodjela statičkog tlaka po presječnim ravninama difuzora. Iz slika se može zaključiti da je statički tlak na ulazu u difuzor najmanji te se kroz difuzor povećava.

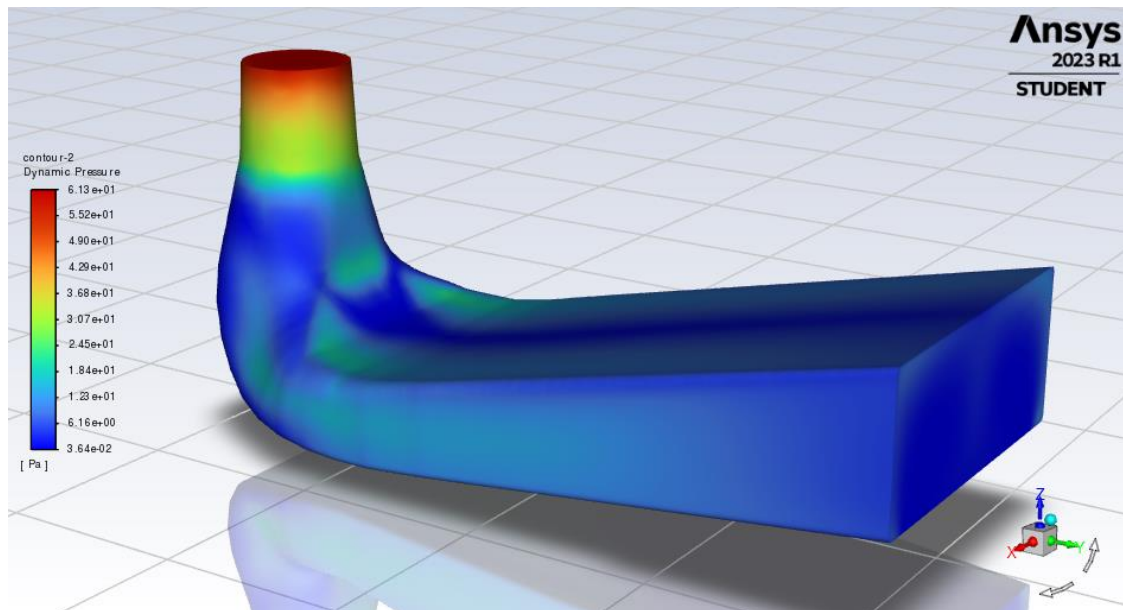


Slika 6.3. Raspodjela statičkog tlaka po presječnim ZX ravninama difuzora



*Slika 6.4. Raspodjela statičkog tlaka po presječnoj YZ ravlini difuzora*

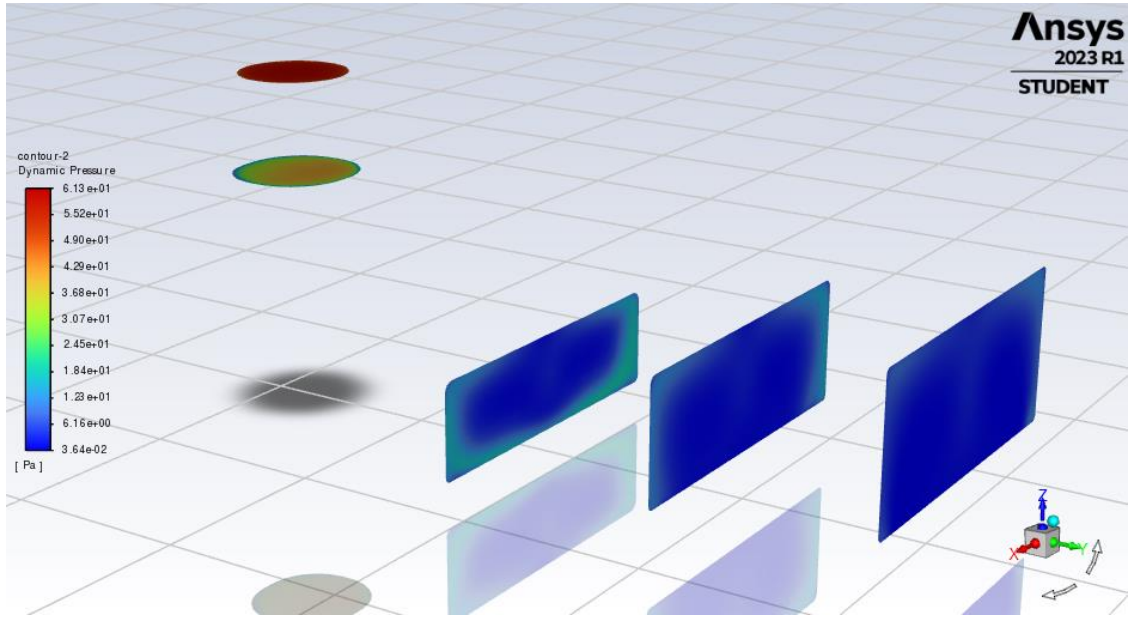
### 6.3. Dinamički tlak



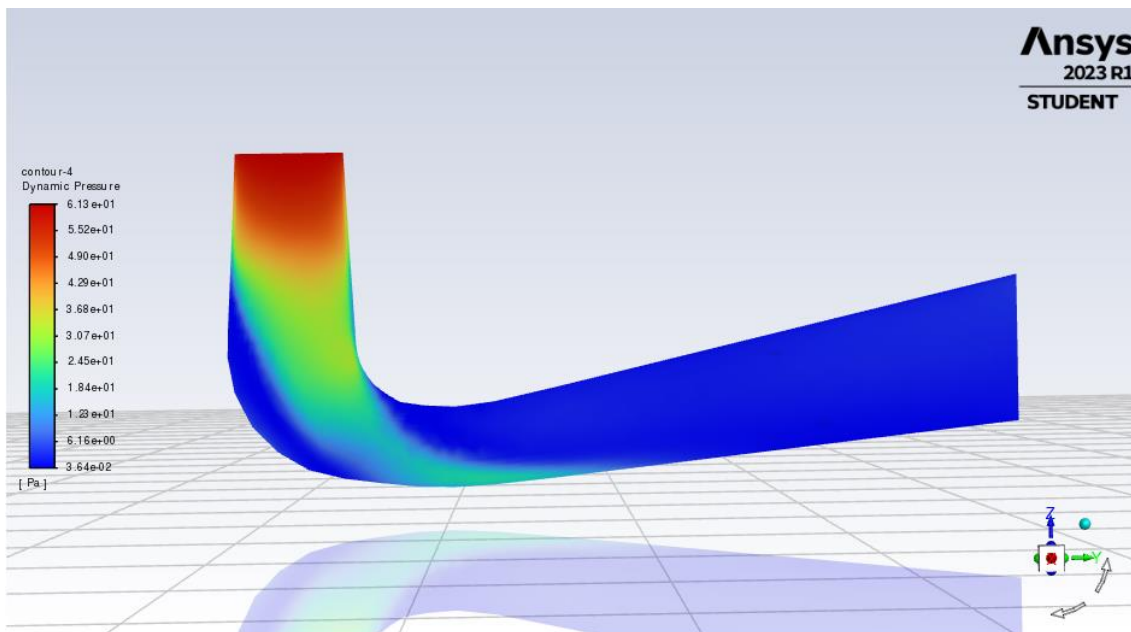
*Slika 6.5. Raspodjela dinamičkog tlaka kroz difuzor*

Ako se pogledaju slike 6.5., gdje je prikazana raspodjela dinamičkog tlaka kroz difuzor, te 6.6. i 6.7. koje prikazuju raspodjelu dinamičkog tlaka po presječnim ravninama, može se vidjeti da je situacija obratna od statičkog tlaka, tj. na ulazu u difuzor je najveći dinamički tlak dok se prema izlazu iz difuzora smanjuje, a slična će situacija biti i kod brzina.



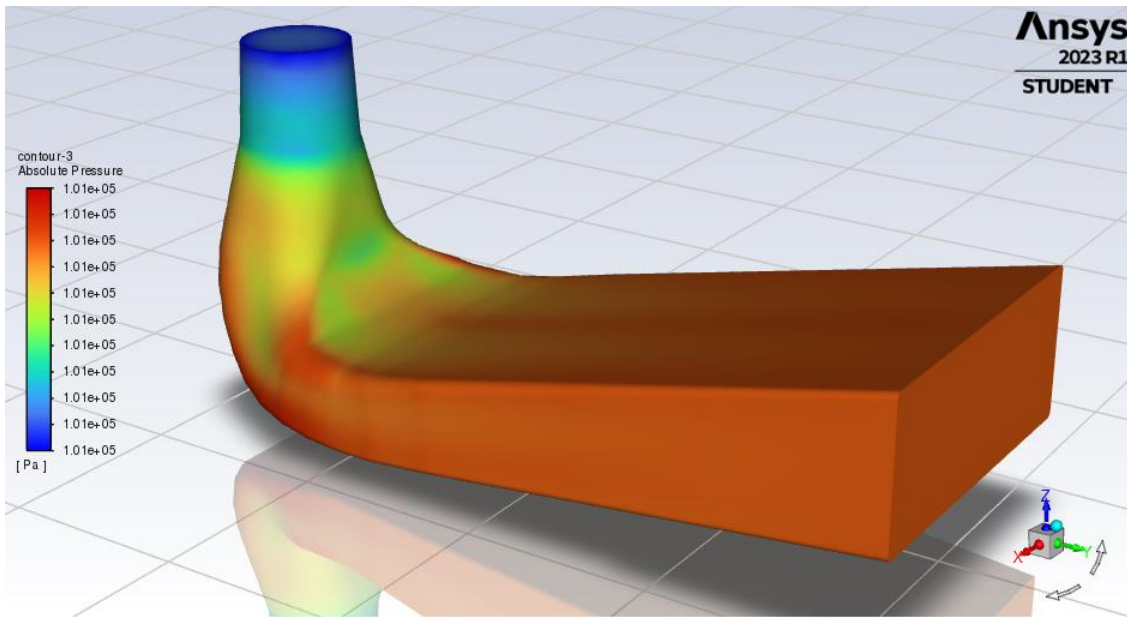


Slika 6.6. Raspodjela dinamičkog tlaka po presječnim ZX ravninama difuzora



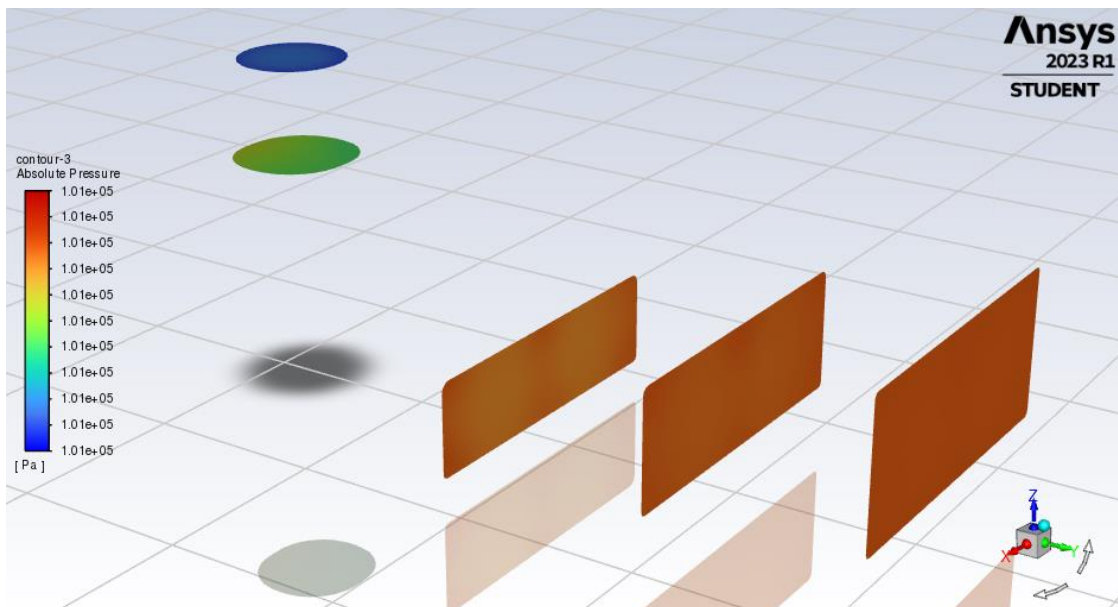
Slika 6.7. Raspodjela dinamičkog tlaka po presječnoj YZ ravnini difuzora

## 6.4. Apsolutni tlak



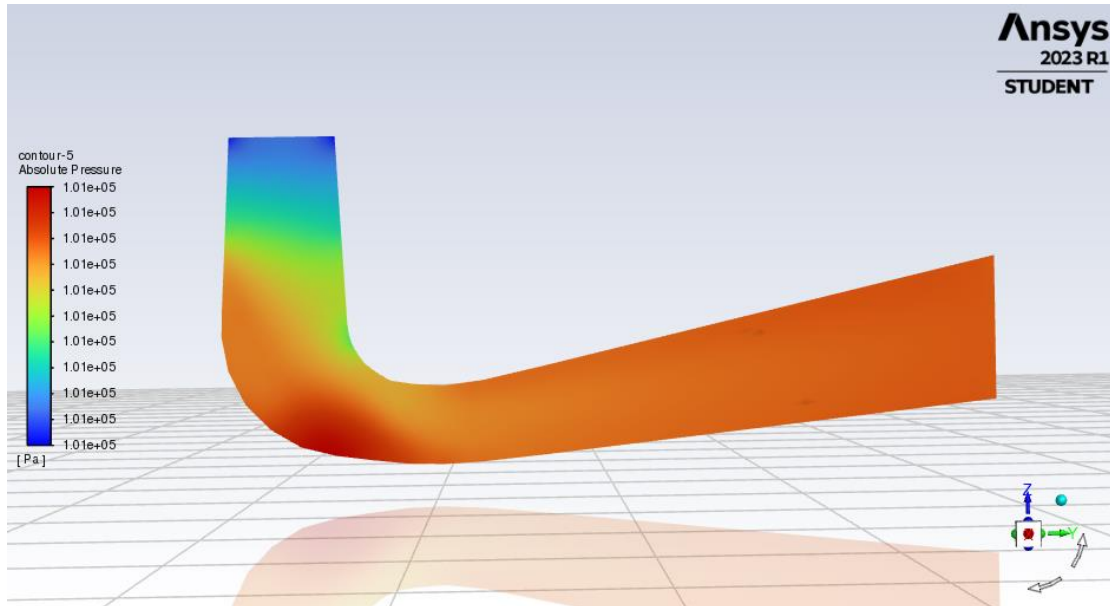
Slika 6.8. Raspodjela apsolutnog tlaka kroz difuzor

Apsolutni tlak je gotovo jednak statičkom tlaku kao što se može vidjeti na slikama 6.8., 6.9. i 6.10. Najmanji apsolutni tlak je na ulazu u difuzor, a najveći na izlazu iz difuzora gdje se izjednačava sa atmosferskim tlakom koji iznosi 1 bar.



Slika 6.9. Raspodjela apsolutnog tlaka po presječnim ZX ravninama difuzora

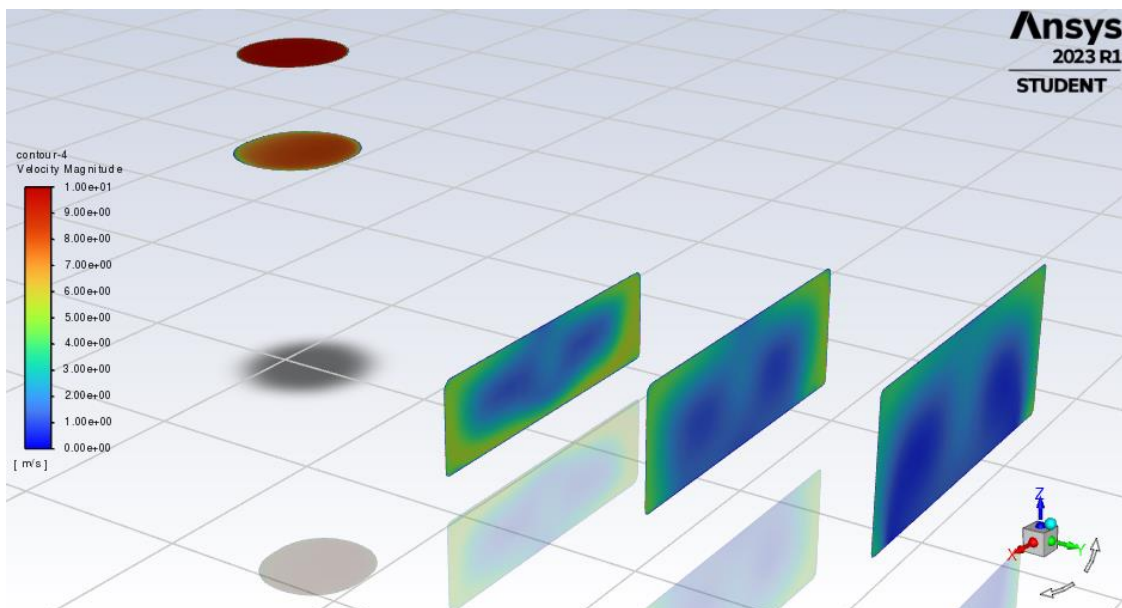




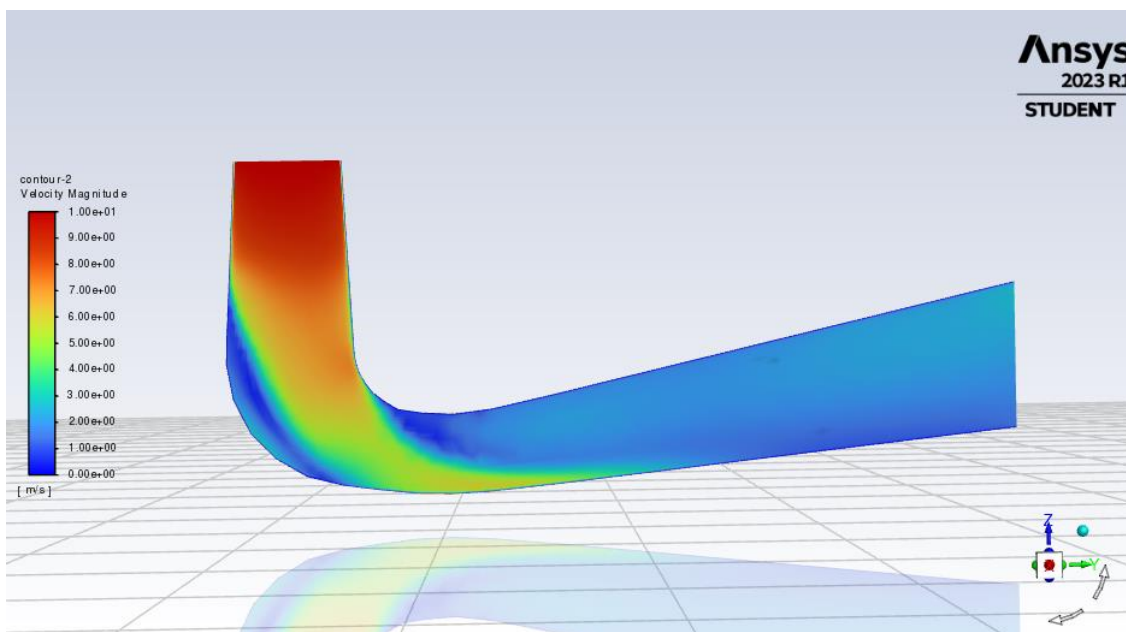
Slika 6.10. Raspodjela apsolutnog tlaka po presječnoj YZ ravnini difuzora

## 6.5. Brzine

Na slikama 6.11. i 6.12. je prikazana raspodjela brzina po presječnim ravninama kroz difuzor. Zaključuje se da je na ulazu u difuzor brzina najveća, a na izlazu iz difuzora najmanja. Ranije je spomenuto da je raspodjela brzina u difuzoru gotovo ista kao raspodjela dinamičkog tlaka jer dinamički tlak prati brzinu strujanja fluida.

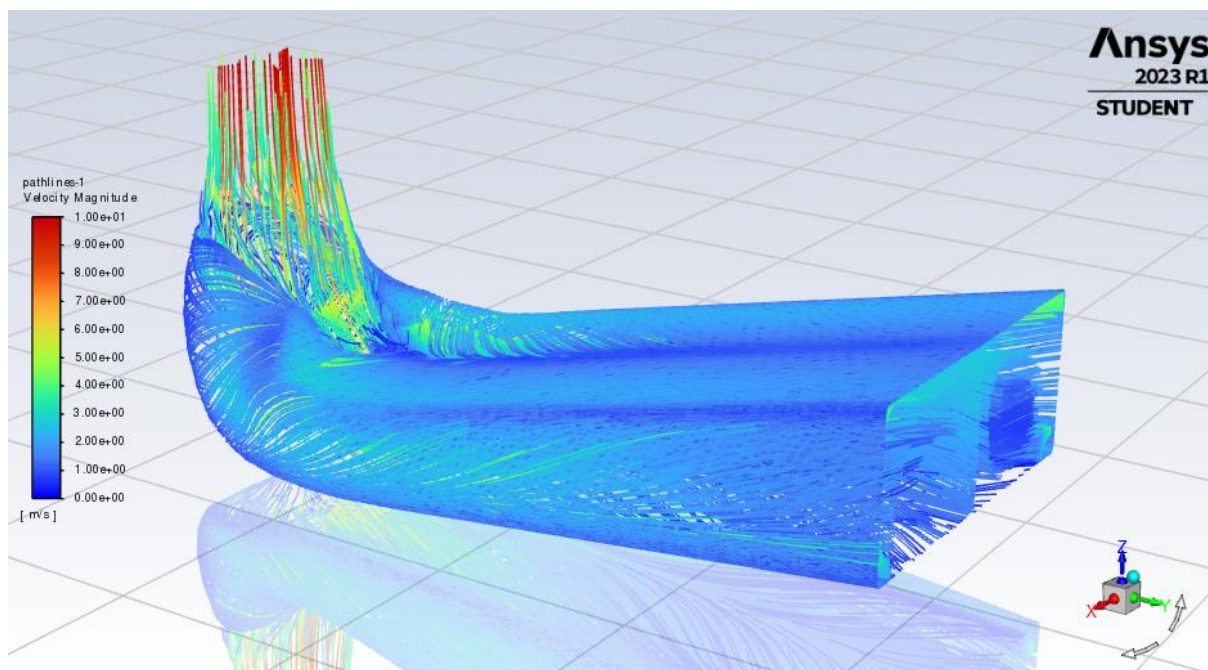


Slika 6.11. Raspodjela brzina po presječnim ZX ravninama difuzora



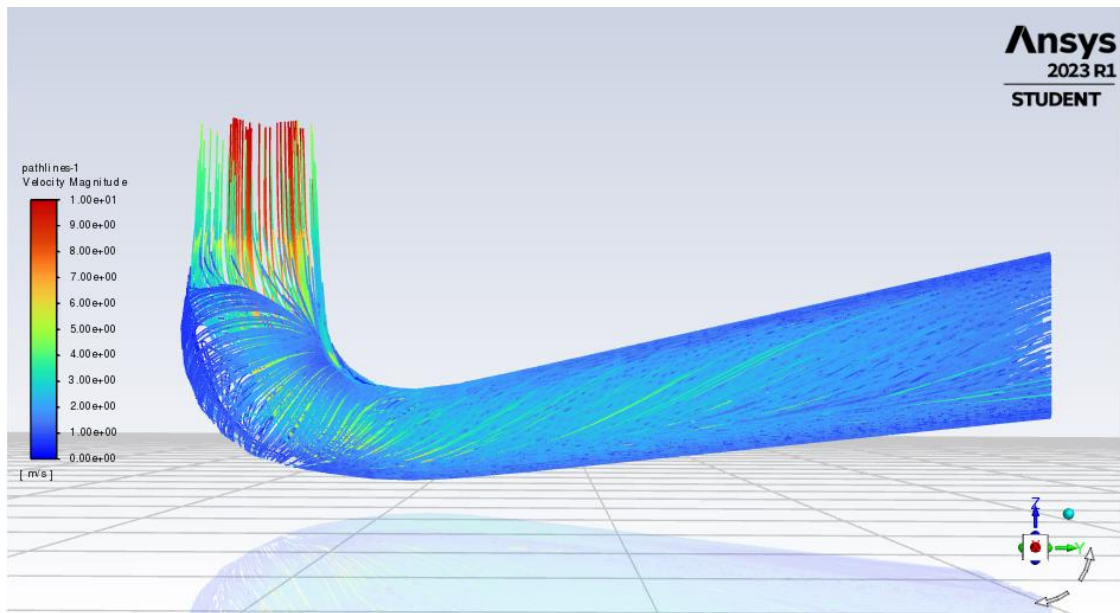
Slika 6.12. Raspodjela brzina po presječnoj YZ ravnini difuzora

Na slici 6.13. je prikazana raspodjela brzina pomoću strujnica. Također se može vidjeti da je na ulazu u difuzor brzina najveća i da se smanjuje prema izlazu, ali je ovakav prikaz puno pogodniji od prikaza kontura kao na prijašnjim slikama, jer se pomoću strujnica može vidjeti točno kretanje fluida kroz difuzor.



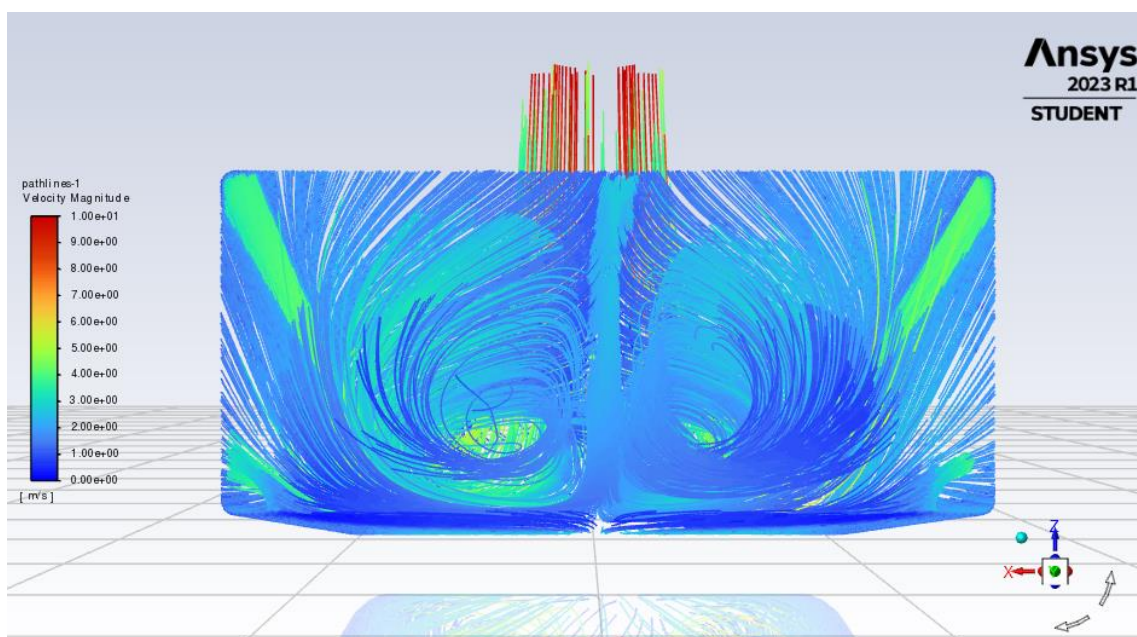
Slika 6.13. Strujnice difuzora obojane po brzini

Pomoću strujnica se na slici 6.14. lijepo vide recirkulacijske zone koje generiraju gubitke i koje bi se mogle poboljšati prilagodbom geometrije, jer sva ovakva vrtložnja ustvari generiraju gubitke i to pokušavamo konstrukcijom izbjeći.



Slika 6.14. Prikaz strujnica brzina po cijeloj površini difuzora

Na slici 6.15. se može vidjeti kako su strujnice na izlazu simetrične, tj. vrtložnja, što je i očekivano jer je kod difuzora simetričan problem i ravnomjerna brzinu na izlazu. U realnosti je brzina na ulazu u difuzor nejednolika, ovisno o radnoj točki u kojoj radi turbina, i nekada je vrtloženje veće na jednoj strani.



Slika 6.15. Prikaz strujnica brzina na izlazu iz difuzora

## 7. VIZUALIZACIJA KORIŠTENJEM MODULA PYVISTA

PyVista je modul koji pruža skup alata za rad s 3D vizualizacijom i mrežnim podacima. Posebno je usmjeren na olakšavanje stvaranja interaktivnih vizualizacija 3D podataka, kao što su skupovi znanstvenih podataka, računalne simulacije dinamike fluida. PyVista modul je koristan kod korištenja kodova za simulacije koji nemaju postprocessing opciju kao Ansys Fluent za vizualizaciju ili ako se rezultati šalju nekome tko nema instaliran Ansys Fluent ili kompatibilnu verziju softwera. U sljedećim primjerima su Python kodovi i prikazi dobivenih vizualizacija korištenjem modula PyVista na temelju podataka preuzetih iz simulacije u Ansys Fluentu.

```
import numpy as np
import pyvista as pv

points = []
with open('fluentdata.txt', 'r') as file:
    for line in file:

        numbers = line.split(',')

        for number in numbers:

            if number.strip():
                try:

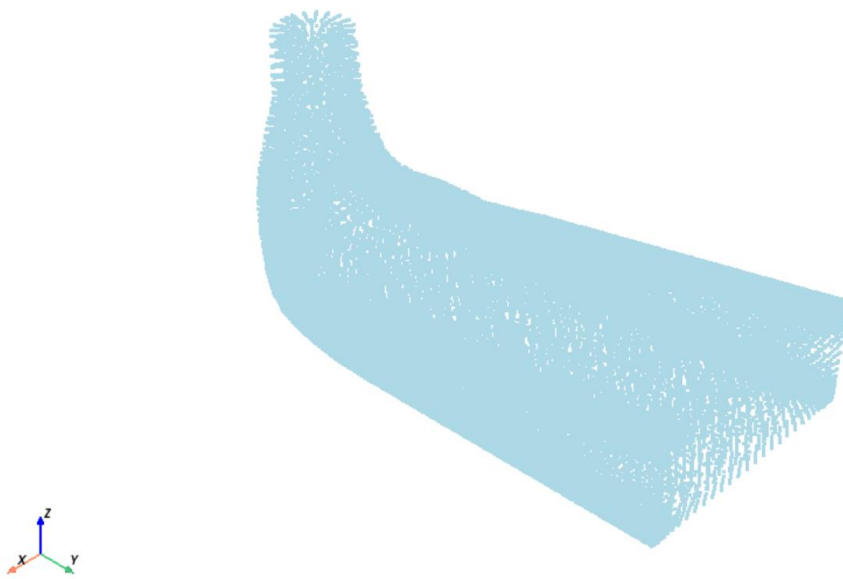
                    points.append(float(number))
                except ValueError:
                    pass

points = np.array(points).reshape(-1, 3)
point_cloud = pv.PolyData(points)
point_cloud.plot(point_size=3)
```

Slika 7.1. Python kod za vizualizaciju difuzora koristeći naredbu Point Cloud

Na slici 7.1. je prikazan Python kod kojeg je korištena naredba Point Cloud, a koja se koristi za manipulaciju i analizu oblaka točaka. Oblak točaka je skup trodimenzionalnih koordinata koje predstavljaju točke u prostoru, u ovom slučaju te točke predstavljaju koordinate difuzora. Slika 7.2. prikazuje numeričku mrežu prikazanu korištenjem navedene naredbe.





Slika 7.2. Numerička mreža prikazana korištenjem naredbe Point Cloud

```
import numpy as np
import pyvista as pv

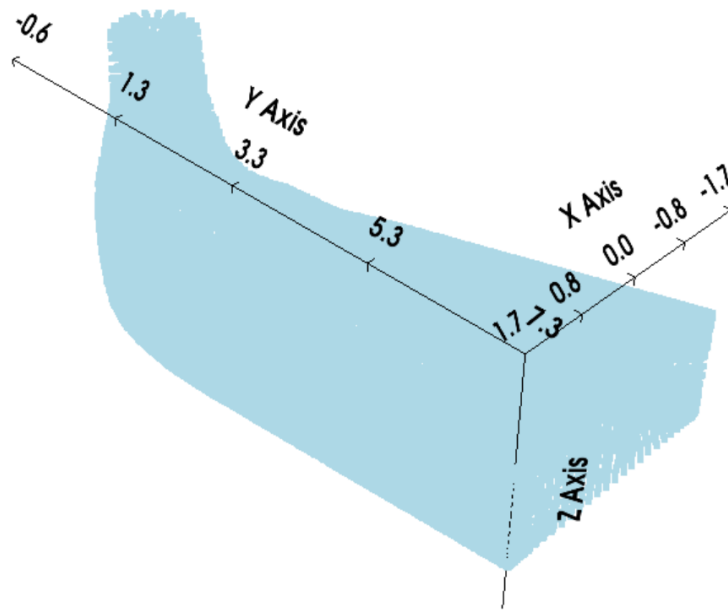
data = np.genfromtxt('fluentdata.txt', delimiter=',', dtype='str')
data = np.where(data == '', '0', data)
data = data.astype(float)

points = data[:, :3]
mesh = pv.PolyData(points)

plotter = pv.Plotter()
plotter.add_mesh(mesh, smooth_shading=True, split_sharp_edges=True)
plotter.show_bounds(axes_ranges=[0, 5, 0, 5, 0, 2], show_zlabels=False)
plotter.show()
```

Slika 7.3. Python kod za vizualizaciju difuzora koristeći naredbu Mesh Bounds

Naredba Mesh Bounds se koristi u Pythonu za dobivanje granica mreže. Granice se obično izražavaju kao minimalna i maksimalna vrijednost po svakoj dimenziji, npr. ako se mreža sastoji od niza točaka u trodimenzionalnom prostoru, Mesh Bounds će dati minimalne i maksimalne vrijednosti koordinata x, y i z koje definiraju granice mreže. Na slici 7.3. se može vidjeti da se granice mogu i proizvoljno definirati za sve osi, a na slici 7.4. je prikaz vizualizacije koja je dobivena korištenjem Mesh Bounds za zadanu geometriju difuzora.



Slika 7.4. Numerička mreža prikazana korištenjem naredbe Mesh Bounds

```
import numpy as np
import pyvista as pv

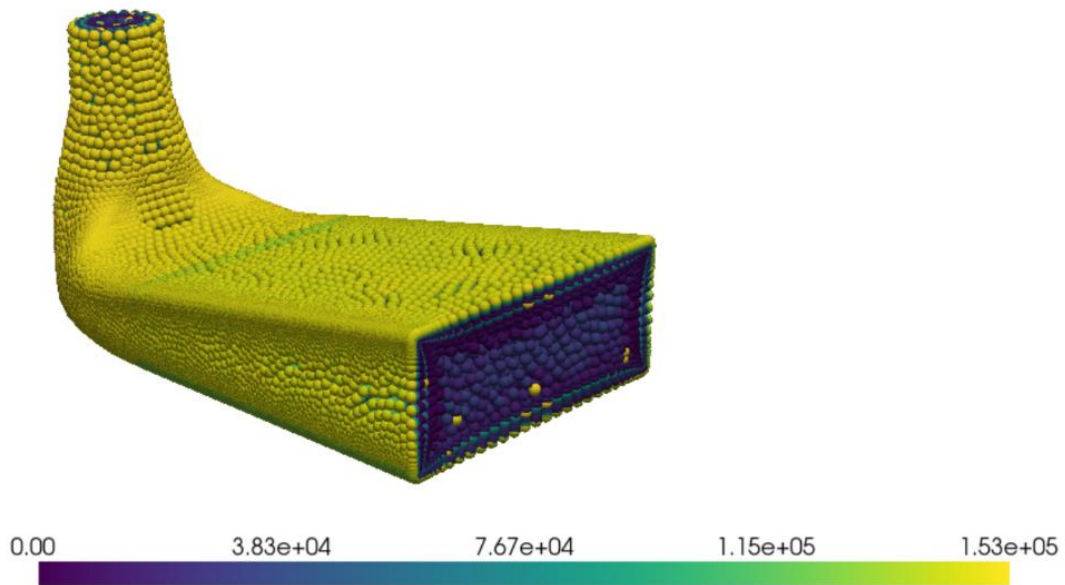
data = np.loadtxt('fluentdata.txt', delimiter=',', dtype='str')
data[data == ''] = '0'

points = data[:, :3].astype(float)
mesh = pv.PolyData(points)

plotter = pv.Plotter()
plotter.add_mesh(mesh, point_size=10, render_points_as_spheres=True,
                 scalars=range(len(points)), show_edges=True, color=True)
plotter.show()
```

Slika 7.5. Python kod za vizualizaciju difuzora koristeći naredbu Add Mesh

Naredba Add Mesh se koristi u Pythonu za dodavanje mreže (Slika 7.5.). Kod korištenja ove naredbe, mogu se dodati različite vrste mreža, kao što su triangulacije, kvadri, poligoni ili drugi oblici definirani pomoću točaka. Ova naredba omogućava vizualizaciju (Slika 7.6.) i manipulaciju 3D modelima. Naredba Add Mesh ima argumente koji omogućavaju podešavanje izgleda i svojstava mreže, kao što su boja, transparentnost, veličine točaka i sl.



Slika 7.6. Numerička mreža prikazana korištenjem naredbe *Add Mesh*

```
import pyvista as pv
import numpy as np

data = np.genfromtxt('fluentdata.txt', delimiter=',', dtype='str')
data[data == ''] = '0'

points = data[:, :3].astype(float)
mesh = pv.PolyData(points)

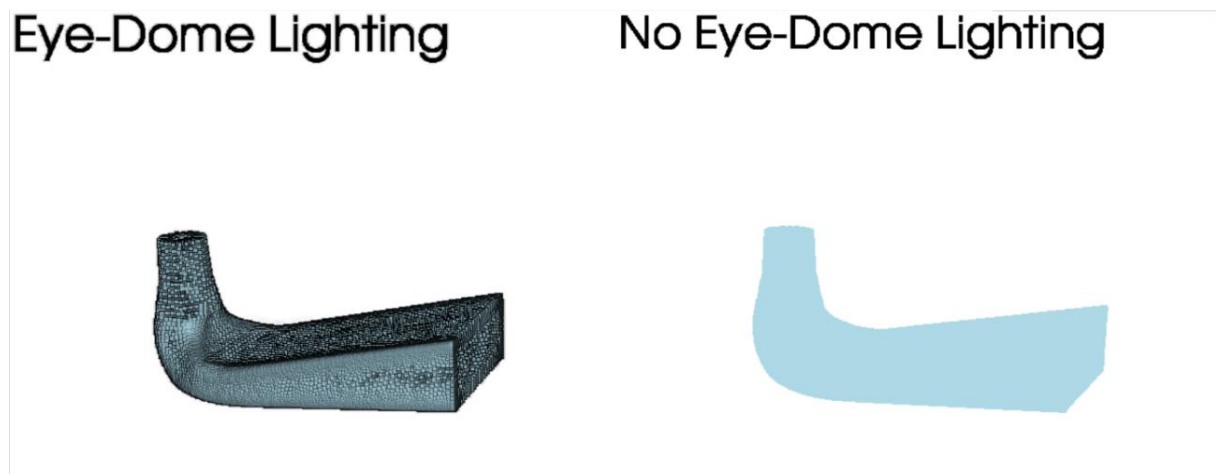
p = pv.Plotter(shape=(1, 2), border=False)
p.subplot(0, 0)
p.add_mesh(mesh, color=True)
p.enable_eye_dome_lighting()
p.add_text("Eye-Dome Lighting", font_size=24)
p.camera_position = [-1, -1, 0.2]

p.subplot(0, 1)
p.add_mesh(mesh, color=True)
p.add_text("No Eye-Dome Lighting", font_size=24)
p.camera_position = [-1, -1, 0.2]
```

Slika 7.7. Python kod za vizualizaciju difuzora koristeći naredbi *Eye Dome Lighting* i *No Eye Dome Lighting*

Eye Dome Lighting (EDL) je tehnika osvjetljenja koja se koristi u vizualizaciji 3D modela (Slika 7.7.) radi poboljšanja percepcije dubine i detalja. EDL koristi postprocesiranje kako bi dodao sjenke i osvetljenje na 3D prikaz, čime se poboljšava percepcija prostorne dubine

(Slika 7.8.). Ovo se postiže dodavanjem lažnih sjenki na rubove objekata, čime se naglašavaju konture i bolje razlikuju objekti na prikazu.



*Slika 7.8. Rezultat korištenja naredbi Eye Dome Lighting i No Eye Dome Lighting*

```
import numpy as np
import pyvista as pv

data = np.genfromtxt('simulationfluent.txt', delimiter=',')
koordinata = data[:, :3]
tlak = data[:, 5]

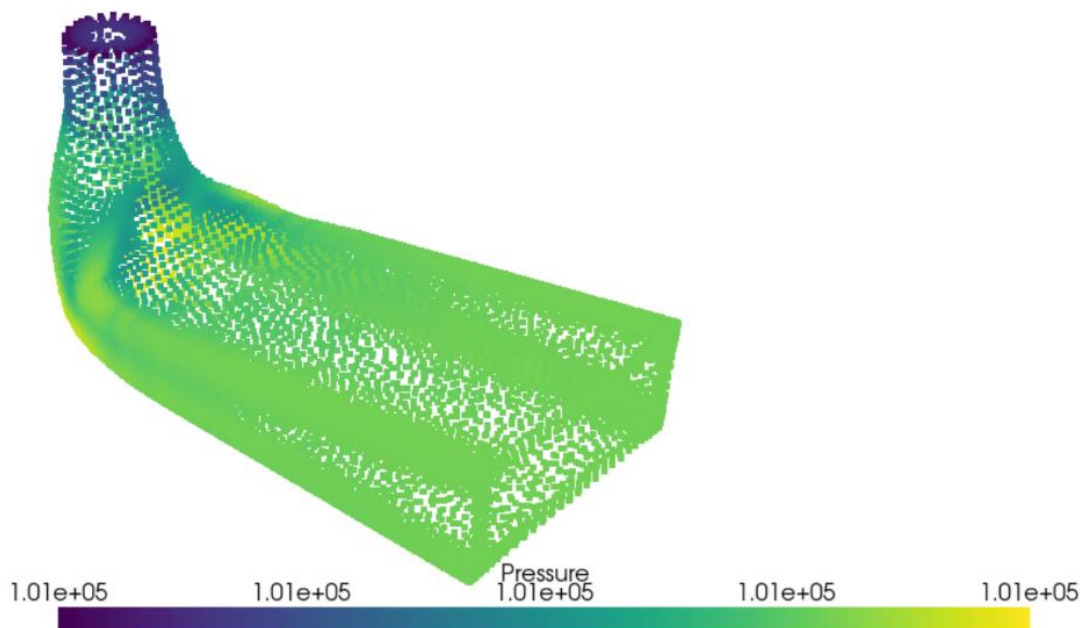
grid = pv.PolyData(koordinata)
grid.point_data['Pressure'] = tlak

plotter = pv.Plotter()
plotter.add_mesh(grid, scalars='Pressure', show_edges=True)
plotter.show()
```

*Slika 7.9. Python kod za vizualizaciju apsolutnog tlaka difuzora*

Na slici 7.9. je prikazan Python kod koji se koristi kako bi se vizualizirao apsolutni tlak zadanog difuzora. Prvo je potrebno učitati tekstovnu datoteku iz Fluent-a sa koordinatama točaka i vrijednostima tlaka. Zatim se kreira objekt, tj. mreža od koordinatnih točaka. S 'grid.point\_data['Pressure'] = tlak' se dodaje tlak kao skalar mreže i svaka točka u mreži će imati pridruženu vrijednost tlaka. nakon što se sve definira može se dobiti konačna vizualizacija apsolutnog tlaka kroz difuzor (Slika 7.10.).





*Slika 7.10. Prikaz apsolutnog tlaka difuzora*

```
import numpy as np
import pyvista as pv

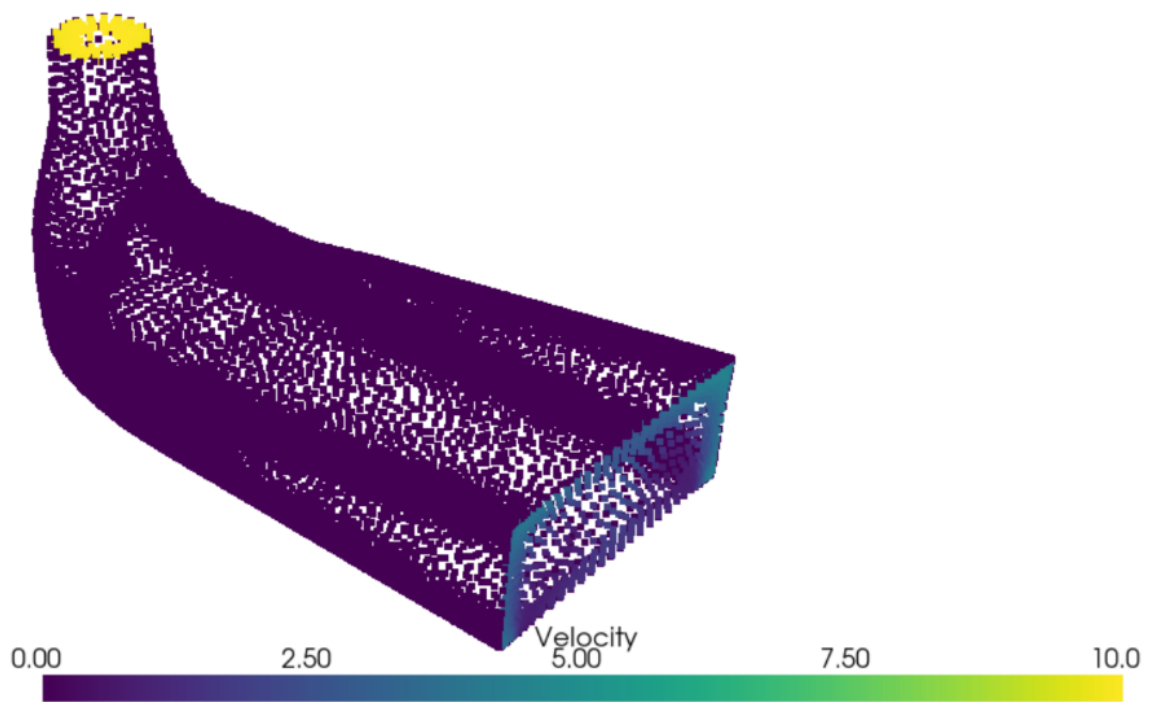
data = np.genfromtxt('fluent.txt', delimiter=',')
koordinate = data[:, 1:4]
brzine = data[:, 7]

grid = pv.PolyData(koordinate)
grid.point_data['Velocity'] = brzine

plotter = pv.Plotter()
plotter.add_mesh(grid, scalars='Velocity', show_edges=True)
plotter.show()
```

*Slika 7.11. Python kod za vizualizaciju brzina difuzora*

Brzine difuzora se vizualiziraju na isti način kao i tlakovi, Python kod je isti samo se kao skalar mreže dodaje brzina (Slika 7.11.). Vizualizacija brzina difuzora je prikazana na slici 7.12.



*Slika 7.12. Prikaz brzina difuzora*

## 8. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada bio je analiza strujanja fluida kroz poboljšani difuzor Francis turbine koristeći program Ansys Fluent koji omogućava izradu željenog modela i simulaciju istog, te provedbu raznih naredbi i promjenu parametara kako bi se došlo do željenih rezultata.

Kroz rad je rečeno nešto o energiji, hidrauličkim strojevima općenito te o podjeli hidrauličkih strojeva na turbine, crpke i ventilatore. Nadalje rad sadrži podjelu vodnih turbina na akcijske i reakcijske turbine, te detaljniju podjelu istih s naglaskom na Francis turbinu. Francis turbina, tj difuzor Francis turbine, je ključan kod ovog rada, pa je navedena općenita podjela difuzora zajedno sa njegovim gubitcima i objašnjen je princip rada difuzora.

Nakon teorijskog dijela slijedi izrada simulacije i analiza. Za izradu simulacije se koristio program Ansys Fluent. U Ansys Fluentu je prvo bilo potrebno izraditi geometriju u prozoru Geometry, zatim u Meshu generirati numeričku mrežu geometrije, i naposljetku u Fluentu definirati rubne površine, odabrati radni materijal, definirati rubne uvjete, izraditi graf konvergencije i analizirati parametre.

Numeričke simulacije se koriste za modeliranje i analizu inženjerskih problema koristeći numeričke metode i računalne tehnike. Ove simulacije se izvode pomoću matematičkih modela koji opisuju ponašanje sistema ili procesa. Numeričke simulacije omogućavaju proučavanje složenih sistema koji su teški ili nemogući za analitičko rešavanje. Numerička simulacija pojedinih dijelova turbine omogućava bolje razumijevanje strujanja i drugih performansi turbine. Simulacije mogu pomoći inženjerima da optimiziraju dizajn, poboljšaju efikasnost, smanje gubitke energije i povećaju radnu pouzdanost. Također su važan alat u razvoju novih turbina i unapređenju postojećih.

Iz rezultata dobivenih simulacijom, može se zaključiti da je statički tlak na ulazu u difuzor najveći jer na ulazu fluid miruje, tj. brzina strujanja je jednaka nuli, i na njega djeluje samo statički tlak. Dinamički tlak je jednak brzinama kroz difuzor jer prati njihov smjer kretanja, što znači da je na ulazu u difuzor najmanji, a prema izlazu iz difuzora se povećava. Što se tiče analize apsolutnog tlaka, slična je situacija kao i kod statičkog tlaka, na ulazu je najveći dok se prema izlazu smanjuje. Brzina strujanja fluida ovisi o ulaznom i izlaznom presjeku, a tlakovi ovisе o brzini strujanja fluida.

## 9. POPIS LITERATURE

- [1] S interneta, Environment Buddy, <https://www.environmentbuddy.com/energy/hydroelectric-power/20-interesting-hydroelectric-power-hydropower-facts/>, 25. srpnja 2023.
- [2] Krivchenko, G. I.: “Hydraulic Machines, Turbines and Pumps”, MIR Publishers, 1994.
- [3] S interneta, Enciklopedija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=20376>, 25. srpnja 2023.
- [4] S interneta, Eurovrt, <https://www.eurovrt.hr/honda-pumpa-za-vodu-wx10te1-140l-min>, 25. Srpnja 2023.
- [5] S interneta, Monet Asia, <https://www.monet.asia/product/114-8904/>, 25. srpnja 2023.
- [6] S interneta, Hrvatska tehnička enciklopedija, <https://tehnika.lzmk.hr/turbina-2/>, 13. kolovoza 2023.
- [7] S interneta, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow\\_turbine#/media/File:Ossberger\\_turbine.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine#/media/File:Ossberger_turbine.jpg), 13. kolovoza 2023.
- [8] S interneta, Housing, <https://housing.com/news/wp-content/uploads/2022/11/Pelton-wheel-turbin-compressed.jpg>, 13. kolovoza 2023.
- [9] S interneta, Microhydropower, <https://www.micro-hydro-power.com/wp-content/uploads/2018/08/Turgo-Runner-Turgo-Inclined-Jet-Turbine.jpg>, 14. kolovoza 2023.
- [10] S interneta, Renovables Verdes, <https://www.renovablesverdes.com/wp-content/uploads/2020/02/Turbina-Kaplan.jpg>, 14. kolovoza 2023.
- [11] S interneta, Alibaba, [https://www.alibaba.com/product-detail/Micro-Hydro-Turbines-for-Sale-mini\\_62571844844.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Micro-Hydro-Turbines-for-Sale-mini_62571844844.html), 14. kolovoza 2023.
- [12] Čarija, Z.: „Vodne turbine“, radni materijal predavanja kolegija Hidraulički strojevi, Rijeka, 2019.
- [13] S interneta, Hrvatska tehnička enciklopedija, [https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/turbina\\_vodna.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/turbina_vodna.pdf), 20. kolovoza 2023.
- [14] S interneta, Linqip Technews, [https://www.linqip.com/blog/draft-tube/#Types\\_of\\_Draft\\_Tube](https://www.linqip.com/blog/draft-tube/#Types_of_Draft_Tube), 20. kolovoza 2023.

[15] S interneta, Ansys Fluent, <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>, 20. kolovoza 2023.

## 10. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Hidroenergija u prirodi [1] .....	2
Slika 2.2. Izgled Francis turbine [3] .....	3
Slika 2.3. Crpka za vodu [4].....	4
Slika 2.4. Sirocco ventilator [5] .....	4
Slika 3.1. Crossflow turbina [7] .....	6
Slika 3.2. Pelton turbina [8] .....	6
Slika 3.3. Turgo turbina [9] .....	7
Slika 3.4. Kaplan turbina [10] .....	8
Slika 3.5. Francis turbina [11] .....	9
Slika 4.1. a) ravan i stožasti difuzor, b) koljenasti difuzor, c) obični prošireni difuzor i Moodyjev difuzor [13] .....	11
Slika 5.1. Odabrana naredba za geomeriju u programu .....	13
Slika 5.2. Generirana geometrija difuzora.....	14
Slika 5.3. Odabrana naredba za generiranje numeričke mreže .....	14
Slika 5.4. Početni izgled numeričke mreže .....	15
Slika 5.5. Izgled numeričke mreže nakon reguliranja veličine elemenata .....	15
Slika 5.6. Biranje metode obuhvata za naredbu Inflation .....	16
Slika 5.7. Odabrana površina za primjenjivanje naredbe Inflation .....	16
Slika 5.8. Prikaz izbornika Definition .....	16
Slika 5.9. Primjena naredbe Inflation i prikaz ulaznog presjeka.....	17
Slika 5.10. Primjena naredbe Inflation i prikaz izlaznog presjeka.....	17
Slika 5.11. Definirane rubne površine .....	18
Slika 5.12. Odabrana naredba za izradu simulacije.....	18
Slika 5.13. Prikaz difuzora u otvorenom Fluentu.....	19
Slika 5.14. Odabrani model strujanja .....	19
Slika 5.15. Odabrani radni materijal .....	19
Slika 5.16. Početna brzina fluida na ulazu u difuzor.....	20
Slika 5.17. Prikaz jedne presječne ravnine.....	20
Slika 6.1. Graf konvergencije.....	21
Slika 6.2. Raspodjela statičkog tlaka kroz difuzor .....	22
Slika 6.3. Raspodjela statičkog tlaka po presječnim ZX ravninama difuzora.....	22
Slika 6.4. Raspodjela statičkog tlaka po presječnoj YZ ravnini difuzora .....	23

Slika 6.5. Raspodjela dinamičkog tlaka kroz difuzor.....	23
Slika 6.6. Raspodjela dinamičkog tlaka po presječnim ZX ravninama difuzora .....	24
Slika 6.7. Raspodjela dinamičkog tlaka po presječnoj YZ ravnini difuzora .....	24
Slika 6.8. Raspodjela apsolutnog tlaka kroz difuzor .....	25
Slika 6.9. Raspodjela apsolutnog tlaka po presječnim ZX ravninama difuzora.....	25
Slike 6.10. Raspodjela apsolutnog tlaka po presječnoj YZ ravnini difuzora .....	26
Slika 6.11. Raspodjela brzina po presječnim ZX ravninama difuzora .....	26
Slika 6.12. Raspodjela brzina po presječnoj YZ ravnini difuzora.....	27
Slika 6.13. Strujnice difuzora obojane po brzini .....	27
Slika 6.14. Prikaz strujnica brzina po cijeloj površini difuzora .....	28
Slika 6.15. Prikaz strujnica brzina na izlazu iz difuzora .....	28
Slika 7.1. Python kod za vizualizaciju difuzora koristeći naredbu Point Cloud .....	29
Slika 7.2. Numerička mreža prikazana korištenjem naredbe Point Cloud.....	30
Slika 7.3. Python kod za vizualizaciju difuzora koristeći naredbu Mesh Bounds .....	30
Slika 7.4. Numerička mreža prikazana korištenjem naredbe Mesh Bounds .....	31
Slika 7.5. Python kod za vizualizaciju difuzora koristeći naredbu Add Mesh.....	31
Slika 7.6. Numerička mreža prikazana korištenjem naredbe Add Mesh.....	32
Slika 7.7. Python kod za vizualizaciju difuzora koristeći naredbi Eye Dome Lighting i No Eye Dome Lighting .....	32
Slika 7.8. Rezultat korištenja naredbi Eye Dome Lighting i No Eye Dome Lighting .....	33
Slika 7.9. Python kod za vizualizaciju apsolutnog tlaka difuzora.....	33
Slika 7.10. Prikaz apsolutnog tlaka difuzora .....	34
Slika 7.11. Python kod za vizualizaciju brzina difuzora .....	34
Slika 7.12. Prikaz brzina difuzora .....	35



## 11. POPIS OZNAKA I KRATICA

Opis	Oznaka	Mjerna jedinica
gubitci u difuzoru	$H_{gub,dif}$	m
koeficijent lokalnog otpora difuzora	$k_{dif}$	
brzina na ulazu u difuzor	$v_2$	m/s
ubrzanje sile teže	$g$	m <sup>2</sup> /s

## 12. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U ovom radu provedena je numerička analiza strujanja fluida u difuzoru vodne turbine, tj. Francis turbine. Korišten je softver Ansys Fluent za numeričku simulaciju, a opisani su postupak generiranja numeričke mreže difuzora i postavke simulacije. Prikazani su rezultati simulacije, uključujući graf konvergencije, statički tlak, dinamički tlak, apsolutni tlak i brzine fluida. Također je korišten modul PyVista kako bi se istražile dodatne mogućnosti vizualizacije rezultata.

**Ključne riječi:** difuzor, vodne turbine, analiza strujanja fluida, numerička simulacija, vizualizacija

### **13. SUMMARY AND KEY WORDS**

In this paperwork, a numerical analysis of fluid flow in the draft tube of a water turbine, namely a Francis turbine, was conducted. The Ansys Fluent software was used for numerical simulation, and the procedure for generating the numerical mesh of the diffuser and simulation settings were described. The simulation results were presented, including the convergence plot, static pressure, dynamic pressure, absolute pressure, and fluid velocities. The PyVista module was also utilized to explore additional possibilities for result visualization.

Keywords: draft tube, water turbine, fluid flow analysis, numerical simulation, visualization