

Analiza strujanja kroz difuzor vodne turbine tip 10

Ban, Daniela

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:190:047837>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij strojarstva

Završni rad

ANALIZA STRUJANJA KROZ DIFUZOR VODNE TURBINE TIP

10

Rijeka, rujan 2022.

Daniela Ban

0069046142

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij strojarstva

Završni rad

ANALIZA STRUJANJA KROZ DIFUZOR VODNE TURBINE TIP

10

Mentor: Prof. dr.sc. Zoran Čarija

Rijeka, rujan 2022.

Daniela Ban

0069046142

IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad naslova “Analiza strujanja kroz difuzor vodne turbine tip 10” pod vodstvom prof. dr. sc. Zoran Čarija izradila samostalno, koristeći navedenu literaturu te znanje stečeno tijekom preddiplomskog stručnog studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci.

Rijeka, rujan 2022.

Daniela Ban

0069046142

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Zoranu Čariji i asist. dr. sc. Ivani Lučin na pomoći i danim savjetima pri izradi završnog rada.

Zahvaljujem se također svojoj obitelji te kolegama i prijateljima na podršci i strpljenju tijekom studiranja.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TURBINE	2
3. VODNE TURBINE	2
3.1. Reakcijske turbine	5
3.1.1. Kaplano-va turbina	6
3.1.2. Francis-ova turbina	7
3.1.3. Arhimedov puž	8
3.2. Akcijske turbine	9
3.2.1. Pelton-ova turbina	9
3.2.2. Turbina s križnim presjekom	11
3.2.3. Turgo turbina	12
3.2.4. Teslina turbina	13
3.2.5. Jonvalo-va turbina	14
4. DIFUZOR	15
4.1. Gubici u difuzoru	17
4.2. Vrste difuzora	17
4.2.1. Ravni i stožasti difuzor	17
4.2.2. Obični prošireni difuzor	17
4.2.3. Moody-ev difuzor	18
4.2.4. Difuzor s koljenom	18
5. ANSYS FLUENT	19
6. ANALIZA STRUJANJA KROZ DIFUZOR VODNE TURBINE	21
6.1. Geometrija	21
6.2. Izrada numeričke mreže	23
6.3. Postavke simulacije	27
7. REZULTATI	30
8. ZAKLJUČAK	38
9. LITERATURA	39
10. POPIS OZNAKA I KRATICA	40
11. POPIS SLIKA	41
12. SAŽETAK	43
13. ABSTRACT	44

1. UVOD

Hidroenergija je snaga iz energije tekuće vodene mase koja uveliko olakšava čovječanstvu. Energija vode pripada obnovljivim izvorima energije, uz energiju sunca, vjetra i drugo. Takvi izvori energije danas su sve više popularniji, iako se energija vode koristi već stotinama godina. U povijesti stari Rimljani koristili su je za pogon mlinova, za proizvodnju brašna, oblikovanje kamena. U Hrvatskoj hidroelektrane čine više od 50% elektrana, Hrvatska spada u vodeće zemlje u proizvodnji energije iz obnovljivih izvora energije. Danas je u pogonu 17 velikih hidroelektrana (više od 10 MW) i oko 20 malih hidroelektrana (od 0,5 do 10 MW). Najveća hidroelektrana je HE Zakučac s raspoloživom snagom od 576 MW, zatim je slijedi HE Senj s 216 MW, HE Dubrovnik, HE Varaždin i druge. Male hidroelektrane su u vodstvu s HE Jaruga (7,2 MW) zatim HE Ozalj (5,5 MW), HE Golubić, HE Zeleni Vir i druge.

Zadatak završnog rada je analiza strujanja kroz difuzor vodne turbine te je izvršena simulacija protjecanja istog. U prvom dijelu definirane su turbine, navedena je njihova podjela s obzirom na vrstu fluida koji ih pokreće, te je ukratko opisan njihov princip rada i navedeni su sastavni dijelovi. Nadalje pobliže su opisane vodne turbine koje i jesu tema ovog rada, navedena je njihova podjela te su opisane karakteristike iz obje skupine. Najpoznatije spomenute turbine su Francis-ova turbina, Kaplan-ova turbina, Pelton-ova i druge. U četvrtom poglavlju definiran je difuzor, navedena je njegova podjela te su objašnjeni gubici. Nadalje u petom poglavlju spominje se program Ansys Fluent koji je korišten za izradu ovog završnog rada, njegova funkcija je da prikaže simulacijom kako će se određeni proizvod ponašati u stvarnom radu, spominje se njegovo područje primjene. U zadnjem poglavlju detaljno je opisan postupak, od učitavanja zadane geometrije difuzora do izrade numeričke mreže. Zatim se vrši kreiranje parametara postavki simulacije kako bi simulacijom dobili što točniji rezultat. Simulacija nam omogućava pregled rezultata pomoću grafa konvergencije, simulaciju statičkog tlaka, dinamičkog i apsolutnog tlaka i brzine strujanja, te prikaz strujnica kroz područje difuzora.

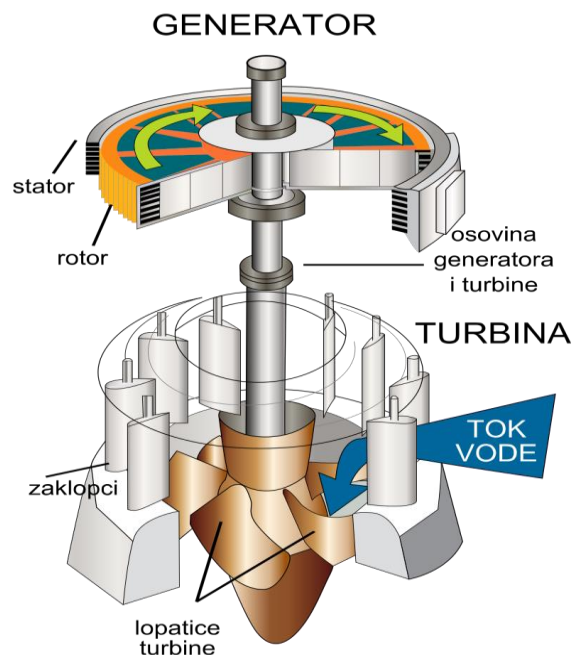
2. TURBINE

Turbina je energetska stroj s kontinuiranim protokom radnoga fluida; plin ili tekućina kroz sustav statorskih i rotorskih lopatica koji pretvara potencijalnu ili toplinsku energiju u kinetičku, te dalje vrtnjom rotora u mehanički rad. Mehanički rad se primjenjuje za pokretanje pumpi, kompresora i slično.

Ovisno o vrsti fluida, razlikujemo turbine koje pokreće nestlačivi radni fluid, voda (vodna turbina), te turbine koje pokreće stlačivi fluid, vodena para, plinovi izgaranja ili zrak (parna turbina; plinska turbina; vjetrena turbina).

U kućištu turbine nalaze se statorske lopatice, elementi za regulaciju i upravljanje, priključci za dovod i odvod radnoga fluida, te ležajevi rotora. Red lopatica na rotoru s redom lopatica na statoru čine jedan stupanj turbine. Parni i plinski turbine mogu imati više od jednoga stupnja (višestupanjske turbine). Prve spoznaje o uporabi turbina potječu iz antičke Grčke. Danas razlikujemo turbine različitih veličina i snaga, od najmanjih, koje kao pneumatski aktuatori pogone različite ručne alate, do onih najvećih, vodne turbine za pogon električnih generatora, koje imaju promjer od nekoliko metara i snagu do 1 500 MW.

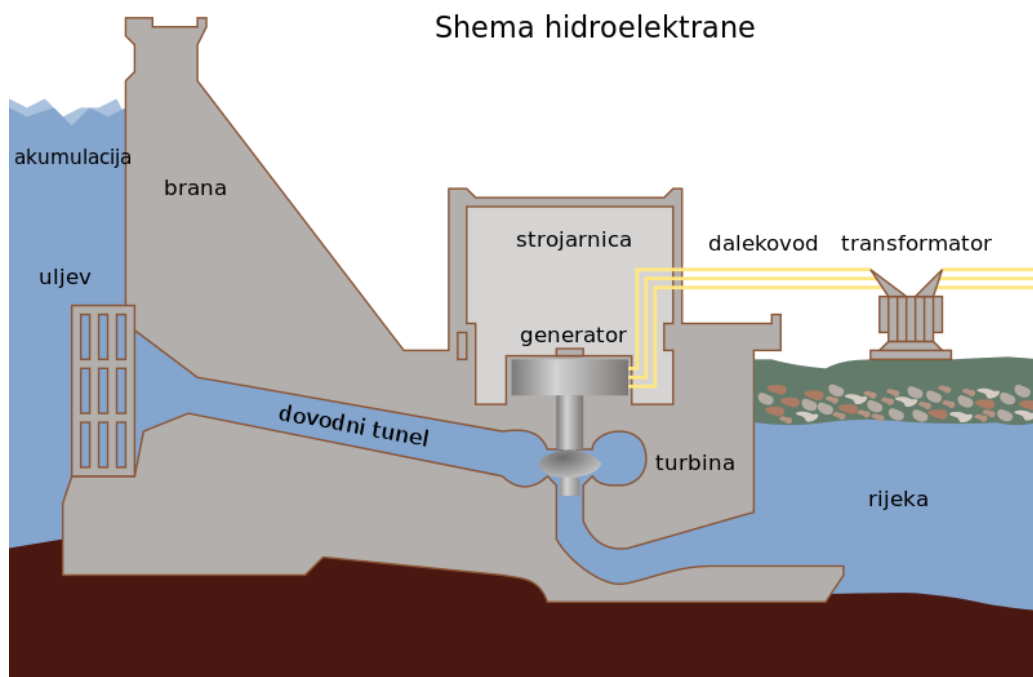
Najjednostavnije turbine imaju jedan pomični dio, rotor, a to je vratilo s lopaticama. Protok tekućine djeluje da se lopatice okreću i daju energiju rotacije na rotor. Rani primjeri turbina su vjetrenjače i vodeni mlinovi. Plinske, parne i vodne turbine obično imaju kućište oko lopatica koje sadrži i kontrolira radnu tvar. Dijelovi vodne turbine prikazani su na slici 2.1.



Slika 2.1. Vodna turbina [1]

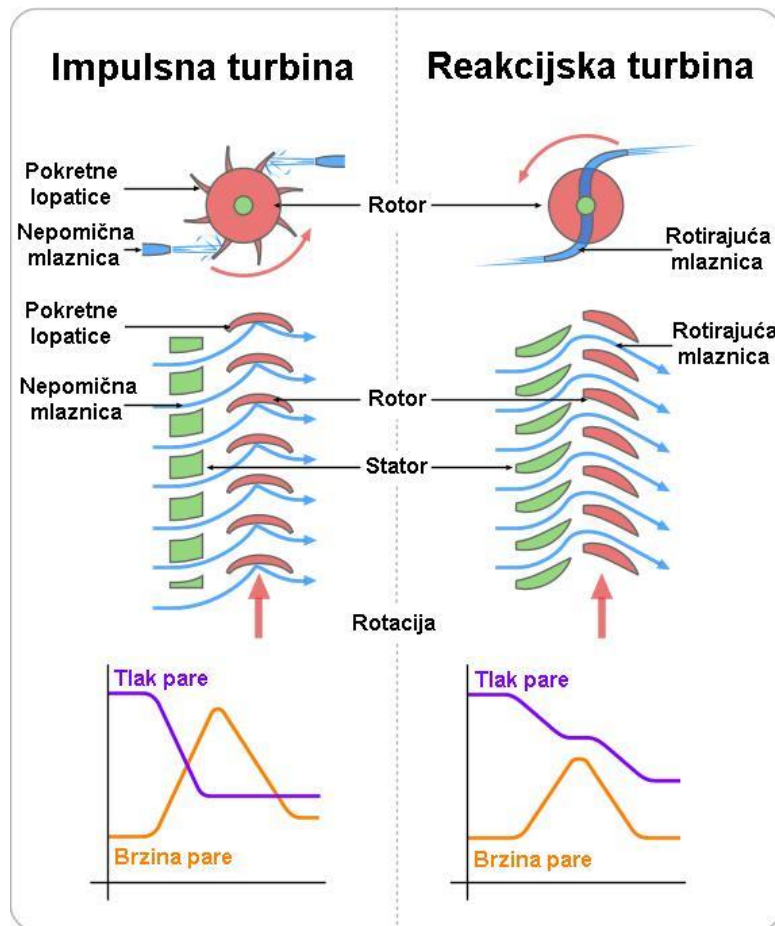
3.VODNE TURBINE

Od doba Grka i Rimljana spominje se vodeničko kolo koje je služilo za mljevenje žita, a preteča današnjim vodnim turbinama javila se je u 18. stoljeću. Vodna turbina je energetski stroj koji potencijalnu energiju vode pretvara u kinetičku, te se kinetička energija zatim pretvara u mehanički rad. Sastoji se od kućišta sa statorskim lopaticama i rotora (turbina). Ta pretvorba energija vrši se u postrojenjima poput hidroelektrana. Sastoje se od akumulacijskog jezera, vodne brane i komore, dovodnog tunela, zasunske komore, tlačnog cjevovoda, račve, strojarnice i odvodnog kanala. Shema hidroelektrane prikazana je na slici 3.1. Vodna turbina nalazi se u strojarnici i sastoji se od rotora, vratilo generatora, glavčina, regulacijske i statorske lopatice, generator i spirala difuzora.



Slika 3.1. Shema hidroelektrane [2]

Razlikujemo akcijske i reakcijske vodne turbine. Njihova glavna razlika je u mjestu pada tlaka, koji se kod akcijskih turbina događa u statorskim lopaticama, a kod reakcijskih dijelom u statorskim i dijelom u rotorskim. Reakcijske turbine koristimo kod većih protoka, dok se akcijske koriste pri visokim hidrostatskim tlakovima.



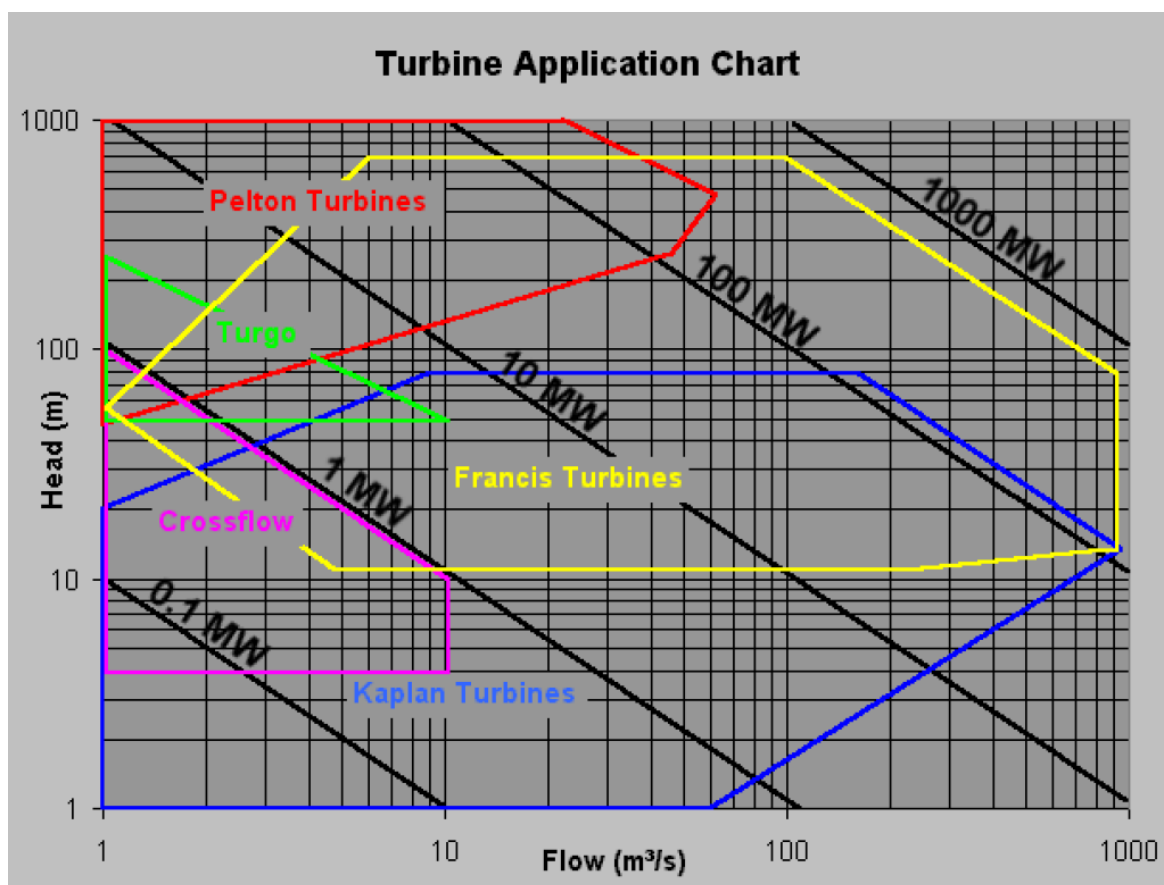
Slika 3.2. Razlika akcijskih i reakcijskih turbina [3]

Razlika akcijskih (impulsnih) i reakcijskih turbina prikazana s dijagramom promjene tlaka i brzine fluida na slici 3.2.

3.1. Reakcijske turbine

Reakcijske turbine su turbine na koje dolazi voda, njezin se tlak prolazeći kroz turbinu mijenja te predaje energiju. one koriste kinetičku, potencijalnu i tlačnu energiju. Pojavljuje se pad tlaka na rotorskim i statorskim lopaticama.

Da bi se za ove turbine održao tlak vode, moraju biti potpuno uronjene u vodenom toku ili moraju biti u kućištu. Većinom se koriste reakcijske turbine i to pri niskom ili srednjem hidrostatskom tlaku. Na sljedećoj slici prikazan je dijagram brzine protoka u ovisnosti pada i proizvedene energije akcijskih i reakcijskih turbina, slika 3.3.



Razlikujemo sljedeće akcijske turbine:

- Kaplan turbina
- Francis-ova turbina
- Arhimedov puž

3.1.1. Kaplan turbina

Kaplan turbina je propelernog izgleda, reakcijska je vrsta vodne turbine čije su zakretne lopatice na rotoru. Radi s velikim protokom na niskim padovima. Lopatice radnog kola u većini propelernih turbina mogu se zakretati u pogonu te se s time smanjuju sudarni gubici i osigurava se strujanje vode s najmanje hidrauličkih gubitaka.

Turbine sa zakretnim lopaticama rotora su složenije od običnih propelernih turbina, ali su zato energetske karakteristike puno bolje. Kaplan turbine imaju izlaznu snagu 5-120 MW. Na slici 3.4. je prikazana Kaplan turbina nakon 61 godine rada.



Slika 3.4. Kaplan turbina [5]

3.1.2. Francis-ova turbina

Francis-ove turbine su turbine koje se najviše koriste u hidroelektranama. One proizvode električnu energiju uz pomoć generatora, njihov stupanj iskoristivosti je preko 90%, izlazna snaga im je od par kilovata do 750 MW. Na slici 3.5. prikazana je Francis-ova turbina s električnim generatorom.



Slika 3.5. Francis-ova turbina spojena na električni generator [6]

Voda je pomoću tlačnog cjevovoda dovodi na obod radnog kola gdje se jednolično raspoređuje spiralnim kanalom. Radno kolo koje sadrži niz nepokretnih lopatica, voda ulazi radijalno, a izlazi aksijalno, te nakon difuzora ide u odvodni kanal turbine. Izlazni gubici turbine se smanjuju uporabom difuzora, a pulsacije tlaka iza radnog kola se mogu umanjiti dovodom zraka na ulazu u difuzor.

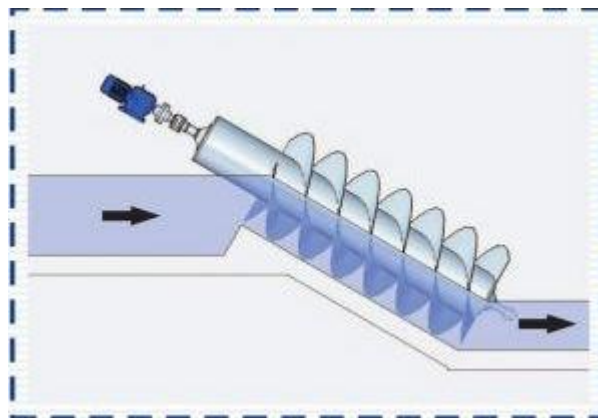
Francis-ova turbina većinom ima okomito vratilo, turbine s vodoravnim vratilom koriste se samo za manje snage jer je potrebno skretno vratilo ispred difuzora. Tada turbina treba biti visoko postavljena iznad donje razine vode, te postoji mogućnost nepovoljnog kavitacijskog područja.

3.1.3. Arhimedov puž

Arhimedov puž tj. pužna turbina je veoma jednostavna te se koristi kod manjih padova (od 1 do 10 metara). Zbog sporog kretanja lopatica pogodna je za životinjski svijet u rijekama i oko njih. Također je prednost dug vijek trajanja, jednostavna konstrukcija, visoka efikasnost i dr. Protok vode se vrši s više razine na nižu, pritom se potencijalna energija pretvara u kinetičku. Cijelom dužinom otiče između lopatica puža te ga pritom okreće, na samome dnu voda istječe. Na slici 3.6. prikazan je Arhimedov puž, a slika 3.7. pokazuje smjer protoka vode, s više razine na nižu.



Slika 3.6. Arhimedov puž [7]



Slika 3.7. Smjer protjecanja vode [8]

3.2. Akcijske turbine

Prema načinu pretvaranja energije razlikujemo tako akcijske (impulsne) turbine koje mlaznicama usmjeravaju tok vode. Prije samog udara vode u lopatice turbine dolazi do pretvorbe potencijalne energije u kinetičku.

Na rotorske lopatice usmjeren je mlaz vode iz sapnica, obzirom da je mlaz vode povećan dolazi do promjene smjera mlaza vode. Posljedica promjene smjera gibanja mlaza je stvaranje sile na rotorske lopatice koja okreće turbinu. Preusmjereni vodeni tok ima smanjenu energiju i brzinu jer je turbina preuzela dio energije. Ne dolazi do pada tlaka pri udaru mlaza u lopatice.

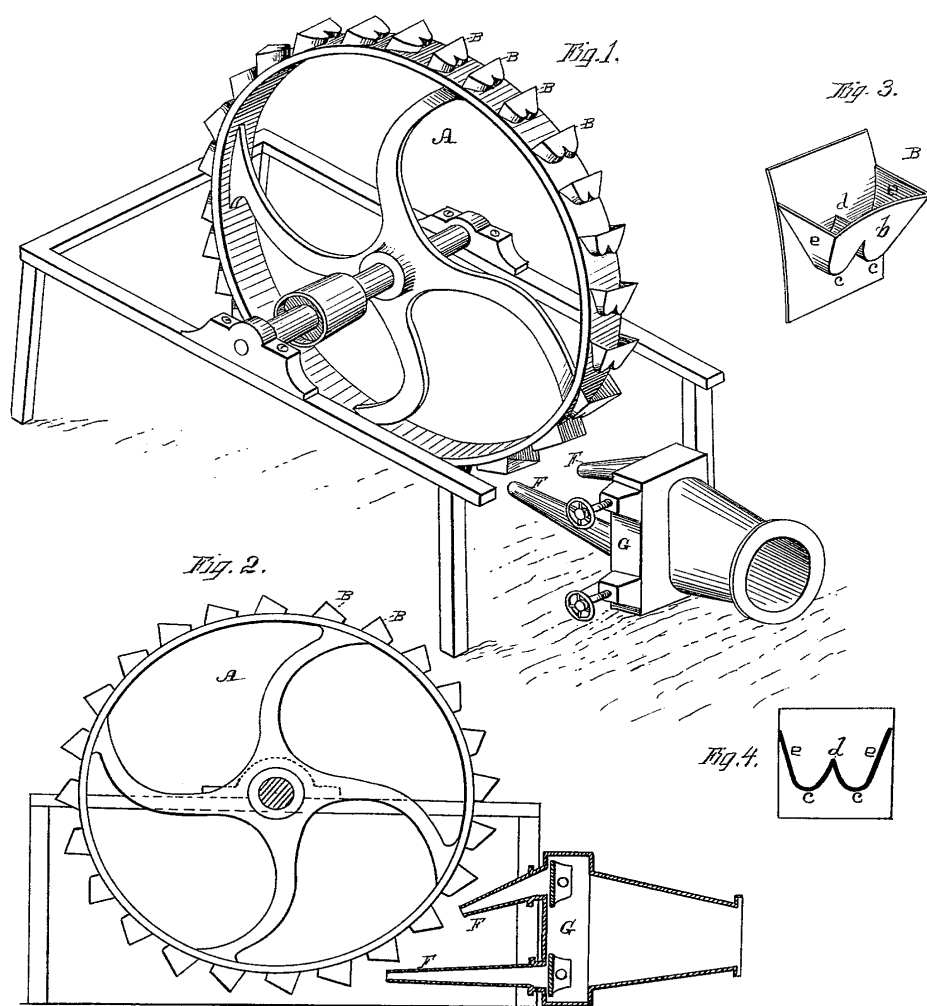
Razlikujemo više vrsta akcijskih turbina:

- Pelton-ova turbina
- Crossflow turbina; turbina s križnim presjekom
- Turgo turbina
- Teslina turbina
- Jonval-ova turbina

3.2.1. Pelton-ova turbina

Peltonova turbina je vodna turbina koja je glavni predstavnik akcijskih turbina, pripada turbinama s najvećim stupnjem iskorištenja, koristi se za manje protoke i velike padove (preko 200 m). Izumio ju je L. A. Pelton 1878. godine, čija je konstrukcija poslužila u izradi Turgo i Banki turbina.

Lopatice Peltonove turbine imaju oštri brid koji ju dijeli na dva jednaka dijela. Mlaz se dijeli te napušta lopaticu pod kutom oko 180° . Lopatice se okreću u zraku, nije potopljena u vodi, a maksimalna snaga ide do 200 MW.



Slika 3.8. Slika iz originalnog Peltonovog patenta [9]

Rotor se sastoji od lopatica koje su oštrim bridom podijeljene na dva jednaka dijela, ima ih između 12 i 40. Karakteristika Peltonovih lopatica je u tome što one naspram Francisovih nisu stalno opterećene već su povremeno u dodiru s vodom. Peltonove turbine mogu se sastojati od jedne ili više mlaznica, a rotor može biti na okomitom ili vodoravnom vratilu, kojih može biti jedan ili dva. Na slici 3.8. prikazana je Peltonova turbina čije lopaticice nisu stalno u dodiru s vodom.

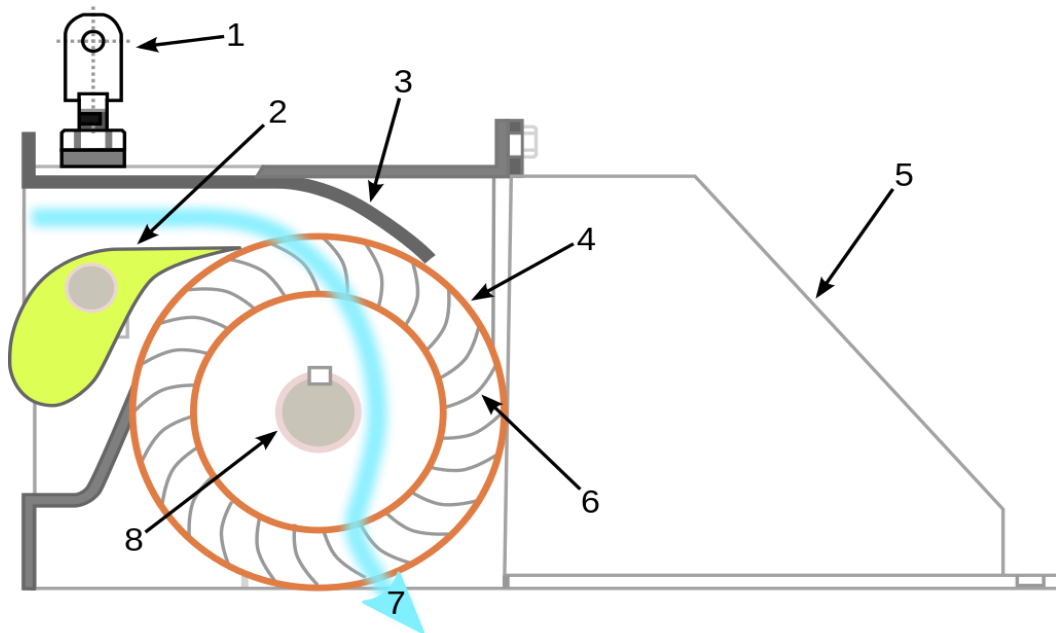


Slika 3.9. Montaža višerotorske Peltonove turbine [10]

Više rotora na okomitom vratilu ima zahtjevniju konstrukciju, turbina s okomitim vratilom je bolji izbor jer se voda dovodi po obodu rotora te se rotor postavlja na minimalnu visinu iznad donje vode. Pomicanjem regulacijske igle unutar mlaznica se vrši protok u mlaznicama. Da bi se izbjegli kvarovi protok se smanjuje postepeno, osim kada je nužno naglo zatvaranje, tada se koristi deflektor koji presijeca mlaz vode. Na slici 3.9. može se vidjeti višerotorska Pelton-ova turbina u HE Walchensee.

3.2.2. Turbina s križnim presjekom

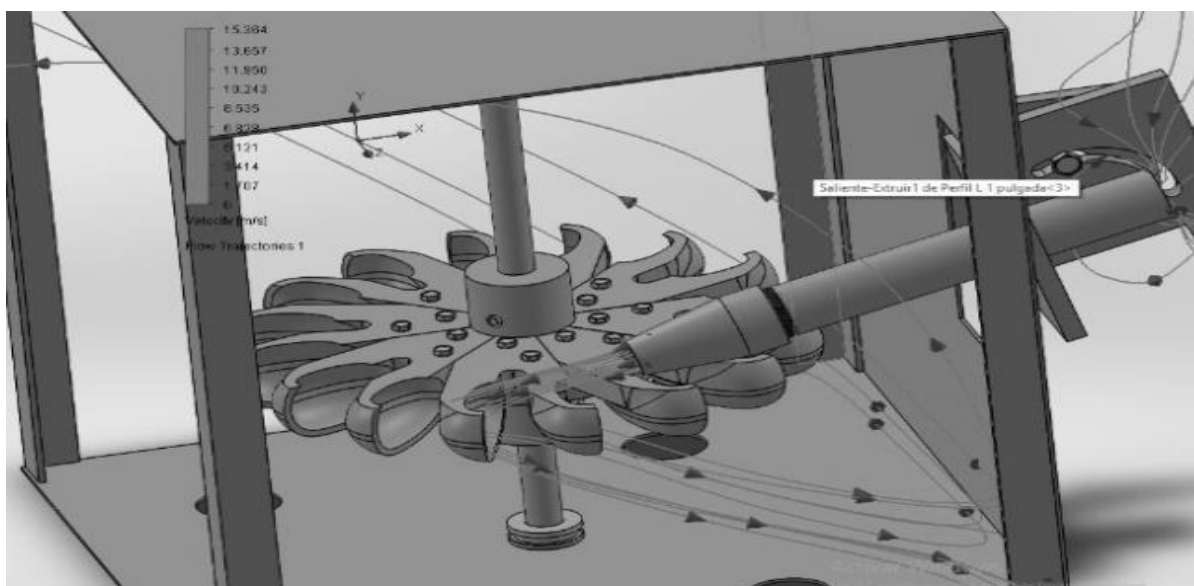
Turbina s križnim presjekom; crossflow turbina koristi se kod malih brzina, malih padova vode i velikih protoka. Mlaz vode ide poprečno te tako prolazi kroz lopatice turbine. Turbine s križnim presjekom imaju veći stupanj iskoristivosti zbog toga što mlaz vode prelazi dva puta kroz lopatice. Često se rade u izvedbi s dvije turbine različitog kapaciteta na istom vratilu. Lopatice su različitih dužina te primaju protok vode. Prednost turbina s križnim protokom je jednostavna konstrukcija jeftinija izvedba. Na slici 3.10. možemo vidjeti turbinu s križnim presjekom.



Slika 3.10. Turbina s križnim protokom [11]

3.2.3. Turgo turbina

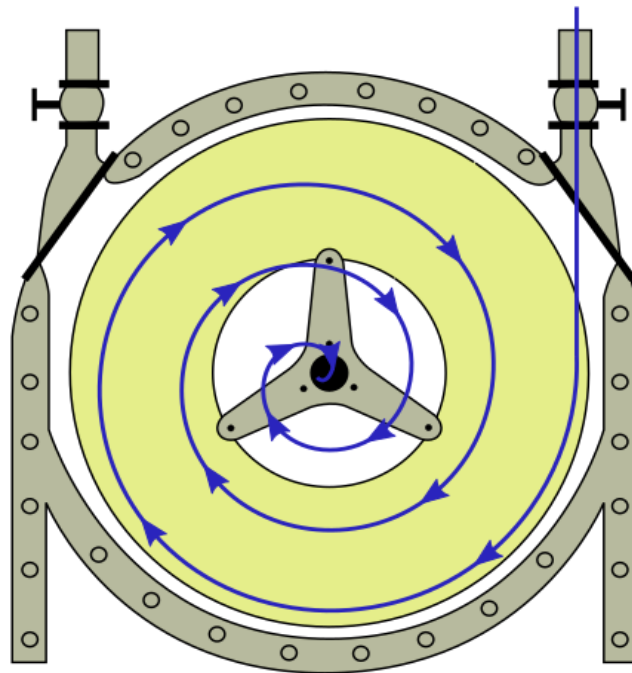
Turgo turbine slične su Peltonovim, pripadaju grupi impulsnih turbina kod kojih vodeni mlaz prilazi bočno rotoru, sa stupnjem iskoristivosti 87 %. Koriste se kod srednjih padova vode od 50 m do 250 m. Prednost ove turbine je da rotor nije tako skup i ne treba vodonepropusno kućište. Podnosi veće protoke vode i veće brzine protoka. Koriste se češće kod manjih hidroelektrana gdje je vrlo bitna ekonomičnost. Slika 3.11. prikazuje princip rada turgo turbine.



Slika 3.11. Turgo turbina [12]

3.2.4. Teslina turbina

Teslina turbina pripada u posebnu kategoriju, to su turbine bez rotorskih lopatica te im je zbog toga primjena ograničena, ali zbog svog dizajna pokriva široko područje. To su impulsne turbine s vrlo robusnom i jakom konstrukcijom. Izumio ju je Nikola Tesla 1909.godine. Njezina učinkovitost je 80 %, a princip rada je na učinku graničnog sloja. Dolazi do okretanja turbine zbog strujanja zraka. Slika 3.12. prikazuje Teslinu turbinu bez rotorskih lopatica.



Slika 3.12. Teslina turbina [13]

Kod Teslinih turbina koristi se djelovanje graničnih slojeva između vrhova diskova i fluida zbog nedostatka rotorskih lopatica. Zbog privlačnih sila slojeva diska i trenja fluida granični dijelovi fluida djeluju na diskove. Teslin izum nije zaživio u njegovo vrijeme zbog ograničenih sredstava materijala, ali danas je taj problem riješen i njegov izum je primjenjiv.

3.2.5. Jonvalo-va turbina

Kod Jonvalove turbine voda struji usporedno s vratilom i u tu turbinu je prvi put ugrađen difuzor odnosno odsisna cijev koja omogućava iskorištavanje cjelokupnog pada vode s obzirom na to da je rotor postavljen znatno iznad donje razine.



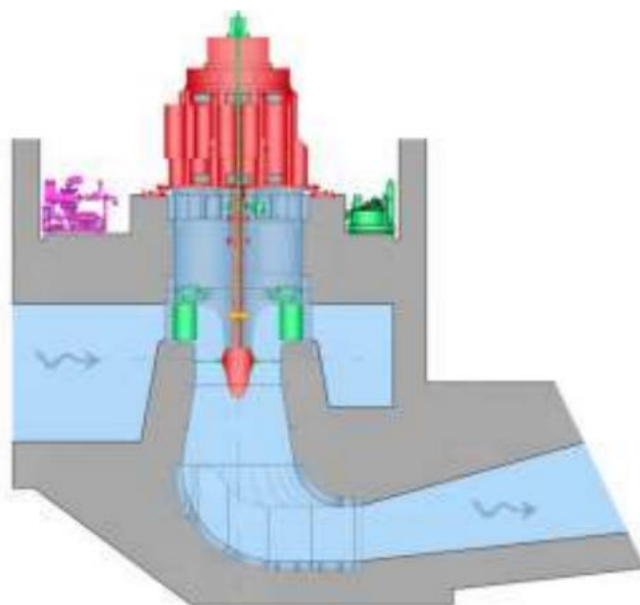
Slika 3.13. Jonvalova turbina [14]

4. DIFUZOR

Difuzor ili odsisna cijev je dio hidroelektrane s reakcijskom vodom turbinom te s obzirom na vrstu turbine koja se koristi, odabire se jedna od izvedbi difuzora. Dvije glavne zadaće difuzora koji se postavlja na izlaz turbine su kontinuirani tok vode od izlaza iz turbine do donje vode te manji gubici izlazne energije vode.

Zbog neprekinutog toka vode od izlaza iz turbine do donje vode turbina se postavlja iznad razine donje vode, bez gubitaka raspoloživog tlaka. Posljedica tog pozicioniranja turbine je pad tlaka na ulaznom presjeku difuzora. Što je veća razlika između visine turbine i donje vode to je veći pad tlaka. Razlikujemo bruto i neto pad, bruto pad je definiram razlikom između gornje i donje razine vode, a neto pad je bruto pad umanjen za gubitke dovoda i odvoda od turbine. Pozicioniranje turbine na visinu između gornje i donje vode ne utječe na raspoloživ neto pad vode.

Svojom drugom zadaćom povećava se učinkovitost postrojenja. Smanjenjem brzine i povećavanjem tlaka vode protokom kroz difuzor, difuzor smanjuje kinetičku energiju. To je posljedica geometrije difuzora, odnosno postiže se povećanjem presjeka od ulaznog do izlaznog dijela. Materijali koji se koriste kod odsisne cijevi su čelik i beton, čelik kod vertikalnog dijela difuzora, a beton kod koljena i horizontalnog dijela. Na slici 4.1. smjer strujanja vode prikazan je strelicama.



Slika 4.1. Presjek strujnog kanala s difuzora [15]

Princip rada opisan je Bernoullijevom jednačbom 4.1.

$$\frac{p_2}{\rho g} = \frac{p_{atm}}{\rho g} - \left[H_s + \left(\frac{\alpha_{2*} v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_{2*} v_3^2}{2g} - h_{gub,dif} \right) \right] \quad (4.1.)$$

gdje je:

p_2 – tlak na ulaznom presjeku difuzora [Pa]

p_{atm} – atmosferski tlak [Pa]

H_s – visina postavljanja turbine (otprilike jednaka veličini z_1) [m]

$h_{gub,dif}$ – gubitak pada vode [m]

v_2 – brzina na ulaznom presjeku difuzora [m/s]

v_3 – brzina na izlaznom presjeku difuzora [m/s]

α_2 – faktor korekcije brzine na ulaznom presjeku difuzora

α_3 – faktor korekcije brzine na izlaznom presjeku difuzora

ρ – gustoća vode [kg/m³]

g – ubrzanje sile teže [m/s²]

4.1. Gubici u difuzoru

U pretvorbi energije vodnog toka u mehaničku energiju rotacije turbine dolazi do tri vrste gubitaka:

- hidraulički gubici
- volumetrički gubici
- mehanički gubici

Gubitke u difuzoru svrstavamo pod hidrauličke gubitke te su oni posljedica strujanja fluida. Zbog toga ih je nemoguće izbjeći u potpunosti, ali se mogu svesti na neki prihvatljivi minimum pravilnom konstrukcijom hidrauličkih dijelova. Hidrauličke gubitke dijelimo na gubitke uslijed trenja u difuzoru s lokalnim gubicima uslijed promjene smjera toka, te na lokalne gubitke na izlasku iz difuzora zbog naglog pada brzine.

4.2. Vrste difuzora

4.2.1. Ravni i stožasti difuzor

Ravni konični difuzor je najjednostavniji oblik difuzora koji odvodi vodu vertikalno do donje vode. Kod ove vrste difuzora gubici nastali kod trenja su najmanji, površina poprečnog presjeka im se linearno povećava od ulaznog pa sve do izlaznog presjeka. Primjena ove vrste difuzora je zastupljenija kod manjih vodnih turbina, ali također se koristi i kod većih vodnih turbina kojima je vratilo postavljeno horizontalno.

Stožasti ili savinuti difuzor ima samo jednu razliku u odnosu na ravni konični, a to je savinuti dio kružnog poprečnog presjeka. Poprečni presjek se također linearno povećava od koničnog dijela do izlaznog presjeka, Kod savnutih difuzora dolazi do većih gubitaka trenja u odnosu na ravne, zbog neujednačene vrzine strujanja.

4.2.2. Obični prošireni difuzor

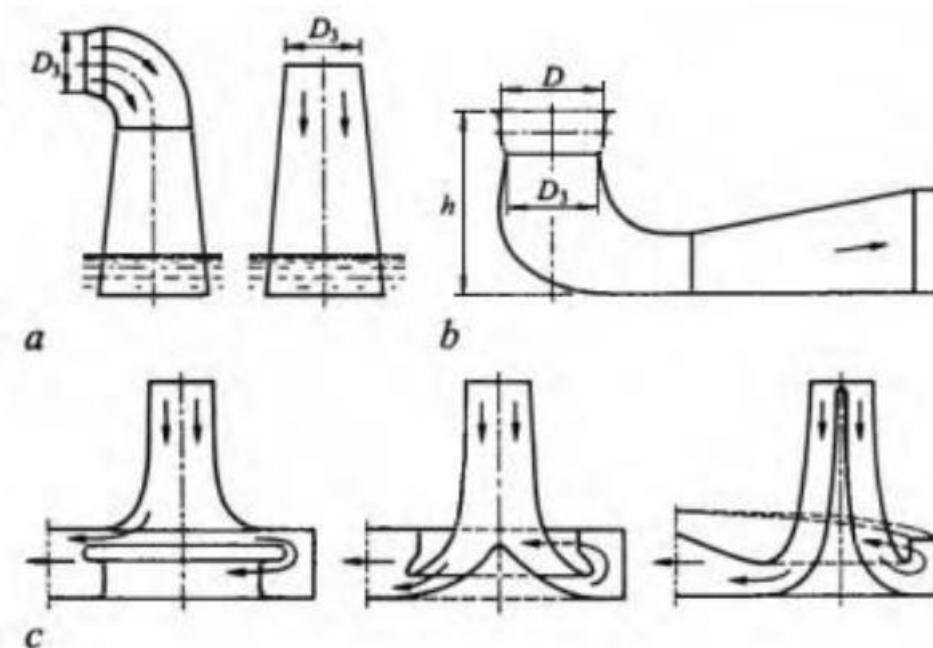
Obični prošireni difuzor veoma je sličan ravnom, kraći je i poprečni presjek mu se ne povećava linearno već eksponencijalno. Primjenjujemo ga kada je potrebno ugraditi kratki difuzor s malim hidrauličkim gubicima.

4.2.3. Moody-ev difuzor

Moody-ev difuzor je difuzor s jednim ulaznim presjekom i izlaznim presjekom koji je podijeljen u dva dijela, a tok vode mu je razdvojen. Čvrsta jezgra u središnjem dijelu omogućuje smanjenje vrtloženja vode koje se pojavljuje na ulazu u difuzor.

4.2.4. Difuzor s koljenom

Difuzor s koljenom sastoji se od horizontalnog i vertikalnog dijela. Vertikalni dio čini ulazni presjek, a horizontalni izlazni presjek. Vertikalni dio je vrlo sličan koničnom difuzoru, te u tom dijelu dolazi djelomičnog pada brzine. Koljenasti dio difuzora omogućuje promjenu smjera vode iz vertikalnog u horizontalni smjer s kutom od 90° . Površina kod horizontalnog dijela se također povećava prema izlaznom presjeku. Učinkovitost difuzora s koljenom može doći i do 75%.

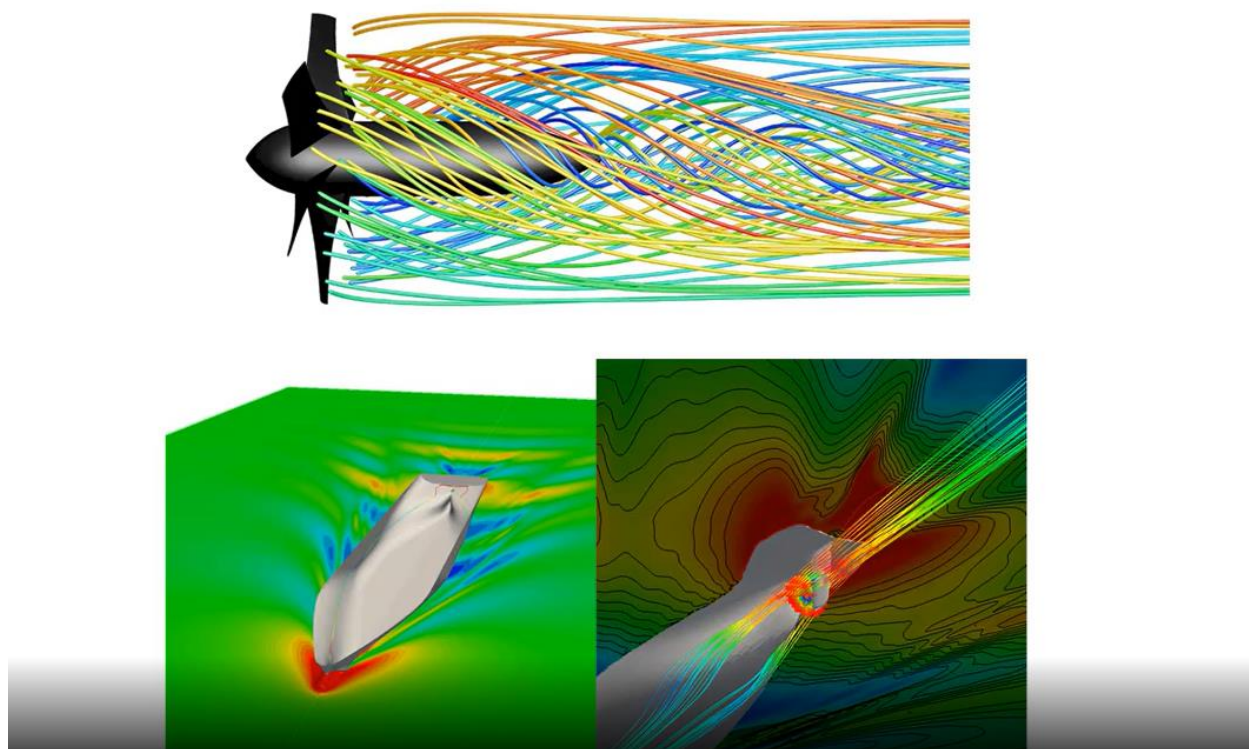


Slika 4.2. a) ravni i savinuti konični difuzor, b) difuzor s koljenom, c) obični prošireni difuzor i Moody-ev difuzor [16]

5. ANSYS FLUENT

Ansys je Američka tvrtka koja razvija računalne programe pomoću kojih se vrši simulacija pojedinih proizvoda. Program pomaže inženjerima kod unapređenja procesa proizvoda u industriji. Koristi se u području elektromagnetizma, temperaturne simulacije, strujanja fluida itd. Funkcija je da simulacijom prikažu kako će se proizvod ponašati u stvarnom radu.

Ansys obuhvaća dosta računalnih programa te razlikujemo Ansys Lumerical, Ansys Sound, Ansys Heat, Ansys Exalto, itd. Ovo je samo dio programa Ansysa koji se koriste u raznim industrijama, najčešće avio industrijama, automobilskim industrijama, biomedicina i elektronička industrija. U ovom završnom radu korišten je program Ansys Fluent te je s njim odrađen cijeli zadatak, vrši se simulacija strujanja fluida oko objekata. Na slici 5.1. prikazano je strujanje napravljeno eksperimentom u programu Ansys Fluent.



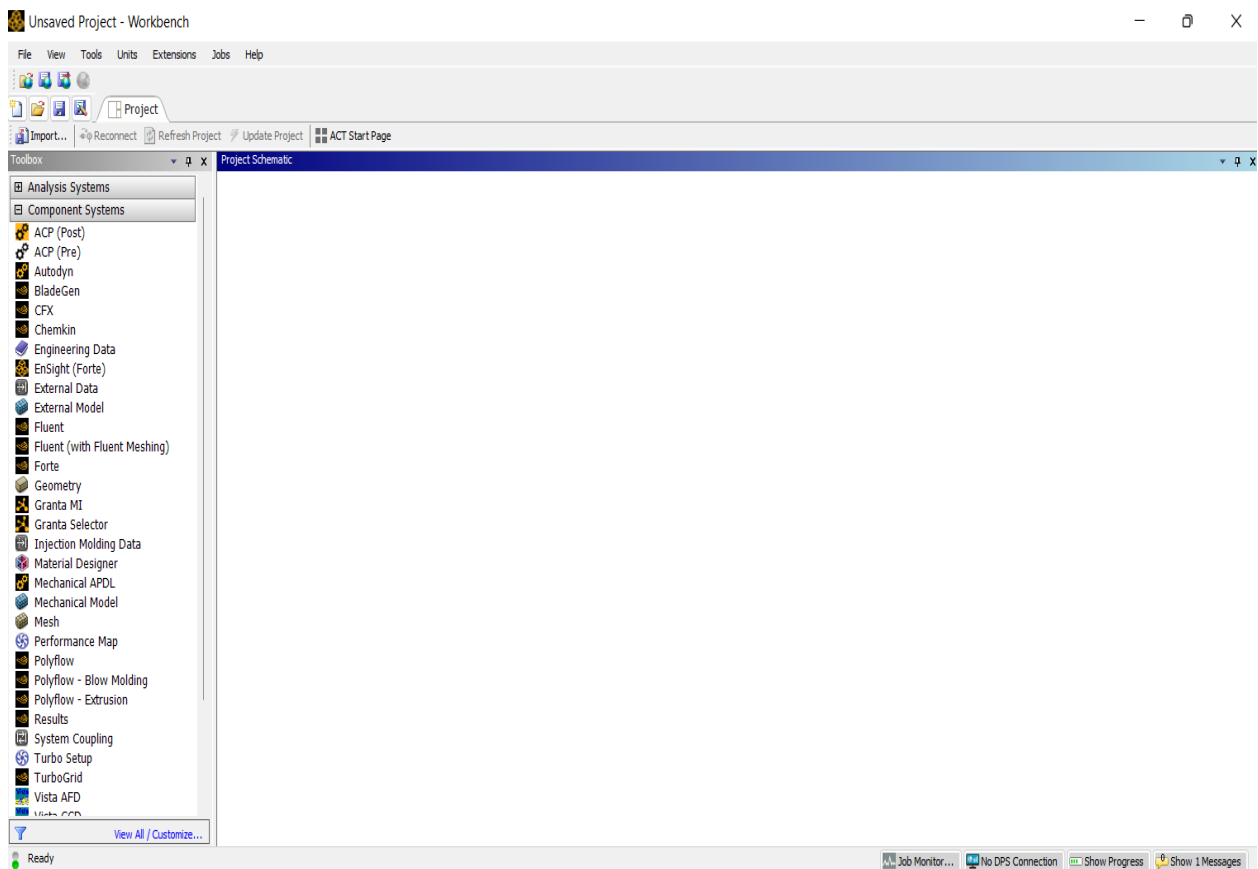
Slika 5.1. Strujanje fluida oko propelera i oko broda [17]

Ansys Fluent je jedan od komercijalnih programa za izradu simulacija, također ima mogućnost korištenja studentske licence. Relativno je jednostavan za korištenje, ali je dosta skup, u usporedbi npr. s OpenFOAM programom koji je besplatan. Korištenje Ansys Fluenta nema troškova na modelska testiranja u bazenima, ali postoje troškovi licence. Numeričkom simulacijom koja koristi realne dimenzije i sve karakteristike koje bi proizvod trebao imati, postizemo rezultate. Brzina, tlak, kinetička energija su jedne od vrijednosti koje bi nas mogle zanimati.

6. ANALIZA STRUJANJA KROZ DIFUZOR VODNE TURBINE

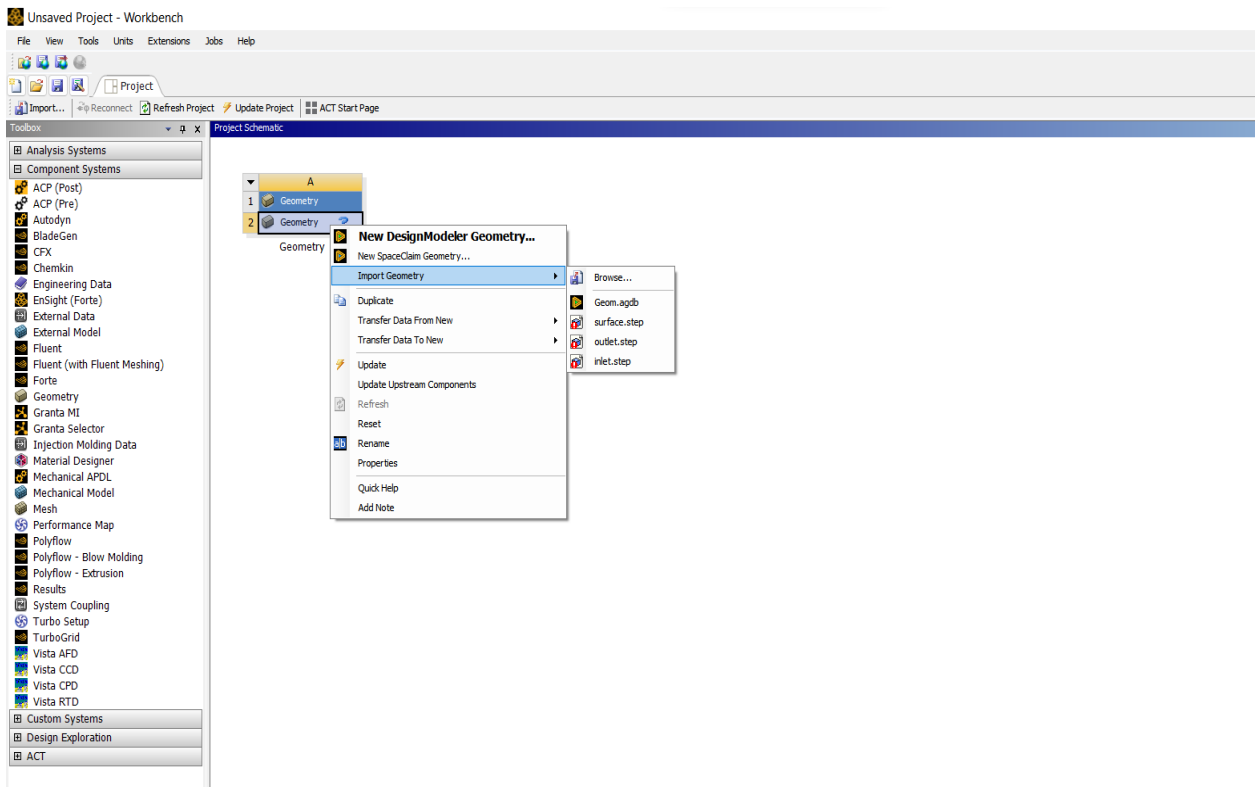
6.1. Geometrija

Prvi potreban korak za izradu završnog rada u Ansys Fluentu je učitavanje dokumenta s geometrijom difuzora. Otvorimo „Ansys Workbench”, slika 6.1. Datoteka mora biti spremljena u obliku koji Ansys Fluent može čitati, a to je npr. geom.STEP.



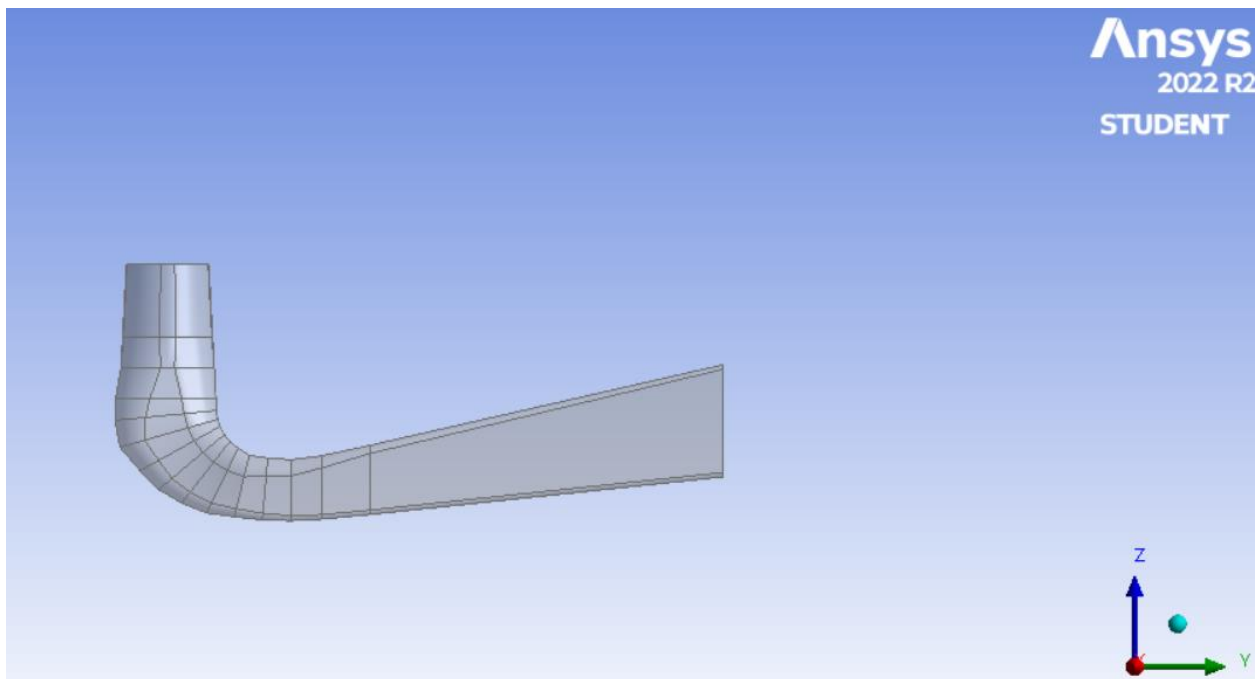
Slika 6.1. Sučelje Ansys Workbench-a

Zatim na lijevoj strani imamo popis raznih modula i simulacija te za ovaj rad odabiremo prvo „Geometry“, slika 6.2.



Slika 6.2. Odabir komponente Geometry

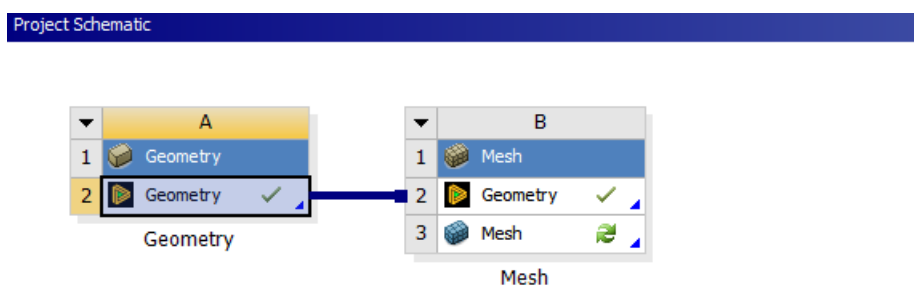
Klikom na „Import Geometry“ dolazimo do izbornika u kojem odabiremo .step datoteku, to je datoteka koju Ansys Fluent može čitati. Nakon što smo odabrali datoteku, kliknemo na „New DesignModeler Geometry“ te se otvara sučelje programa gdje generiramo difuzor pritiskom na ikonu žute munje „Generate“. Difuzor zatim rotiramo u položaj koji nam odgovara, slika 6.3. prikazuje nacrt geometrije difuzora.



Slika 6.3. Nacrt geometrije

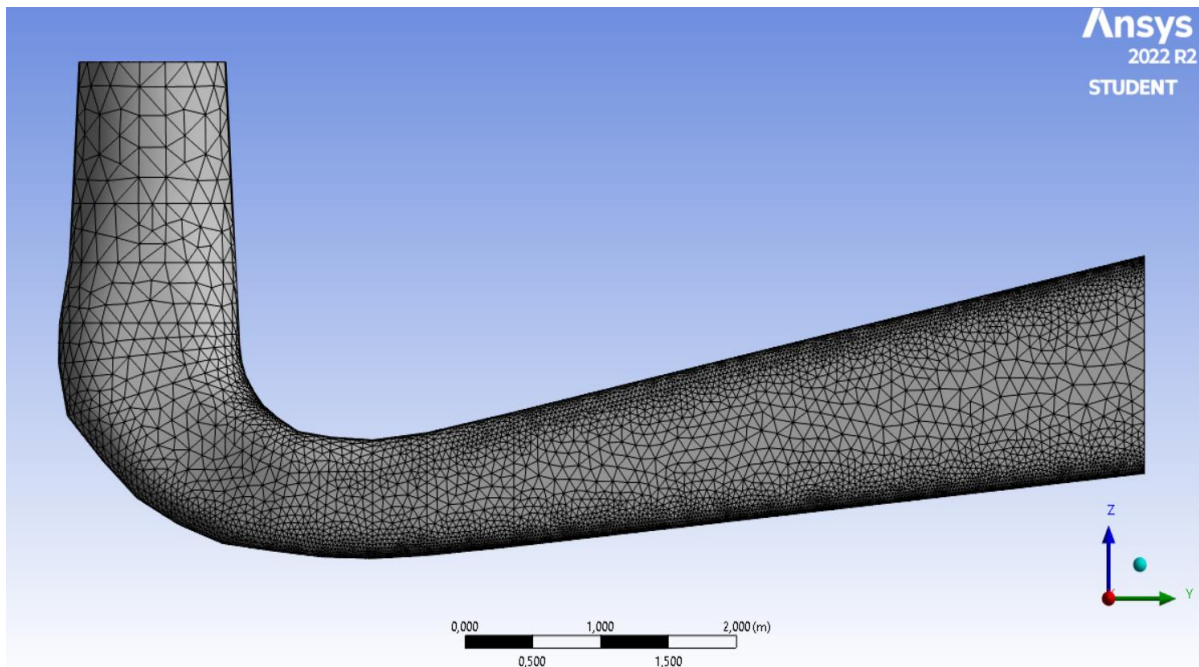
6.2. Izrada numeričke mreže

Nakon odabira geometrije u program, odabiremo funkciju „Mesh” te njome stvaramo numeričku mrežu. Komponentu „Mesh” povežemo s komponentom geometrije tako da lijevim klikom odaberemo „Geometry” te povučemo i spojimo na „Geometry” u komponenti „Mesh”. Duplim klikom na „Mesh” otvaramo sučelje. Slika 6.4. prikazuje spajanje komponente „Geometry” s komponentom „Mesh”.



Slika 6.4. Spajanje Geometry s Geometry komponente „Mesh”

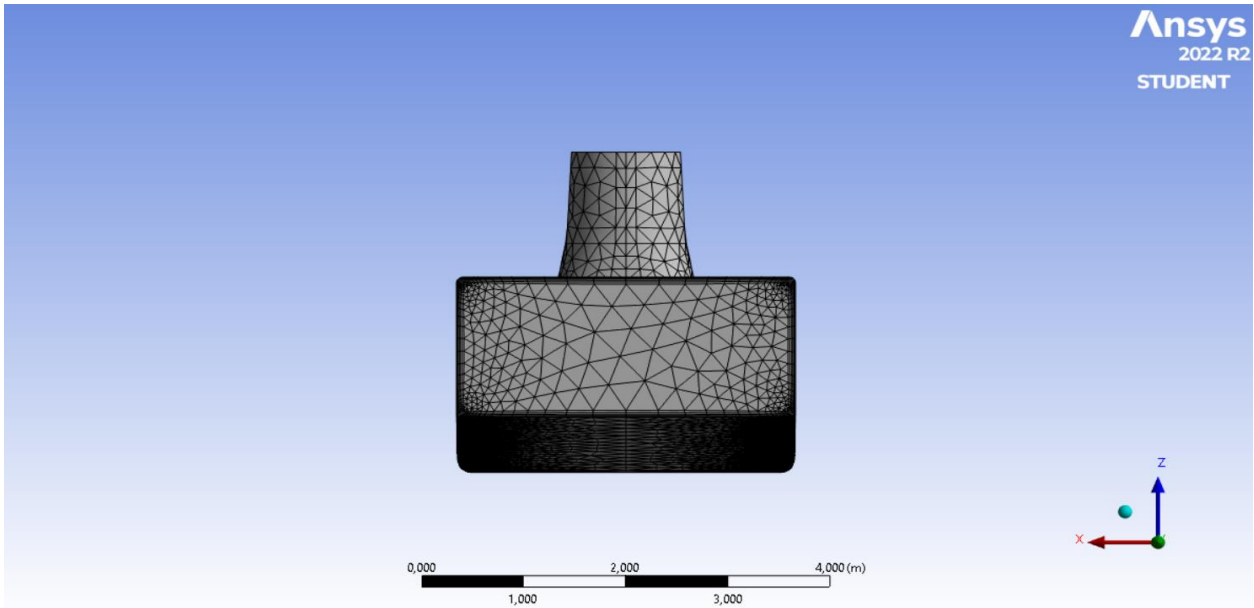
Prvi korak koji radimo da bi dobili preciznije rezultate je postavljanje preference CFD i preference Fluent. Nakon toga generiramo numeričku mrežu. Slika 6.5. prikazuje numeričku mrežu s CFD preferencom.



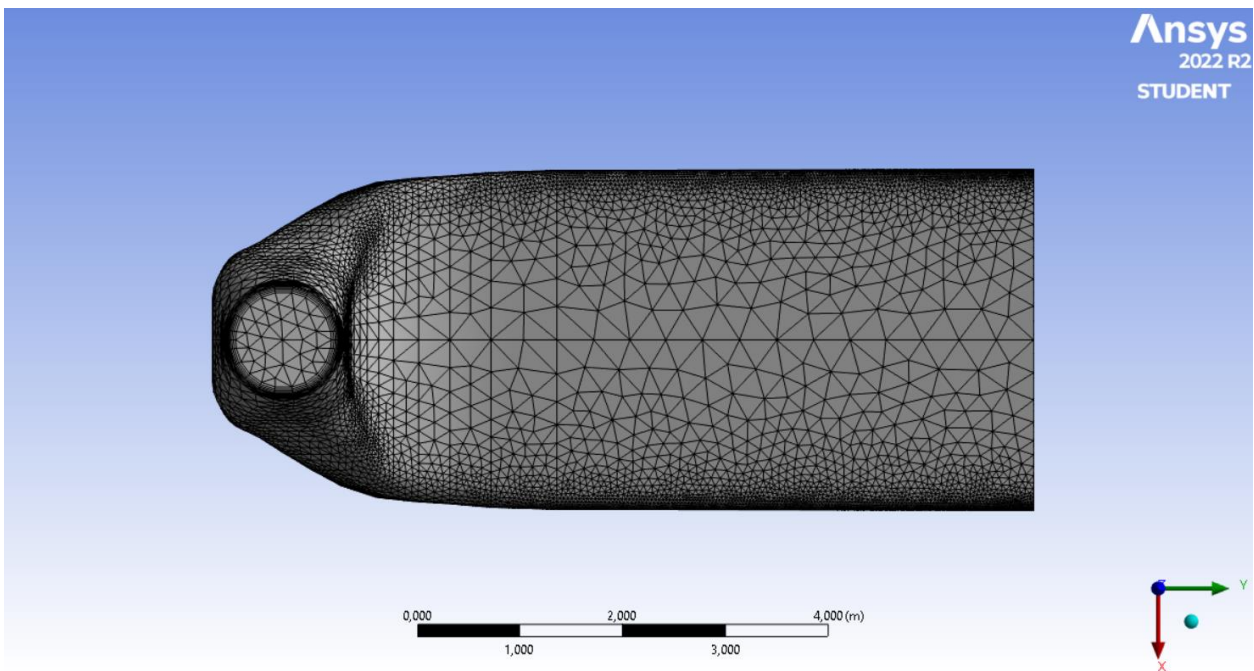
Slika 6.5. Nacrt geometrije s numeričkom mrežom

Generirana numerička mreža određuje preciznost te brzinu kojom dolazimo do rješenja. Generiranjem geometrijske mreže generiramo geometrijski prostor nekog tijela na sitnije dijelove. Što više čvorova i elemenata numeričke mreže imamo to je preciznost veća, proračun točniji. Osnovne dijelove difuzora kao ulaz (inlet), odnosno izlaz (outlet), označujemo radi lakšeg daljnjeg rada. Ti dijelovi su prikazani na slikama 6.6. i 6.7.

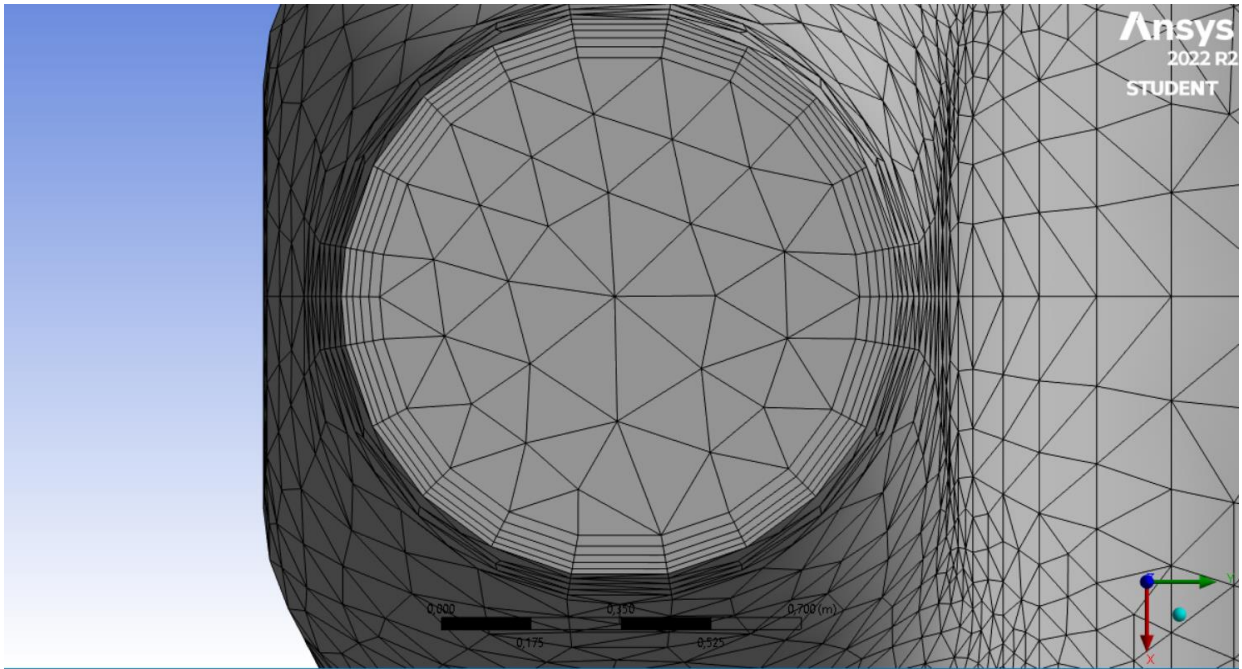
Nakon preference za CFD, dodajemo funkciju „Inflation“. Inflacijom se postiže slaganje elemenata u smjeru normale na graničnim dijelovima numeričke mreže, te koristimo i preferencu „First Layer Thickness“ gdje stavljamo debljinu slojeva 0,01 m zbog bolje simulacije.



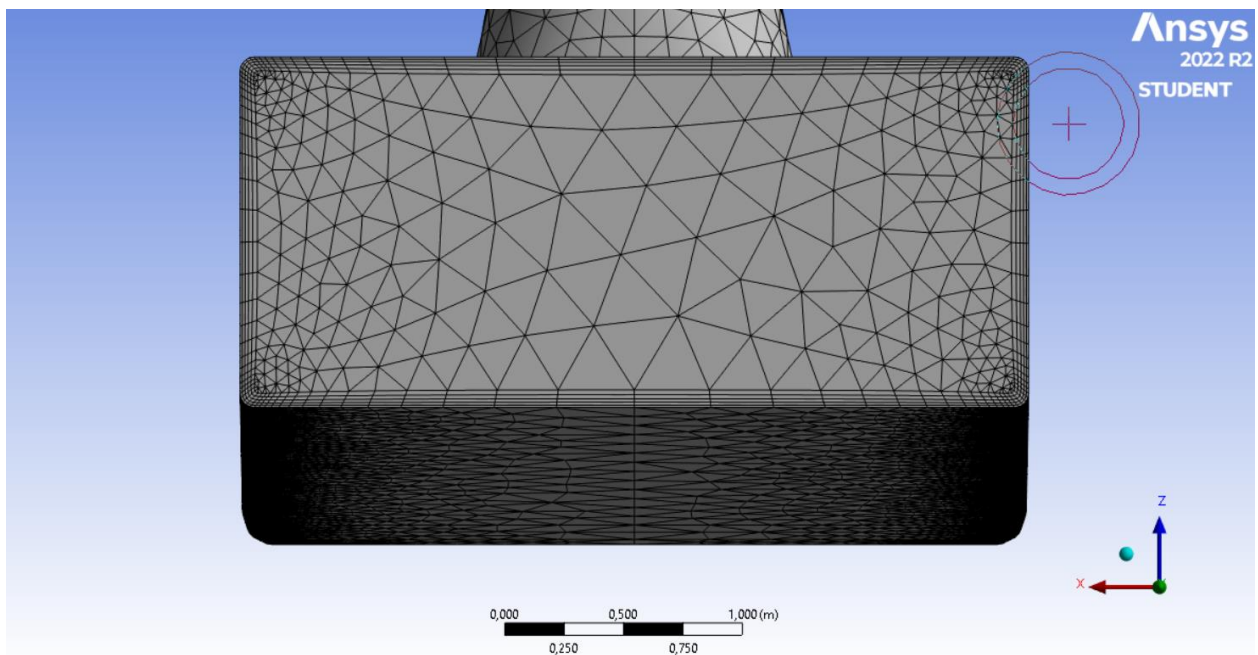
Slika 6.6. „Outlet”



Slika 6.7. „Inlet”



6.8. Detalj numeričke mreže na rubnom uvjetu „Inlet”

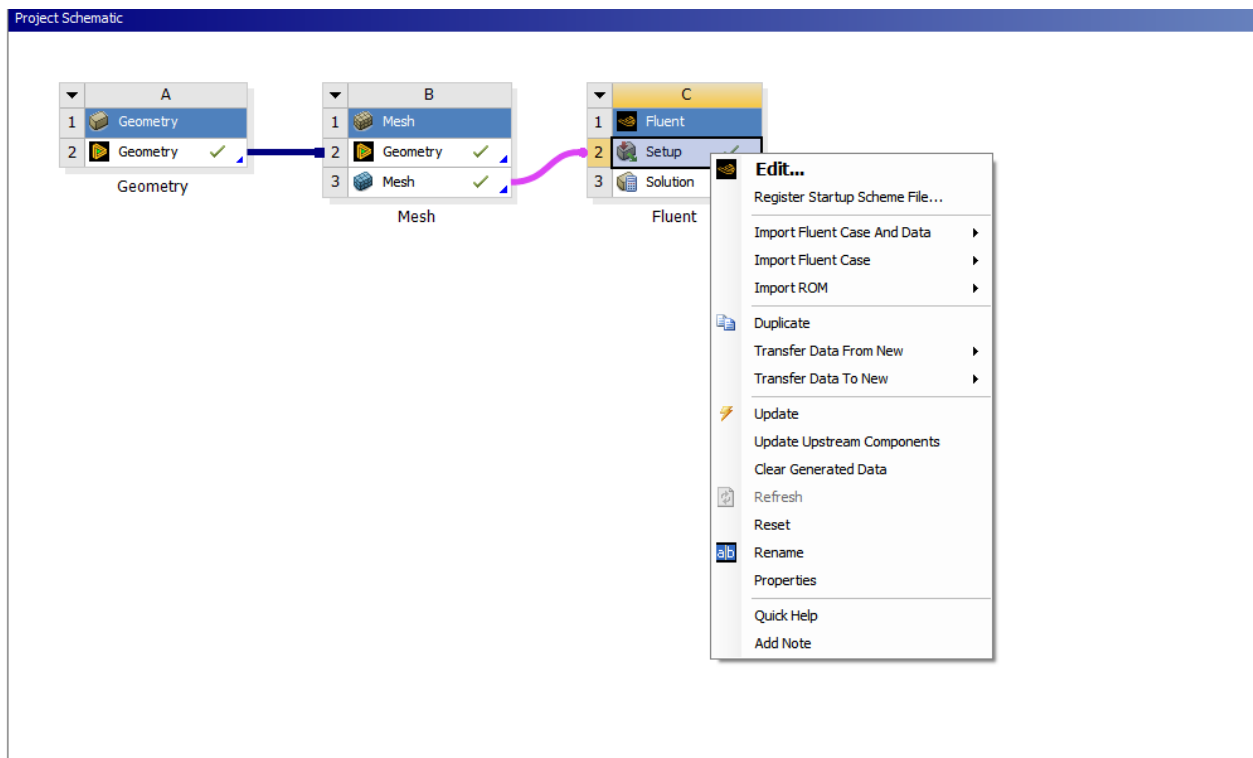


Slika 6.9. Detalj numeričke mreže na rubnom uvjetu „Outlet“

Slike 6.8. i 6.9. prikazuju detalje numeričke mreže na rubnim uvjetima „Inlet“ i „Outlet“, geometrijska mreža je na rubnim dijelovima tijela generirana na sitnije dijelove, s više čvorova i elemenata.

6.3. Postavke simulacije

Nakon kreiranja numeričke mreže zatvaramo prozor „Mesh” te u Workbenchu dodajemo novu komponentu „Fluent”. Povezujemo je s ostalim komponentama tako da klikom na ikonu mesh komponente „Mesh” mišem povučemo na ikonu setup u komponenti „Fluent”. Zatim ažuriramo cijeli projekt klikom na žutu munju, prikazano na slici 6.10.

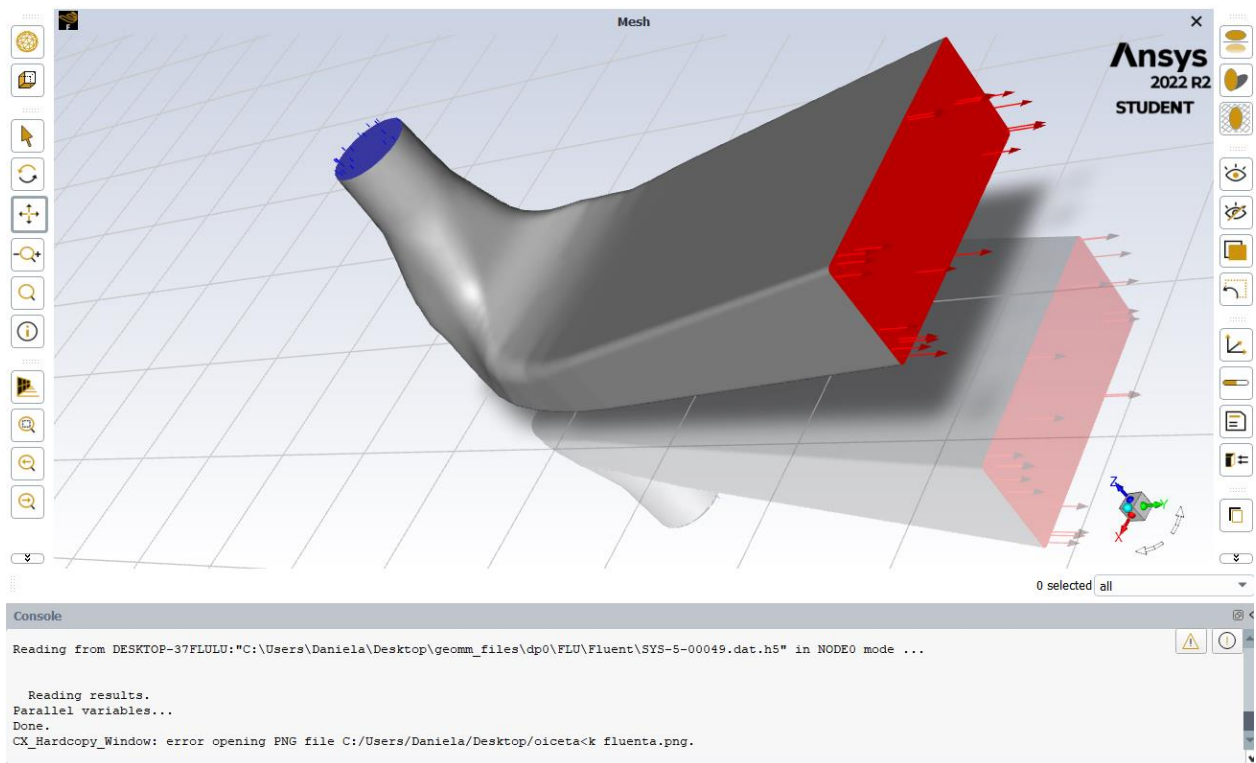


Slika 6.10. Spajanje komponente „Mesh“ s komponentom „Fluent“

Duplim klikom na setup pokrećemo Fluent, prije samog otvaranja u izborniku određujemo sve potrebne uvjete i opcije za simulaciju. Prvo odabiremo postavke duple preciznosti i grafički prikaz Mesha. Zatim treba odrediti dobar broj jezgri računalnog procesora da se ne bi pojavilo preopterećenje računala.

Otvaranjem programa s lijeve strane se nalazi njegova alatna traka, a s desne strane prozor s geometrijom difuzora, slika 6.11. Alatna traka nam nudi podjelu parametara u pet kategorija, a to su:

- Podešavanje – ovdje određujemo parametre geometrije: materijal, vrsta, ulazna brzina fluida, tlak na izlazu i granične uvjete
- Rješenje
- Rezultati
- Parametri i prilagodba
- Izvještaji simulacije



Slika 6.11. Geometrija difuzora u Fluentu

U kategoriji podešavanje, klikom na plus otvara se novi izbornik gdje klikom na viskozitet odabiremo postavku modela strujanja k-epsilon. K-epsilon označava turbulentni model strujanja, najčešće se koristi pri simulacijama srednjih protoka.

Zatim odabiremo vrstu strujanja fluida, program sam zadaje zrak kao vrstu fluida, a nama je za simulaciju strujanja kroz difuzor potrebna voda. Klikom na plus kod materijala odabiremo vrstu fluida, otvara se novi prozor te odabiremo tekuću vodu. Program automatski mijenja sve karakteristike za novi odabrani fluid.

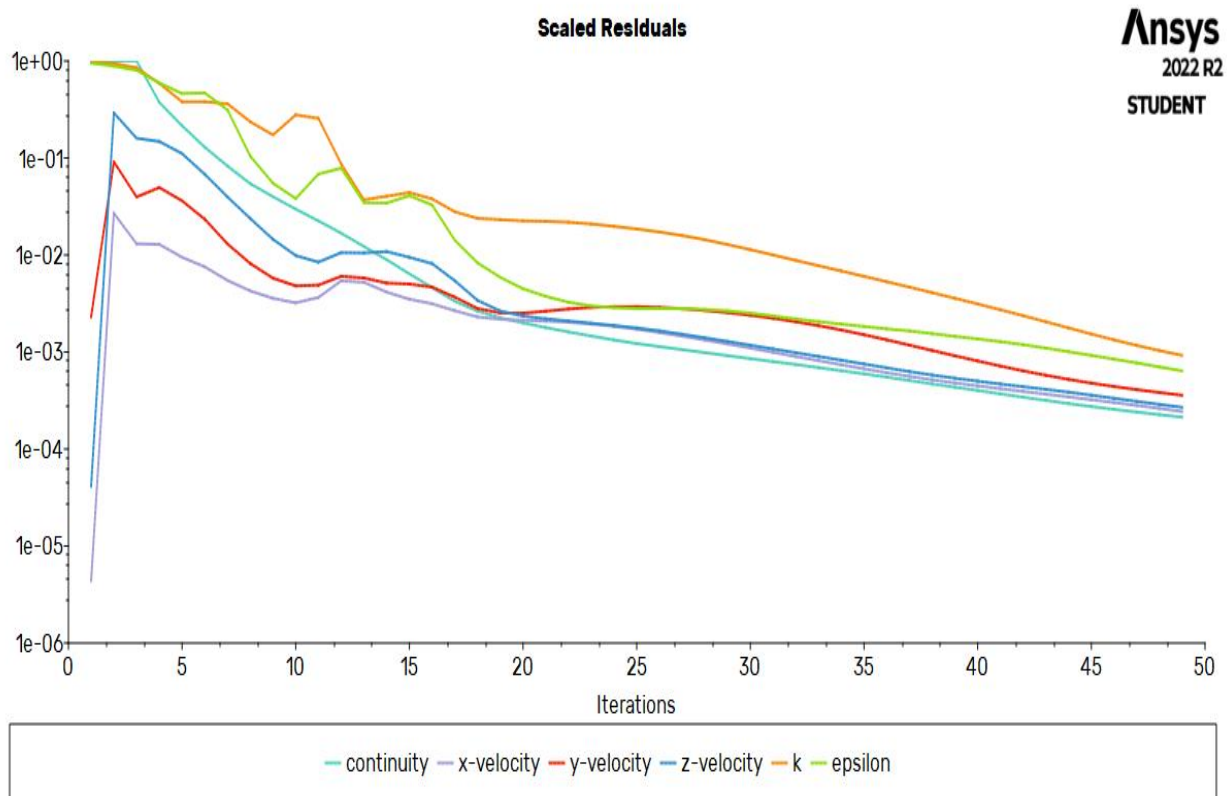
Sljedeće odabiremo parametre za rubne uvjete. U prozoru mesh smo odredili ulaz, izlaz te tijelo difuzora, a sada u Fluentu moramo za svaki dio posebno unijeti početne uvjete i zahtjeve radi pravilne izvedbe simulacije. Ulazni uvjet je definiran s protokom od $10 \text{ m}^3/\text{s}$ s rubnim uvjetom „mass flow inlet“.

Za rubni uvjet "Outlet" postavili smo "pressure outlet" gdje je definiran tlak na izlazu. Nakon uvjeta ulaza i izlaza difuzora podešavamo uvjete na stijenkama. S obzirom na to da se radi o površini krute stijenske, mijenjamo tip uvjeta u zid (eng. Wall), te u postavkama odabiremo postavku „No Slip“, pri čemu se definira da je brzina uz taj zid jednaka nuli.

Da bi rezultat simulacije (grafički prikaz) što kvalitetnije prikazao realno stanje dodajemo 4 ravnine koje će presjeći difuzor. Na dobivenim presjecima uočiti će se razina tlaka te brzina strujanja kroz difuzor. Zatim vršimo pokretanje inicijalizacije, te upisujemo broj iteracija, odabrali smo 200 i na kraju pokrećemo samo računanje.

7. REZULTATI

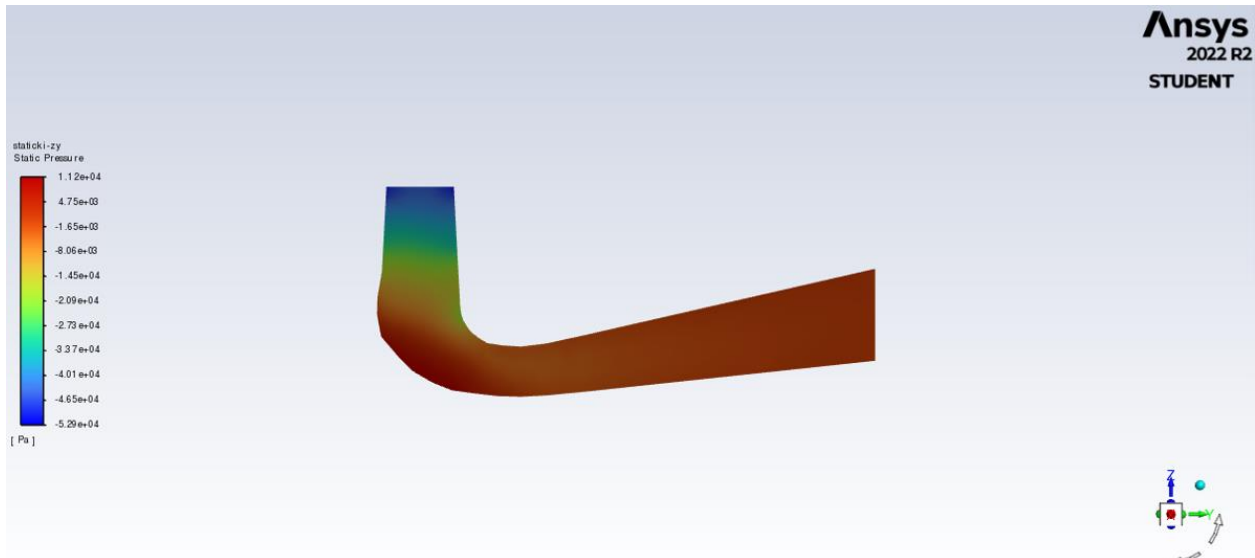
Po završetku izračuna (eng.Calculate), program prestaje s radom te prikazuje graf konvergencije, (Slika 7.1.)



Slika 7.1.. Graf konvergencije

Iz grafa je vidljivo da je rješenje konvergiralo što znači da su residuali, koji predstavljaju razliku između promatranih i predviđenih vrijednosti zadovoljili kriterij koji je programski postavljen prilikom unosa parametara simulacije.

Dobili smo rezultate statičkog tlaka pomoću simulacije, slika 7.2.. prikazuje konture statičkog tlaka u ravnini YZ, gdje se statički tlak strujanjem fluida kroz difuzor povećava. Na slici 7.3. su prikazane konture statičkog tlaka s određenim presjecima.

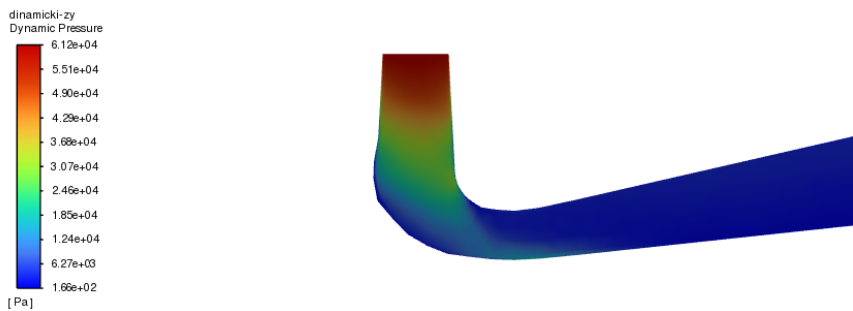


Slika 7.2. Konture statičkog tlaka u YZ ravnini

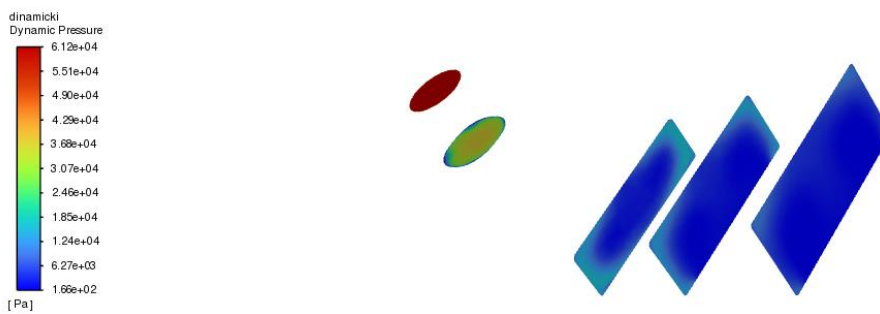


Slika 7.3. Konture statičkog tlaka po presjecima

Zatim na slikama 7.4. i 7.5. prikazani su rezultati dinamičkog tlaka dobiveni iz simulacije. Slika 7.4. prikazuje konture dinamičkog tlaka u YZ ravnini, a slika 7.5. prikazuje konture dinamičkog tlaka po presjecima, primjećujemo da dinamički tlak ima najveći iznos na ulazu u difuzor te se strujanjem kroz difuzor prema izlazu dinamički tlak smanjuje.

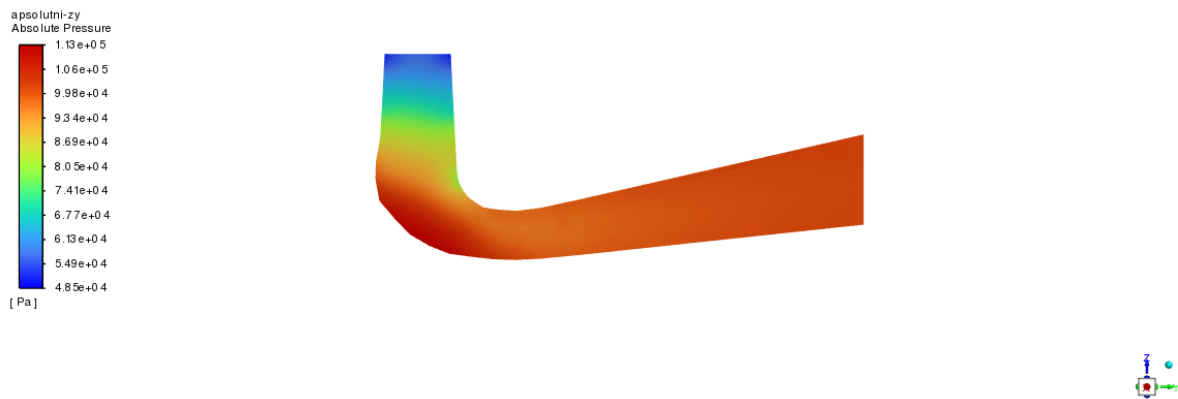


Slika 7.4. Konture dinamičkog tlaka u YZ ravnini



Slika 7.5. Kontura dinamičkog tlaka po presjecima

Na sljedećim slikama prikazan je rezultat apsolutnog tlaka dobiven simulacijom. Slika 7.6. prikazuje konture apsolutnog tlaka u YZ ravnini, a slika 7.7. konture apsolutnog tlaka po presjecima. Iz slika se može primijetiti kako se apsolutni, ukupni tlak ponaša slično kao i statički tlak. Na ulazu u difuzor ukupni tlak ima najmanje vrijednosti, a ta vrijednost ukupnog tlaka se povećava prolaskom fluida prema izlazu iz difuzora.

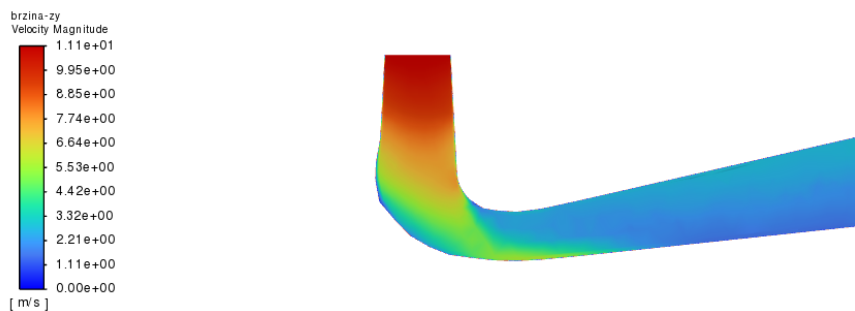


Slika 7.6. Konture apsolutnog tlaka u YZ ravnini

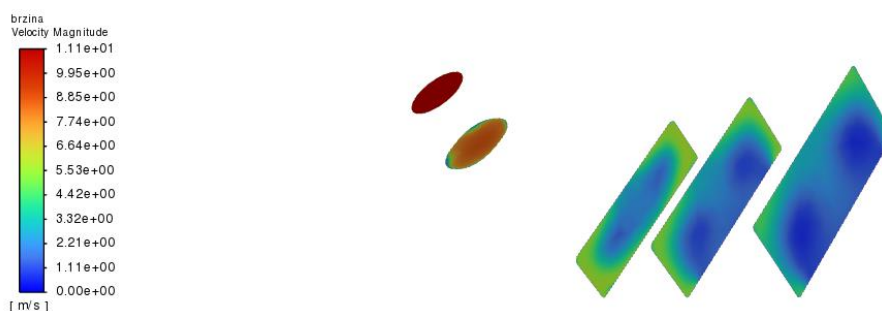


Slika 7.7. Konture apsolutnog tlaka po presjecima

Također simulacijom dobivamo i rezultate brzina fluida, slika 7.8. prikazuje konture brzina u YZ ravnini, slika 7.9. konture brzina u određenim presjecima. Vidljivo je kako je brzina najveća na ulazu u difuzor, te se brzina smanjuje s kretanjem fluida prema izlazu iz difuzora.

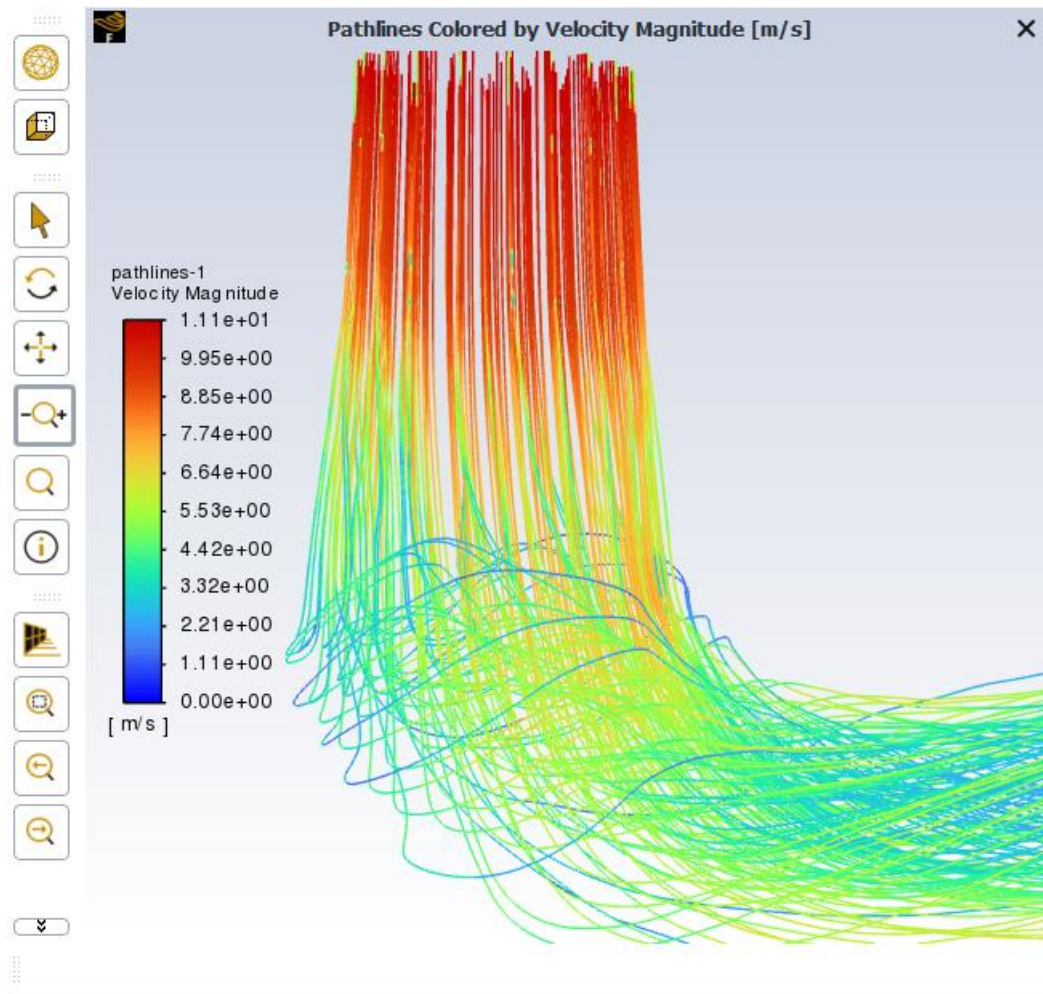


Slika 7.8. Konture brzina u YZ ravnini

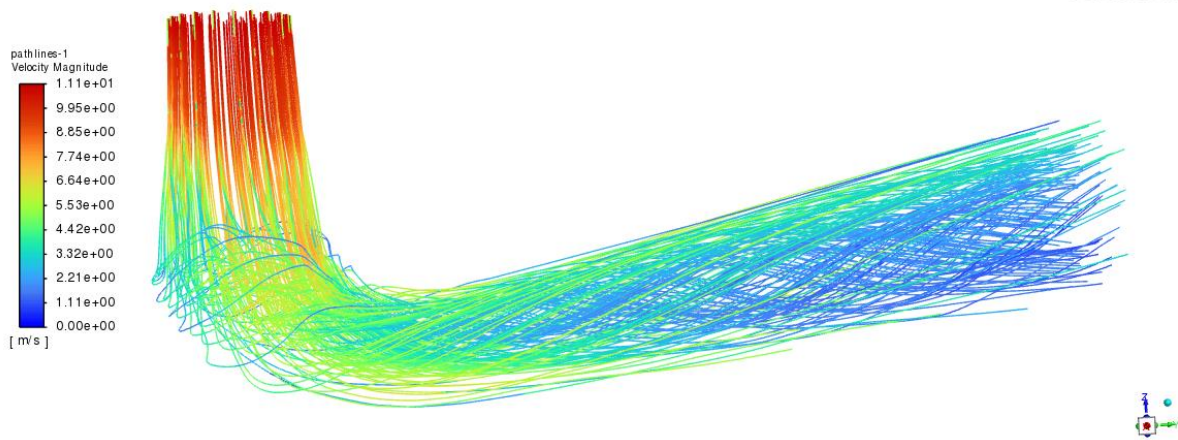


Slika 7.9. Konture brzina po presjecima

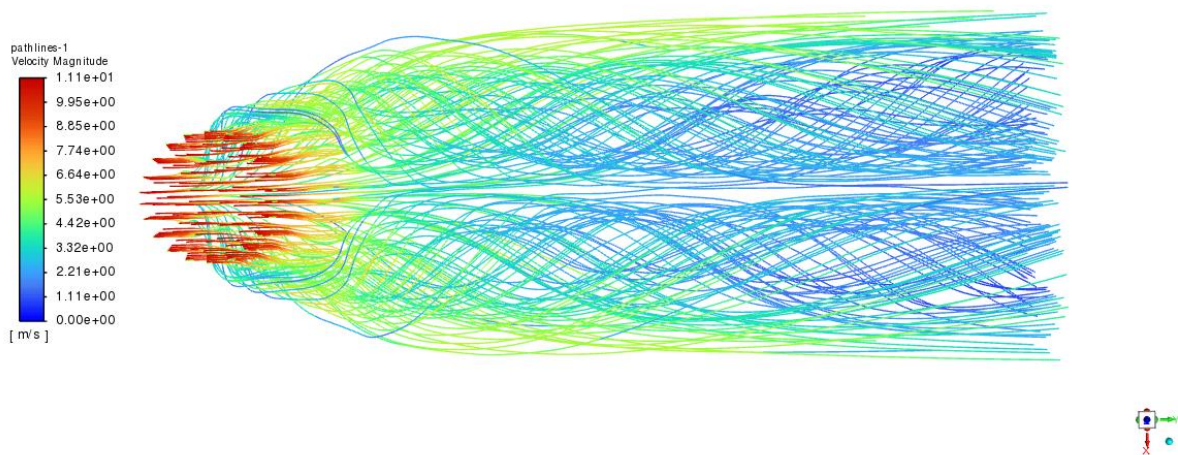
Na zadnjim slikama prikazane su brzine strujanja fluida kroz difuzor pomoću strujnica, one opisuju protok vode. Vidljivo je da se brzina strujanja smanjuje prema izlazu iz difuzora. Pomoću strujnica vidimo da se stvaraju recirkulacijske zone unutar difuzora i također primijetimo vrtloženje vode pri prolazu kroz difuzor, slika 7.10. Slike 7.11., 7.12. i 7.13. prikazuju nacrt, tlocrt i bokocrt geometrije sa strujnicama.



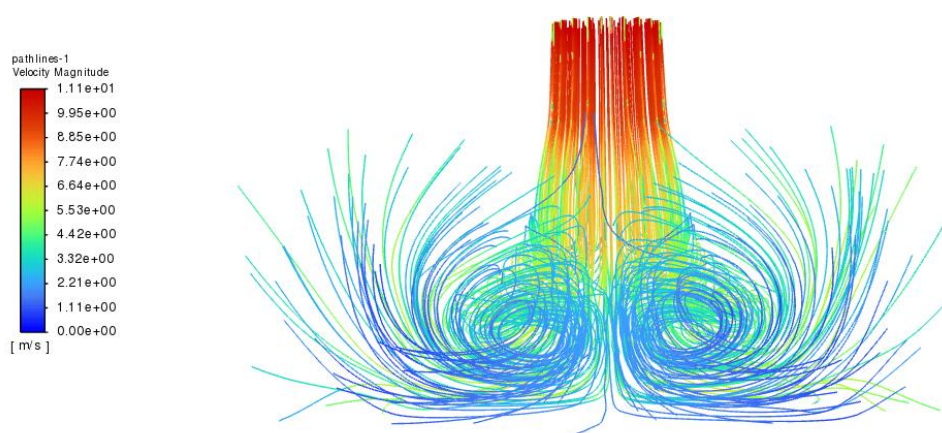
7.10. Uvećan prikaz vrtloženja vode pri prolasku kroz difuzor



7.11. *Nacrt geometrije sa strujnicama brzina*



7.12. *Tlocrt geometrije sa strujnicama brzina*



7.13. Bokocrt geometrije sa strujnicama brzina

8. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog završnog rada bio je analiza strujanja fluida kroz difuzor vodne turbine. U prvom dijelu rada napravio se teoretski pregled turbina te su se opisale vrste i navedene su njihove razlike. Zatim se vrši teoretski pregled difuzora, navedene su vrste i princip rada. U zadnjem dijelu opisuje se korišten program za ovaj završni rad, Ansys Fluent. Definirani program omogućuje nam izradu simulacije i provjeru teoretskog dijela. Simulacija nam je omogućila prikaz raspodjele tlakova te brzina strujanja fluida. Statički i apsolutni tlakovi rastu prema izlazu iz difuzora, a dinamički ovisi o brzini fluida. Kod velikih brzina fluida dinamički tlak također ima veliku vrijednost, te kod manjih brzina strujanja fluida dinamički tlak pada s vrijednostima. Brzina strujanja fluida kroz difuzor opisana je strujnicama, te je vidljivo kretanje i vrtloženje struja fluida. Strujnicama također vidimo da se pojavljuje smanjenje brzine strujanja fluida prema izlazu iz difuzora. Sa svim podacima određujemo efikasnost rada vodne turbine, ako nam dobiveni rezultati nisu prihvatljivi, vrlo brzo i jednostavno možemo prilagoditi geometriju.

9. LITERATURA

- [1] S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Turbina#Vrste_turbina, 23. kolovoz 2022.
- [2] S interneta, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana>, 23. kolovoz 2022.
- [3] S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Turbina#Vrste_turbina, 23. kolovoz 2022.
- [4] S interneta, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/7_KVS_turbine%5B2%5D.pdf, 24. kolovoz 2022.
- [5] S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turbina, 24. kolovoz 2022.
- [6] S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Francisova_turbina, 24. kolovoz 2022.
- [7] S interneta, <https://www.can-electro.com/arhivedove-hidrodynamicne-puzne-tur>, 24. kolovoz 2022.
- [8] S interneta, <https://www.can-electro.com/arhivedove-hidrodynamicne-puzne-tur>, 24. kolovoz 2022.
- [9] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turbina#/media/Datoteka:Pelton_wheel_\(patent\).png](https://hr.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turbina#/media/Datoteka:Pelton_wheel_(patent).png), 28. kolovoz, 2022.
- [10] S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turbina, 28. kolovoz, 2022.
- [11] S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Turbina_s_kri%C5%BEnim_protokom, 28. kolovoz, 2022.
- [12] S interneta, https://www.researchgate.net/figure/Figura-10-Turbina-Turgo-Comparacion-SolidWorks-y-maquina-real_fig3_328108201, 28. kolovoz, 2022.
- [14] S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Jonvalova_turbina#/media/Datoteka:Schiffbau_jonval2.jpg, 28. kolovoz, 2022.
- [15] S interneta, https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/8_predavanje_Energetika_UE_prema_pred_u_Power_pointu_hidroenergetska_postrojenja.pdf, 1. rujan, 2022.
- [16] S interneta, https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/turbina_vodna.pdf, 1. rujan, 2022.
- [17] S interneta, https://moodle.srce.hr/2021-2022/pluginfile.php/5912434/mod_resource/content/1/1.mp4, 13. rujan, 2022.

10. POPIS OZNAKA I KRATICA

p_2 - tlak na ulaznom presjeku difuzora [Pa]

p_{atm} - atmosferski tlak [Pa]

H_s - visina postavljanja turbine [m]

$h_{\text{gub,dif}}$ – gubitak pada vode [m]

v_2 - brzina na ulaznom presjeku difuzora [m/s]

v_3 - brzina na izlaznom presjeku difuzora [m/s]

α_2 - faktor korekcije brzine na ulaznom presjeku difuzora

α_3 - faktor korekcije brzine na izlaznom presjeku difuzora

ρ - gustoća vode [kg/m³]

g - ubrzanje sile teže [m/s²]

Q - protok [m³/s]

η - stupanj iskoristivosti [%]

h - visina izlaza u odnosu na ulaz [m]

d - promjer kruga [m]

p - hidrostatski tlak [Pa]

11. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Vodna turbina	2
Slika 3.1. Shema hidroelektrane.....	3
Slika 3.2. Razlika akcijskih i reakcijskih turbina.....	4
Slika 3.3. Dijagram područja korištenja vodnih turbina.....	5
Slika 3.4. Kaplanova turbina	6
Slika 3.5. Francis-ova turbina spojena na električni generator.....	7
Slika 3.6. Arhimedov puž	8
Slika 3.7. Smjer protjecanja vode.....	8
Slika 3.8. Slika iz originalnog Peltonovog patenta	10
Slika 3.9. Montaža višerotorske Peltonove turbine.....	11
Slika 3.10. Turbina s križnim protokom.....	12
Slika 3.11. Turgo turbina	12
Slika 3.12. Teslina turbina	13
Slika 3.13. Jonvalova turbina	14
Slika 4.1. Presjek strujnog kanala s difuzora	15
Slika 4.2. a) ravni i savnuti konični difuzor, b) difuzor s koljenom, c) obični prošireni difuzor i Moody-ev difuzor	18
Slika 5.1. Strujanje fluida oko propelera i oko broda	19
Slika 6.1. Sučelje Ansys Workbench-a	21
Slika 6.2. Odabir komponente Geometry	22
Slika 6.3. Nacrt geometrije	23
Slika 6.4. Spajanje Geometry s Geometry komponente „Mesh“	23
Slika 6.5. Nacrt geometrije s numeričkom mrežom	24
Slika 6.6. „Outlet“	25
Slika 6.7. „Inlet“	25
Slika 6.8. Detalj numeričke mreže na rubnom uvjetu „Inlet“	26
Slika 6.9. Detalj numeričke mreže na rubnom uvjetu „Outlet“	26
Slika 6.10. Spajanje komponente „Mesh“ s komponentom „Fluent“	27
Slika 6.11. Geometrija difuzora u Fluentu	28
Slika 7.1. Graf konvergencije	30
Slika 7.2. Konture statičkog tlaka u YZ ravnini	31
Slika 7.3. Konture statičkog tlaka po presjecima	31

Slika 7.4. Konture dinamičkog tlaka u YZ ravnini	32
Slika 7.5. Kontura dinamičkog tlaka po presjecima	32
Slika 7.6. Konture apsolutnog tlaka u YZ ravnini.....	33
Slika 7.7. Konture apsolutnog tlaka po presjecima	33
Slika 7.8. Konture brzina u YZ ravnini	34
Slika 7.9. Konture brzina po presjecima.....	34
Slika 7.10. Uvećan prikaz vrtloženja vode pri prolasku kroz difuzor	35
Slika 7.11. Nacrt geometrije sa strujnicama brzina	36
Slika 7.12. Tlocrt geometrije sa strujnicama brzina	36
Slika 7.13. Bokocrt geometrije sa strujnicama brzina	37

12. SAŽETAK

U ovom završnom radu opisane su vodne turbine, navedena je njihova podjela. Definiran je difuzor i objašnjen je njegov princip rada. U završnom dijelu opisan je program Ansys Fluent, u kojem je učitavanjem zadane geometrije, kreiranjem numeričke mreže, unašanjem parametara i uvjeta izrađena simulacija strujanja fluida prema zadanoj geometriji difuzora. Rezultati simulacije na kraju su grafički prikazani.

Ključne riječi. Hidroenergija, vodne turbine, difuzor, Ansys Fluent

13. ABSTRACT

In this final paper, the water turbines are described and their division is indicated. Furthermore, the diffuser is defined and its working principle is explained in detail. In the final part of the thesis, the Ansys Fluent program is presented. A simulation of fluid flow, which is specified by the given geometry of the diffuser, was created in the program by loading the given geometry, creating a numerical network and entering parameters and conditions.

Keywords: hydropower, water turbines, diffuser, Ansys Fluent