

# KONSTRUKCIJA TURBINE S RADIJALNIM ULAZOM RADNOG FLUIDA ZA POTREBE GEOTERMALNE ELEKTRANE

---

Đuretković, Mislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac  
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:732786>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied  
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

STROJARSKI ODJEL

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

MISLAV ĐURETKOVIĆ

**KONSTRUKCIJA TURBINE S RADIJALNIM  
ULAZOM RADNOG FLUIDA ZA POTREBE  
GEOTERMALNE ELEKTRANE**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2021.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

STROJARSKI ODJEL

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

MISLAV ĐURETKOVIĆ

**KONSTRUKCIJA TURBINE S RADIJALNIM  
ULAZOM RADNOG FLUIDA ZA POTREBE  
GEOTERMALNE ELEKTRANE**

ZAVRŠNI RAD

dr. sc. Nenad Mustapić, prof. v. š.

KARLOVAC, 2021.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Klasa:  
602-11/ \_\_-01/ \_\_

Ur.broj:  
2133-61-04- \_\_-01

Datum:

## ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime	Mislav Đuretковиć	
OIB / JMBG		
Adresa		
Tel. / Mob./e-mail		
Matični broj studenta		
JMBAG		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input type="checkbox"/> preddiplomski	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski
Naziv studija	Stručni studij strojarstva	
Godina upisa	2016.	
Datum podnošenja molbe		
Vlastoručni potpis studenta/studentice		

Naslov teme na hrvatskom:

**KONSTRUKCIJA TURBINE S RADIJALNIM ULAZOM RADNOG FLUIDA ZA POTREBE GEOTERMALNE ELEKTRANE**

Naslov teme na engleskom:

**DESIGN OF RADIAL INFLOW TURBINE FOR GEOTHERMAL POWER PLANT**

Opis zadatka:

Zadatak završnog rada je konstrukcija (preliminarni dizajn) turbine s radijalnim ulazom radnog fluida (u daljnjem tekstu radijalna turbina) za potrebe geotermalne elektrane. Pretpostavka je da geotermalna elektrana radi na geotermalnom polju Rečica kod Karlovca. Tehničke karakteristike geotermalnog polja su: temperatura i tlak geofluida iznose 120°C i 20 bara, dok je maseni protok 94,38 kg/s.

Potrebno je opisati i verificirati matematički model za preliminarni dizajn radijalne turbine (VUKA model), te ga uključiti u model geotermalne elektrane.

Geotermalna elektrana je izvedena kao osnovna konfiguracija Rankine-ovog ciklusa sa organskim fluidom (u daljnjem tekstu ORC). Problem riješiti upotrebom programskog paket EES (Engineering Equation Solver), čiji je sastavni dio paket za optimiranje koji koristi genetski algoritam. Konstrukcija radijalne turbine zadovoljava maksimalnu vrijednost funkcije cilja. Optimiranje provesti za dvije funkcije cilja: eksergetski stupanj korisnosti postrojenja i neto dobivena snaga postrojenja. Pretpostaviti da je kondenzator hlađen zrakom, a da je temperatura kondenzacije 30°C, dok je vrijednost minimalne temperaturne razlike (pinch point) kondenzatora 5°C. Proračune provesti za naredne radne fluide: R32, R134a, R143a, R290, R1234yf i propilen. Zadane su neredne radne karakteristike ORC ciklusa: tlak radnog fluida je veći i manji od kritičnog (podkritični ili nadkritični ORC), vrijednost minimalne temperaturne razlike između geofluida i radnog fluida iznosi 5°C i 10°C. Radijalna turbina je jednostepena, te radi s 3000o/min, ili ima proizvoljni broj okretaja. Potrebno je provesti detaljnu analizu dobivenih rezultata, te definirati odgovarajuće zaključke.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:



## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno koristeći znanje i vještine stečene tijekom studija te navedenu stručnu literaturu. Zahvaljujem mentoru dr. sc. Nenadu Mustapiću na pomoći i savjetima prilikom izrade završnog rada.

Karlovac, \_\_\_\_\_

Potpis: \_\_\_\_\_

## SAŽETAK

U ovom završnom radu definirao se matematički model za preliminarnu konstrukciju turbine s radijalnim ulazom radnog fluida (u daljnjem tekstu radijalna turbina) za potrebe geotermalne elektrane. Geotermalna elektrane je izvedena kao osnovni Rankine-ov ciklus s organskim fluidom (u daljnjem tekstu ORC). Zatim je model radijalne turbine uključen u model ORC-a te je provedena optimizacija parametara ciklusa i turbine genetskim algoritmom. Optimizacija je provedena za 6 odabranih radnih fluida te za 6 kombinacija parametara. Za funkcije cilja optimizacije odabrani su eksergetski stupanj korisnosti postrojenja i neto dobivena snaga postrojenja. Svi proračuni i optimiranje provedeni su u programskom paketu EES (Engineering Equation Solver). Analizom dobivenih rezultata određena je optimalna konstrukcija turbine te optimalni parametri ORC-a za dano postrojenje.

Ključne riječi: turbina sa radijalnim ulazom radnog fluida, preliminarna konstrukcija, organski Rankine-ov ciklus, optimizacija.

## **SUMMARY**

In this undergraduate thesis, a mathematical model for preliminary design of a radial inflow turbine (RIT) for a geothermal power plant is defined. The power plant is based on a simple organic Rankine cycle (ORC). The model of the RIT is integrated with the mathematical model of the ORC. After that, optimization of the RIT and ORC parameters was conducted using the genetic algorithm technique. Optimization was conducted for 6 working fluids and 6 different combinations of parameters. Objective functions of the optimization are the exergetic efficiency of the power plant and the net generated power. All the calculations and the optimization were done in EES (Engineering Equation Solver) software. Results analysis determines the optimal RIT construction and parameters of the ORC for the considered power plant.

Key words: radial inflow turbine, preliminary design, organic Rankine cycle, optimization.

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	
POPIS TABLICA.....	
POPIS OZNAKA.....	
1. UVOD .....	1
2. TEORETSKE OSNOVE.....	4
2.1. Osnovna konstrukcija turbine s radijalnim ulazom radnog fluida.....	4
2.2. Matematički model preliminarnog proračuna radijalne turbine.....	7
2.2.1. Matematički model rotora.....	8
1.1.1.1. Modeliranje ulaza u rotor.....	9
1.1.1.2. Modeliranje izlaza iz rotora .....	12
2.2.2. Matematički model statora (mlaznica).....	15
2.2.3. Matematički model ulaznog kanala.....	21
2.2.4. Matematički model difuzora .....	22
2.3. Matematički model gubitaka u radijalnoj turbini .....	24
2.3.1. Gubici u rotoru .....	24
2.3.1.1. Gubitak ulaznog kuta .....	24
2.3.1.2. Gubitak u rotorskim lopaticama.....	24
2.3.1.3. Gubitak zbog zazora .....	25
2.3.1.4. Gubitak trenja diska .....	26
2.3.1.5. Gubitak izlaznog ruba .....	26
2.3.1.6. Gubitak izlazne kinetičke energije.....	27
2.3.1.7. Ukupni gubitak u rotoru.....	27
2.3.2. Gubitak u statorskim lopaticama.....	27
2.3.3. Gubitak u ulaznom kanalu.....	27

2.3.4.	Ukupni gubitak u turbini .....	27
2.4.	Ograničenja konstrukcije .....	28
2.4.1.	Elastično naprezanje u rotoru .....	28
2.4.2.	Vibracije .....	28
2.4.3.	Geometrijska ograničenja.....	29
3.	POSTAVKA ZADATKA .....	30
4.	RAZRADA ZADATKA I ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA .....	32
4.1.	Usporedba matematičkog modela radijalne turbine s rezultatima objavljenim u stručnoj literaturi .....	32
4.1.1.	Usporedba VUKA modela s stručnom literaturom [7] .....	32
4.1.2.	Usporedba VUKA modela s stručnom literaturom [29] .....	36
4.2.	Optimiranje parametara ORC ciklusa s radijalnom turbinom .....	37
4.3.	Analiza rezultata .....	40
5.	ZAKLJUČAK .....	53
	LITERATURA.....	54
	PRILOZI.....	57
1.	Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R1234yf.....	57
2.	Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R290 .....	75
3.	Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R143a .....	87
4.	Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R134a .....	104
5.	Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R32 .....	116
6.	Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za propilen .....	128

## POPIS SLIKA

Slika 1: Izvedbe ORC ciklusa i njegovih komponenti .....	1
Slika 2: Shema geotermalne elektrane sa jednostavnim podkritičnim ORC ciklusom .....	2
Slika 3: Osnovni ORC ciklus s nadkritičnim tlakom .....	3
Slika 4: Presjek radijalne turbine [1] .....	4
Slika 5: Radijalna turbina [1] .....	4
Slika 6: Meridijonalni presjek rotora .....	5
Slika 7: h-s dijagram ekspanzije u turbini .....	6
Slika 8: Shema preliminarnog proračuna turbine .....	7
Slika 9: Korelacije vrijednosti omjera brzina $v_s$ , stupnja korisnosti $\eta_{ts}$ i specifične brzine $N_s$ .....	8
Slika 10: Trokut brzina na ulazu (a) i izlazu (b) iz rotora [4] .....	10
Slika 11: Shema algoritma za modeliranje rotora .....	14
Slika 12: Statorske lopatice [7] .....	15
Slika 13: Profil statorske lopatice [1] .....	17
Slika 14: Shema algoritma za modeliranje statora .....	20
Slika 15: Geometrija ulaznog kanala [4] .....	21
Slika 16: Skica bitnih geometrijskih veličina difuzora [1] .....	22
Slika 17: T-s dijagram osnovnog podkritičnog ciklusa .....	38
Slika 18: Dopušteno područje ulaznih tlakova i temperatura turbine za R1234yf .....	39
Slika 19: Dijagram za rezultate optimiranja; funkcija cilja $\eta_{plant,ex}$ .....	42
Slika 20: Dijagram za rezultate optimiranja, funkcija cilja $W_{net}$ .....	43
Slika 21: Tablični prikaz usporedbe gabarita rotora, funkcija cilja $\eta_{plant,ex}$ , $N \neq 3000$ , podkritično .....	44
Slika 22: Tablični prikaz usporedbe gabarita rotora, funkcija cilja $\eta_{plant,ex}$ , $N = 3000$ , podkritično .....	45
Slika 23: Tablični prikaz usporedbe gabarita rotora, funkcija cilja $W_{net}$ , $N \neq 3000$ , podkritično .....	46
Slika 24: Tablični prikaz usporedbe gabarita rotora, funkcija cilja $W_{net}$ , $N = 3000$ , podkritično .....	47
Slika 25: Tablični prikaz usporedbe gabarita rotora za nadkritični slučaj .....	48
Slika 26: T-s dijagram za rezultate optimiranja iz tablice 8 .....	50
Slika 27: Rotor: pogled 1 .....	51
Slika 28: Rotor: pogled 2 .....	51
Slika 29: Rotor: pogled 3 .....	52
Slika 30: T-s dijagram za rezultate iz tablice 10 .....	57

Slika 31: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 12 .....	59
Slika 32: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 14 .....	60
Slika 33: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 16 .....	62
Slika 34: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 18 .....	63
Slika 35: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 20 .....	65
Slika 36: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 22 .....	66
Slika 37: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 24 .....	68
Slika 38: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 26 .....	69
Slika 39: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 28 .....	71
Slika 40: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 30 .....	72
Slika 41: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 32 .....	74
Slika 42: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 34 .....	75
Slika 43: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 36 .....	77
Slika 44: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 38 .....	78
Slika 45: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 40 .....	80
Slika 46: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 42 .....	81
Slika 47: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 44 .....	83
Slika 48: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 46 .....	84
Slika 49: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 48 .....	86
Slika 50: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 50 .....	87
Slika 51: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 52 .....	89
Slika 52: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 54 .....	90
Slika 53: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 56 .....	92
Slika 54: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 58 .....	93
Slika 55: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 61 .....	95
Slika 56: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 62 .....	96
Slika 57: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 64 .....	98
Slika 58: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 66 .....	99
Slika 59: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 68 .....	101
Slika 60: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 70 .....	102
Slika 61: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 72 .....	104
Slika 62: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 74 .....	106
Slika 63: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 76 .....	107

Slika 64: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 78 .....	109
Slika 65: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 80 .....	110
Slika 66: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 82 .....	112
Slika 67: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 84 .....	113
Slika 68: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 86 .....	115
Slika 69: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 88 .....	116
Slika 70: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 90 .....	118
Slika 71: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 92 .....	119
Slika 72: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 94 .....	121
Slika 73: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 96 .....	122
Slika 74: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 98 .....	124
Slika 75: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 100 .....	125
Slika 76: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 102 .....	127
Slika 77: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 104 .....	128
Slika 78: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 106 .....	130
Slika 79: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 108 .....	131
Slika 80: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 110 .....	133
Slika 81: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 112 .....	134
Slika 82: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 114 .....	136
Slika 83: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 116 .....	137
Slika 84: <i>T-s</i> dijagram za rezultate iz tablice 118 .....	139



## POPIS TABLICA

Tablica 1: Kritični tlak i temperatura te molarna masa radnih fluida .....	31
Tablica 2: Usporedba VUKA modela s literaturom [7] .....	33
Tablica 3: Usporedba VUKA modela i literature [7] sa $N_s$ i $v_s$ kao ulaznim parametrima .....	34
Tablica 4: Usporedba optimiziranog VUKA modela i modela sa zadanim parametrima.....	35
Tablica 5: Ulazni podaci za usporedbu s literaturom [29] .....	36
Tablica 6: Rezultati usporedbe s literaturom [29].....	36
Tablica 7: Fiksni parametri ORC ciklusa.....	40
Tablica 8: Optimizirane veličine ORC ciklusa, funkcija cilja $\eta_{plant,ex}$ za R143a (nadkrično, $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	49
Tablica 9: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R143a (nadkrično, $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	50
Tablica 10: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ) .....	57
Tablica 11: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	58
Tablica 12: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	58
Tablica 13: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	59
Tablica 14: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ , $N = 3000$ ).....	60
Tablica 15: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ , $N = 3000$ ).....	61
Tablica 16: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ , $N = 3000$ ).....	61
Tablica 17: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ , $N = 3000$ ).....	62
Tablica 18: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	63
Tablica 19: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	64
Tablica 20: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	64
Tablica 21: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	65
Tablica 22: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R1234yf (podkrično, $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ , $N = 3000$ ).....	66

Tablica 23: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R1234yf (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	67
Tablica 24: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R1234yf (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	67
Tablica 25: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R1234yf (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	68
Tablica 26: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R1234yf (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	69
Tablica 27: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	70
Tablica 28: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R1234yf (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	70
Tablica 29: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	71
Tablica 30: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R1234yf (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	72
Tablica 31: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R1234yf (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	73
Tablica 32: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R1234yf (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	73
Tablica 33: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R1234yf (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	74
Tablica 34: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	75
Tablica 35: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	76
Tablica 36: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	76
Tablica 37: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	77
Tablica 38: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	78
Tablica 39: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	79
Tablica 40: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	79
Tablica 41: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	80
Tablica 42: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	81
Tablica 43: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	82
Tablica 44: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	82

Tablica 45: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	83
Tablica 46: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ) .....	84
Tablica 47: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	85
Tablica 48: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	85
Tablica 49: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R290 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	86
Tablica 50: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	87
Tablica 51: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	88
Tablica 52: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	88
Tablica 53: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	89
Tablica 54: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	90
Tablica 55: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	91
Tablica 56: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	91
Tablica 57: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	92
Tablica 58: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	93
Tablica 59: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	94
Tablica 60: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	94
Tablica 61: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	95
Tablica 62: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	96
Tablica 63: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	97
Tablica 64: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	97
Tablica 65: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R143a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	98
Tablica 66: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R143a (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ) .....	99

Tablica 67: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R143a (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	100
Tablica 68: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R143a (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	100
Tablica 69: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R143a (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	101
Tablica 70: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R143a (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	102
Tablica 71: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R143a (nadkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	103
Tablica 72: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	104
Tablica 73: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	105
Tablica 74: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	105
Tablica 75: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	106
Tablica 76: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	107
Tablica 77: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	108
Tablica 78: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	108
Tablica 79: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	109
Tablica 80: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	110
Tablica 81: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	111
Tablica 82: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	111
Tablica 83: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	112
Tablica 84: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	113
Tablica 85: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	114
Tablica 86: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	114
Tablica 87: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R134a (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	115
Tablica 88: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	116

Tablica 89: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	117
Tablica 90: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	117
Tablica 91: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	118
Tablica 92: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	119
Tablica 93: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	120
Tablica 94: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	120
Tablica 95: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	121
Tablica 96: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	122
Tablica 97: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	123
Tablica 98: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	123
Tablica 99: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	124
Tablica 100: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	125
Tablica 101: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	126
Tablica 102: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	126
Tablica 103: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; R32 (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	127
Tablica 104: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	128
Tablica 105: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	129
Tablica 106: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	129
Tablica 107: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N\neq 3000$ ).....	130
Tablica 108: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	131
Tablica 109: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	132
Tablica 110: Rezultati optimiziranja $\eta_{plant,ex}$ za Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	132

Tablica 111: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $\eta_{plant,ex}$ ; Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ) .....	133
Tablica 112: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	134
Tablica 113: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	135
Tablica 114: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ).....	135
Tablica 115: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N \neq 3000$ ) .....	136
Tablica 116: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N = 3000$ ).....	137
Tablica 117: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , $N = 3000$ ).....	138
Tablica 118: Rezultati optimiziranja $W_{net}$ za Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	138
Tablica 119: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje $W_{net}$ ; Propilen (podkritično, $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , $N=3000$ ).....	139

## POPIS OZNAKA

OZNAKA	JEDINICA	OPIS
$A_1$	$m^2$	površina ulaza u ulazni kanal
$A_5$	$m^2$	ulazna površina difuzora
$A_6$	$m^2$	izlazna površina difuzora
$AR_d$	-	omjer površina difuzora
$b_2$	m	visina statorske lopatice na ulazu
$b_3$	m	visina statorske lopatice na izlazu
$b_4$	m	visina lopatice na ulazu u rotor
$b_5$	m	visina rotorske lopatice na izlazu
$b_t$	m	visina lopatice na grlu rotora
$C$	m	duljina C
$c_1$	m/s	apsolutna brzina na ulazu u turbinu
$c_{1novo}$	m/s	nova vrijednost ulazne brzine
$c_2$	m/s	apsolutna brzina na ulazu u stator
$c_3$	m/s	apsolutna brzina na izlazu iz statora
$c_4$	m/s	apsolutna brzina na ulazu u rotor
$c_5$	m/s	apsolutna brzina na izlazu iz rotora
$c_6$	m/s	apsolutna brzina na izlazu iz difuzora
$c_{6s}$	m/s	apsolutna brzina na izlazu iz difuzora (izentropska promjena stanja)
$C_a$	$s/m^2$	aksijalni koeficijent
$c_d$	m	radijalna duljina (titive) statorske lopatice
$C_{diff}$	-	stupanj korisnosti difuzora
$c_{m2}$	m/s	apsolutna meridijonalna brzina na ulazu u stator

$c_{m3}$	m/s	apsolutna meridijonalna brzina na izlazu iz statora
$c_{n3}$	m	duljina (titive) statorske lopatice
$c_{m4}$	m/s	apsolutna meridijonalna brzina na ulazu u rotor
$c_{m5}$	m/s	apsolutna meridijonalna brzina na izlazu iz rotora
<i>control</i>	-	kontrolni omjer
$C_r$	s/m <sup>2</sup>	radijalni koeficijent
$c_{t2}$	m/s	apsolutna tangencijalna brzina na ulazu u stator
$c_{t3}$	m/s	apsolutna tangencijalna brzina na izlazu iz statora
$c_{t4}$	m/s	apsolutna tangencijalna brzina na ulazu u rotor
$\bar{c}$	m/s	srednja brzina toka u rotoru
$d$	m	položaj maksimalne debljine statorske lopatice
$d_4$	m	promjer ulaza u rotor
$D_h$	m	hidraulički promjer rotora
$e$	-	eksponent
$E$	kPa	Youngov modul
$f_{nozzle}$	Hz	frekvencija pobude
$h_{01}$	kJ/kg	stagnacijska (totalna) entalpija na ulazu u turbinu
$h_{02}$	kJ/kg	stagnacijska entalpija na ulazu u stator
$h_{03}$	kJ/kg	stagnacijska entalpija na izlazu iz statora
$h_{04}$	kJ/kg	stagnacijska entalpija na ulazu u rotor
$h_{05}$	kJ/kg	stagnacijska (totalna) entalpija na izlazu iz rotora
$h_{06}$	kJ/kg	stagnacijska entalpija na izlazu iz difuzora
$h_1$	kJ/kg	entalpija na ulazu u turbinu
$h_2$	kJ/kg	entalpija na ulazu u stator



$h_3$	kJ/kg	entalpija na izlazu iz statora
$h_{3ss}$	kJ/kg	entalpija na izlazu iz statora (nadzvučno strujanje)
$h_4$	kJ/kg	entalpija na ulazu u rotor
$h_5$	kJ/kg	entalpija na izlazu iz rotora
$h_{5,id}$	kJ/kg	entropija na izlazu iz rotora (izentropska promjena stanja)
$h_6$	kJ/kg	entalpija na izlazu iz difuzora
$h_{6s}$	kJ/kg	entalpija na izlazu iz difuzora (izentropska promjena stanja)
$\Delta h_{act}$	kJ/kg	pad entalpije
$\Delta h_{id}$	kJ/kg	izentropski pad entalpije
$\Delta h_i$	kJ/kg	gubitak ulaznog kuta
$\Delta h_p$	kJ/kg	gubitak u rotorskim lopaticama
$\Delta h_c$	kJ/kg	gubitak zbog zazora
$\Delta h_w$	kJ/kg	gubitak trenja diska
$\Delta h_{te}$	kJ/kg	gubitak izlaznog ruba
$\Delta h_e$	kJ/kg	gubitak izlazne kinetičke energije
$\Delta h_{losses}$	kJ/kg	gubitak u rotoru
$\Delta h_{st}$	kJ/kg	gubitak u statorskim lopaticama
$\Delta h_{vol}$	kJ/kg	gubitak u ulaznom kanalu
$\Delta h_{loss,tot}$	kJ/kg	ukupni gubitak u turbini
$i_n$	°	upadni (zahvatni) kut statora
$k_{b2}$	-	faktor blokade toka na ulazu statora
$k_{b3}$	-	faktor blokade toka na izlazu iz statora
$k_{b3control}$	-	faktor blokade toka na izlazu iz statora
$k_{b4}$	-	fakor blokade toka na ulazu u rotor

$k_{b5}$	-	faktor blokade toka na izlazu iz rotora
$k_f$	-	torzijski koeficijent
$K_{st}$	-	koeficijent gubitka u statoru
$L$	m	duljina putanje toka fluida kroz stator
$L_{dif}$	m	duljina difuzora
$L_h$	m	hidraulička dužina rotora
$M$	g/mol	molarna masa radnog fluida
$M_2$	m/s	Machov broj na ulazu u stator
$M_3$	-	Machov broj na izlazu iz statora
$M_{4,rel}$	-	relativni Machov broj na ulazu u rotor
$M_4$	-	Machov broj na ulazu u rotor
$M_{5,rel}$	-	relativni Machov broj na izlazu iz rotora
$M_5$	-	Machov broj na izlazu iz rotora
$\dot{m}$	kg/s	maseni protok radnog fluida
$N$	min <sup>-1</sup>	brzina vrtnje turbine
$N_s$	-	specifična brzina
$N_{s,act}$	-	stvarna specifična brzina
$o_{n3}$	m	širina grla mlaznica
$o_t$	m	širina grla rotora
$os_3$	-	omjer širine grla i koraka lopatice na izlazu
$p_{01}$	bar	stagnacijski (totalni) tlak na ulazu u turbinu
$p_{04}$	bar	stagnacijski tlak na ulazu u rotor
$p_{05}$	bar	stagnacijski tlak na izlazu iz rotora
$p_1$	bar	tlak na ulazu u turbinu
$p_2$	bar	tlak na ulazu u stator

$p_3$	bar	tlak na izlazu iz statora
$p_4$	bar	tlak na ulazu u rotor
$p_5$	bar	tlak na izlazu iz rotora
$p_6$	bar	tlak na izlazu iz difuzora
$p_{6s}$	bar	tlak na izlazu iz difuzora (izentropska promjena stanja)
$p_{atm}$	bar	tlak zraka
$p_{cr}$	bar	kritični tlak radnog fluida
$p_{cond}$	bar	tlak kondenzacije
$p_{geo}$	bar	tlak geotermalnog fluida
$\Delta p_{0,rel}$	bar	relativni gubitak tlaka
$q_5$	m	korak rotorskih lopatica na srednjem izlaznom polumjeru
$r_1$	m	ulazni polumjer turbine (ulaznog kanala)
$r_{Inovo}$	m	nova vrijednost ulaznog polumjera
$r_2$	m	ulazni polumjer statora
$r_3$	m	izlazni polumjer statora
$r_4$	m	polumjer ulaza u rotor
$r_5$	m	polumjer izlaza iz rotora
$r_{h5}$	m	unutarnji polumjer izlaza iz rotora
$r_{s5}$	m	vanjski polumjer izlaza iz rotora
$r_6$	m	polumjer izlaza iz difuzora
$r_t$	m	polumjer grla rotora
$r_{vol}$	m	polumjer ulazne površine
$Re$	-	Reynoldsov broj
$\overline{Re}_{stat}$	-	prosječni Reynoldsov broj u statoru
$s_{01}$	kJ/(kgK)	stagnacijska (totalna) entropija na ulazu u turbinu

$s_{03}$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	stagnacijska entropija na izlazu iz statora
$s_{04}$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	stagnacijska entropija na ulazu u rotor
$s_{05}$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	stagnacijska entropija na izlazu iz rotora
$s_{06s}$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	stagnacijska entropija na izlazu (izentropska promjena stanja)
$s_1$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	entropija na ulazu u turbinu
$s_2$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	entropija na ulazu u stator
$s_3$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	entropija na izlazu iz statora
$s_4$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	entropija na ulazu u rotor
$s_5$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	entropija na izlazu iz rotora
$s_6$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	entropija na izlazu iz difuzora
$s_{6s}$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	entropija na izlazu difuzora (izentropska promjena stanja)
$s_{5,id}$	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	entropija na izlazu iz rotora (izentropska promjena stanja)
$SC$	-	koeficijent vrtloženja
$s_{n3}$	m	korak lopatice na izlazu iz statora
$SS_2$	m/s	brzina zvuka na ulazu u stator
$SS_3$	m/s	brzina zvuka na izlazu iz statora
$SS_4$	m/s	brzina zvuka na ulazu u rotor
$SS_5$	m/s	brzina zvuka na izlazu iz rotora
$t$	m	debljina statorske lopatice
$T_{01}$	$^{\circ}\text{C}$	stagnacijska (totalna) temperatura na ulazu u turbinu
$T_1$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura na ulazu u turbinu
$T_2$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura na ulazu u stator
$T_3$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura na izlazu iz statora
$T_4$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura na ulazu u rotor

$T_5$	°C	stagnacijska temperatura na izlazu iz rotora
$T_6$	°C	temperatura na izlazu iz difuzora
$t_{b2}$	m	debljina ulaznog ruba statorske lopatice
$t_{b3}$	m	debljina izlaznog ruba statorske lopatice
$t_{b4}$	m	debljina ulaznog ruba lopatice
$t_{b5}$	m	debljina izlaznog ruba rotorske lopatice
$T_{air,in}$	°C	temperatura zraka
$T_{cond}$	°C	temperatura kondenzacije
$T_{cr}$	°C	kritična temperatura radnog fluida
$T_{geo,in}$	°C	temperatura geotermalnog fluida
$t_{max}$	m	maksimalna debljina statorske lopatice
$t_{ref}$	m	referentna debljina statorske lopatice
$\Delta T_{pp}$	°C	minimalna temperaturna razlika između radnog i geofluida
$\Delta T_{SH}$	°C	stupanj pregrijanja
$\Delta T_{cond}$	°C	minimalna temperaturna razlika kondenzatora
$u_4$	m/s	obodna brzina na ulazu u rotor
$u_5$	m/s	obodna brzina na izlazu iz rotora
$u_{s5}$	m/s	obodna brzina na vanjskom izlaznom polumjeru
$u_{h5}$	m/s	obodna brzina na unutarnjem izlaznom polumjeru
$v_2$	m <sup>3</sup> /kg	specifični volumen na ulazu u stator
$v_3$	m <sup>3</sup> /kg	specifični volumen na izlazu iz statora
$w_4$	m/s	relativna brzina na ulazu u rotor
$w_{t5}$	m/s	relativna tangencijalna brzina na izlazu iz rotora
$w_5$	m/s	relativna brzina na izlazu iz rotora
$w_t$	m/s	relativna brzina toka na grlu rotora

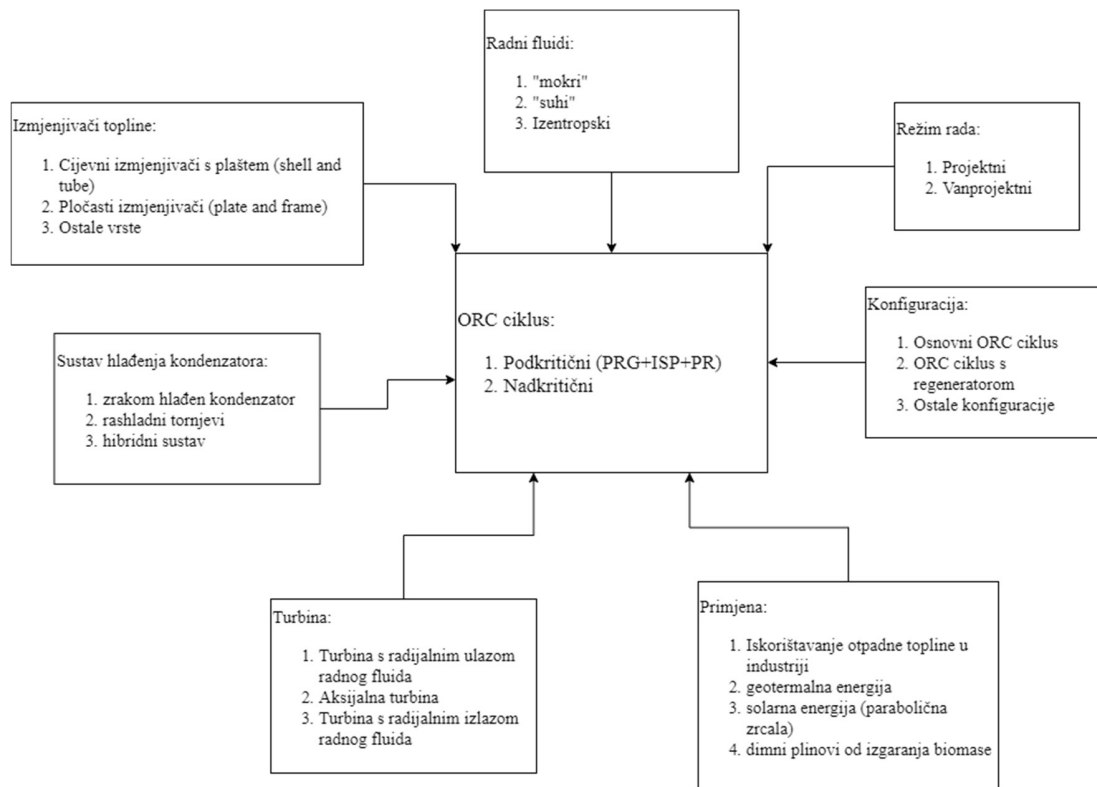
$w_{t4}$	m/s	relativna tangencijalna brzina na ulazu u rotor
$W_{out}$	kW	snaga turbine
$W$	kW	snaga
$W_{net}$	kW	neto dobivena snaga postrojenja
$y$	m	y koordinata
$Z$	m	visina rotora
$Z_r$	-	broj rotorskih lopatica
$Z_s$	-	broj statorskih lopatica
$\alpha_4$	°	apsolutni kut toka na ulazu u rotor
$\alpha_3$	°	apsolutni kut toka na izlazu iz statora
$\alpha_{2a}$	°	apsolutni kut toka na ulazu u stator s obzirom na tangencijalni smjer
$\alpha_2$	°	apsolutni kut toka na ulazu statora
$\beta_{4,blade}$	°	kut lopatice na ulazu u rotor
$\beta_4$	°	relativni kut toka na ulazu u rotor
$\beta_5$	°	relativni kut toka na izlazu iz rotora
$\beta_{s5}$	°	relativni kut toka na vanjskom izlaznom polumjeru
$\beta_{h5}$	°	relativni kut toka na unutarnjem izlaznom polumjeru
$\beta_{5,blade}$	°	kut lopatice na izlazu iz rotora
$\beta_{s5,blade}$	°	kut lopatice na vanjskom izlaznom polumjeru
$\beta_{h5,blade}$	°	kut lopatice na unutarnjem izlaznom polumjeru
$\beta_3$	°	kut statorske lopatice na izlazu
$\beta_2$	°	kut statorske lopatice na izlazu
$\beta_{4,opt}$	°	optimalni ulazni kut toka
$\beta_t$	°	kut lopatice na grlu rotora

$\beta$	°	kut $\beta$
$\gamma_3$	°	kut središnje linije lopatice na izlazu
$\varepsilon_a$	m	aksijalni zazor
$\varepsilon_b$	m	bazni zazor
$\varepsilon_r$	m	radijalni zazor
$\zeta$	-	geometrijski faktor
$\eta_{ts}$	-	stupanj korisnosti turbine
$\eta_{ts,tot}$	-	nova vrijednost stupnja korisnosti turbine
$\eta_{plant,ex}$	-	eksergetski stupanj korisnosti postrojenja
$\eta_{plant,en}$	-	energetski stupanj korisnosti postrojenja
$\theta_{dif}$	°	kut divergencije difuzora
$\mu_4$	kg/(ms)	viskoznost na ulazu u rotor
$\mu_5$	kg/(ms)	viskoznost na izlazu iz rotora
$\bar{\mu}$	kg/(ms)	srednja viskoznost u rotoru
$\mu_2$	kg/(ms)	viskoznost na ulazu u stator
$\mu_3$	kg/(ms)	viskoznost na izlazu iz statora
$\nu$	-	Poissonov faktor
$\nu_s$	-	omjer brzina
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća materijala rotora
$\rho_{01}$	kg/m <sup>3</sup>	stagnacijska (totalna) gustoća fluida na ulazu u turbinu
$\rho_{04}$	kg/m <sup>3</sup>	stagnacijska gustoća fluida na ulazu u rotor
$\rho_{05}$	kg/m <sup>3</sup>	stagnacijska gustoća fluida na izlazu iz rotora
$\rho_1$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća fluida na ulazu u turbinu
$\rho_2$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća fluida na ulazu u stator

$\rho_3$	$\text{kg/m}^3$	gustoća fluida na izlazu iz statora
$\rho_{3ss}$	$\text{kg/m}^3$	gustoća fluida na izlazu iz statora (nadzvučno strujanje)
$\rho_4$	$\text{kg/m}^3$	gustoća fluida na ulazu u rotor
$\rho_{5,id}$	$\text{kg/m}^3$	gustoća fluida na izlazu iz rotora (izentropska promjena stanja)
$\rho_5$	$\text{kg/m}^3$	gustoća fluida na izlazu iz rotora
$\rho_6$	$\text{kg/m}^3$	gustoća fluida na izlazu iz difuzora
$\bar{\rho}$	$\text{kg/m}^3$	srednja gustoća fluida u rotoru
$\sigma$	-	krutost mlaznice
$\sigma_r$	kPa	elastično naprezanje rotorskih lopatica
$\sigma_{r,dop}$	kPa	dopušteno naprezanje
$\sigma_\gamma$	kPa	granica elastičnosti materijala rotora
$\omega$	$\text{s}^{-1}$	kutna brzina
$\omega_{rotor}$	Hz	prirodna frekvencija rotora



# 1. UVOD



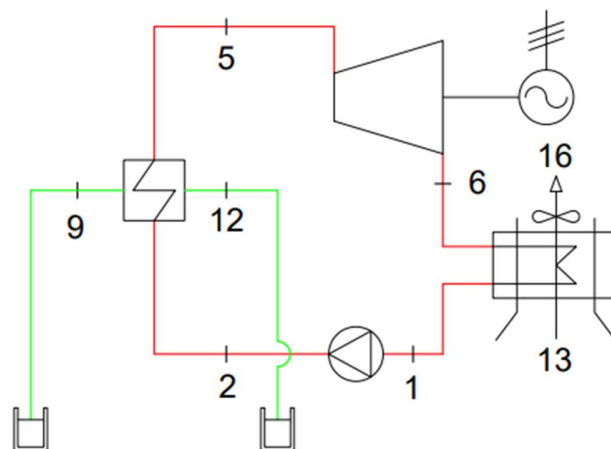
Slika 1: Izvedbe ORC ciklusa i njegovih komponenti

Rankineov ciklus s organskim fluidom (ORC – Organic Rankine Cycle, u daljnjem tekstu ORC ciklus) radi istovjetno kao i ciklus parne turbine samo što se umjesto vodene pare koriste razni organski fluidi. Slika 1 prikazuje razne izvedbe ORC ciklusa i njegovih komponenti. Osnovni ciklusi mogu se podijeliti na one koji rade s podkritičnim tlakovim te na one koji rade s nadkritičnim tlakovima ( do 80 bar). Kod ORC ciklusa koji rade s podkritičnim tlakovima toplina se radnom fluidu dovodi u predgrijaču , isparivaču te pregrijaču . Kod ORC ciklusa s nadkritičnim tlakom cjelokupni toplinski tok radnom fluidu se dovodi u jednom takozvanom visokotlačnom izmjenjivaču topline. Visokotlačni izmjenjivač topline kod nadkritičnog ciklusa, kao i predgrijač, isparivač te pregrijač kod podkritičnog ciklusa, najčešće se izvode kao cijevni izmjenjivači s plaštem dok se ponekad izvode kao pločasti izmjenjivači ili neke druge izvedbe (izmjena topline s zrakom ili dimnim plinovima).



Slika 2 prikazuje shemu geotermalne elektrane izvedene kao jednostavni ORC ciklus s podkritičnim tlakom i zrakom hlađenim kondenzatorom. Pothlađena kapljevina stanja 1 se pomoću pumpe tlači do tlaka isparavanja (stanje 2). U predgrijaču (PRG) pothlađena kapljevina stanja 2 se dovodi do stanja vrele kapljevine (stanje 3). Zatim se u isparivaču (ISP) dovodi do stanja suhozasićene pare (stanje 4). U pregrijaču (PR) se daljnjim dovođenjem topline radni fluid dovodi u stanje pregrijane pare (stanje 5) s kojim ulazi u turbinu. Cjelokupni toplinski tok u predgrijaču, isparivaču te pregrijaču radnom fluidu predaje geotermalni fluid (voda). Prilikom te izmjene topline geotermalni fluid prolazi kroz stanja od 9 do 12 kako je označeno na slici 2. U turbini para ekspandira do tlaka kondenzacije (stanje 6) prilikom čega se dobije koristan rad. Nakon ekspanzije u turbini, u kondenzatoru para kondenzira do stanja 1, prilikom čega se toplinski tok predaje zraku koji ulazi u kondenzator sa stanjem 13, a izlazi sa stanjem 16.

Slika 3 prikazuje osnovni ORC ciklus sa nadkritičnim tlakom. Ova izvedba ORC ciklusa radi istovjetno kao i izvedba s podkritičnim tlakom samo što se cjelokupna izmjena topline između geotermalnog fluida i radnog fluida odvija u jednom visokotlačnom izmjenjivaču topline.



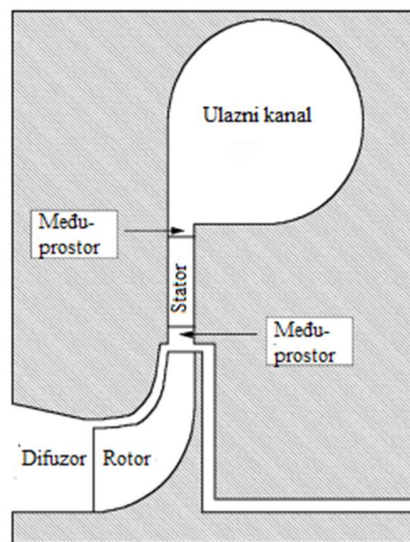
Slika 3: Osnovni ORC ciklus s nadkritičnim tlakom

## 2. TEORETSKE OSNOVE

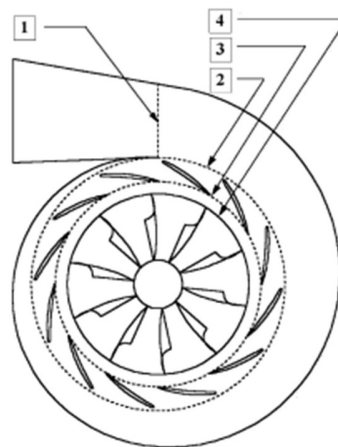
### 2.1. Osnovna konstrukcija turbine s radijalnim ulazom radnog fluida

Turbina s radijalnim ulazom radnog fluida (u daljnjem tekstu radijalna turbina) je alternativa aksijalnoj turbini kao ekspanzijskom stroju u ORC ciklusu. U radijalnoj turbini radni fluid ulazi u rotor usmjeren radijalno u odnosu na os rotora.

Radijalna turbina se sastoji od 4 dijela (slika 4, slika 5). To su: ulazni kanal spiralnog oblika, stator (mlaznice), rotor i difuzor. Između ulaznog kanala te između statora i rotora postavlja se međuprostor koji omogućava kvalitetno miješanje fluida prije ulaska u statorske, odnosno rotorske lopatice.

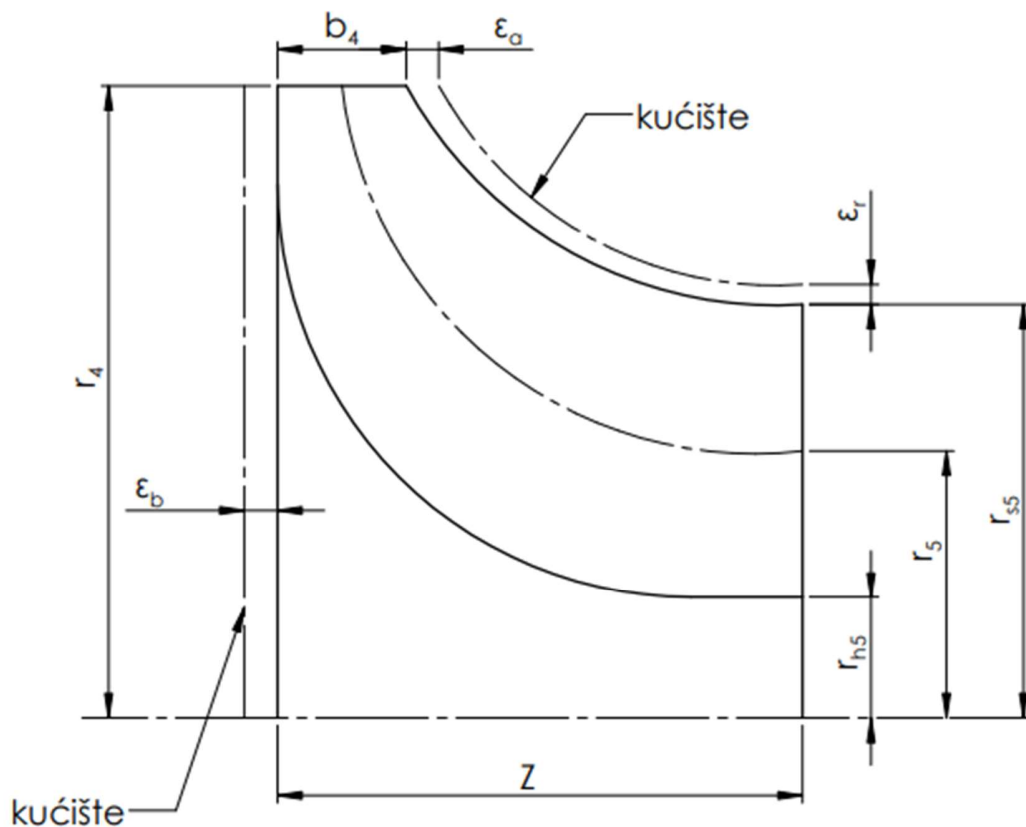


Slika 4: Presjek radijalne turbine [1]



Slika 5: Radijalna turbina [1]

Na slici 5 su označeni ulaz u turbinu (1), ulaz u mlaznice (2), izlaz iz mlaznice (3) te ulaz u rotor (4). Osnovna namjena ulaznog kanala je jednolika raspodjela radnog fluida po obodu (ulazu) statora. Prilikom prolaska kroz statorske lopatice radni fluid se ubrzava do potrebne brzine. Zatim se ekspanzijom u rotoru kinetička energija fluida pretvara u rad.

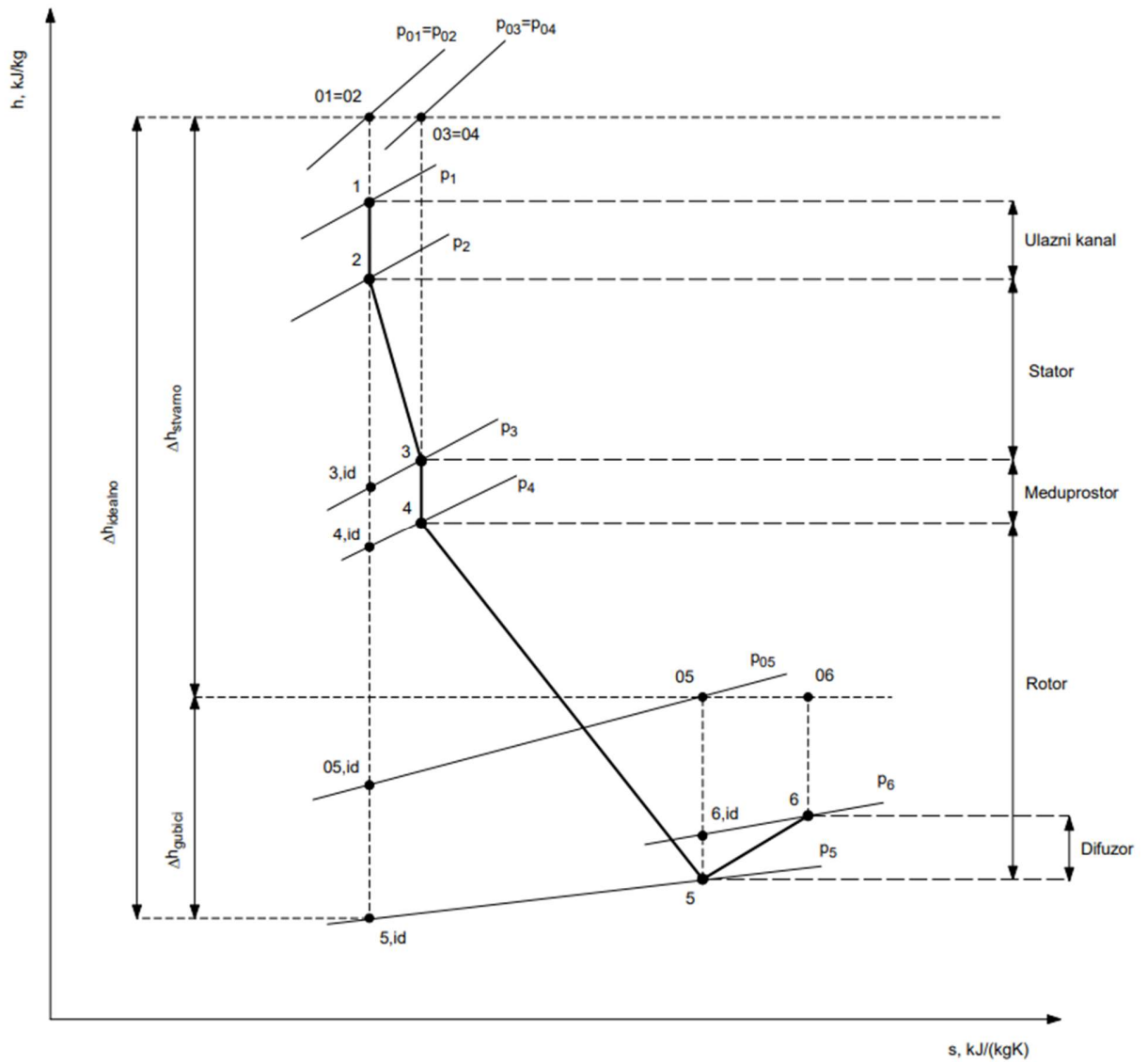


Slika 6: Meridijonalni presjek rotora

Na slici 6 prikazan je meridijonalni presjek rotora na kojemu su označene bitne geometrijske veličine. Ulazni polumjer rotora je  $r_4$ . Na izlazu iz rotora definirani su naredne veličine: izlazni polumjer  $r_5$ , unutarnji polumjer  $r_{h5}$ , te vanjski polumjer  $r_{s5}$ . Visina rotora označena je sa  $Z$ . Rotor se sastoji od lopatica ulazne visine  $b_4$ , dok je izlazna visina  $b_5$  dobivena izrazom:  $b_5 = r_{s5} - r_{h5}$ . Između rotora i kućišta se nalaze zazori, a to su: aksijalni zazor  $\epsilon_a$ , radijalni zazor  $\epsilon_r$  te bazni zazor  $\epsilon_b$ .

Ako je kinetička energija fluida na izlazu iz rotora značajnog iznosa dio energije se može povratiti primjenom difuzora. Promjene stanja radnog fluida prilikom ekspanzije kroz turbinu prikazane su h-s dijagramom na slici 7.

Sastavni dio proračuna su stagnacijske veličine stanja. Oznake stagnacijskih stanja radnog fluida na h-s dijagramu počinju „nulom“.

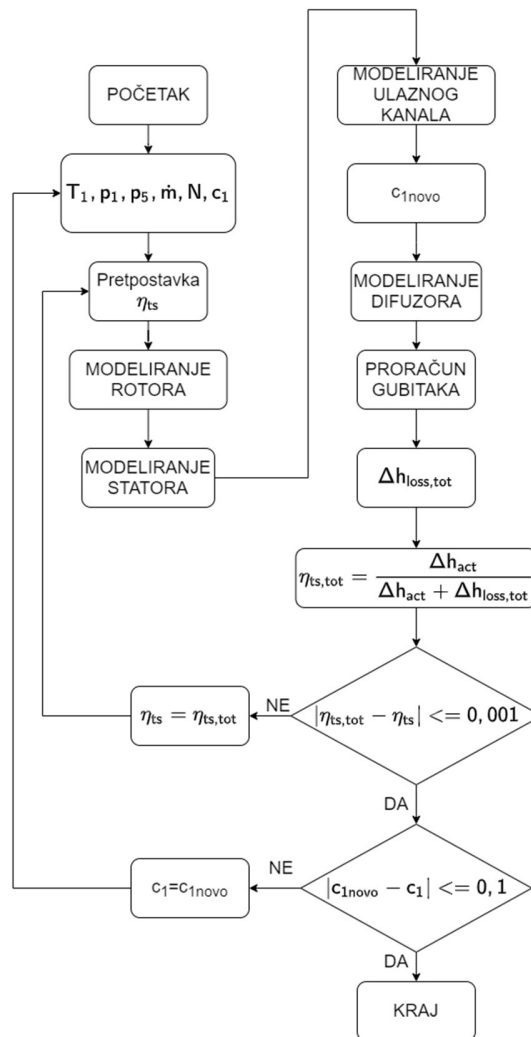


Slika 7: h-s dijagram ekspanzije u turbini

## 2.2. Matematički model preliminarnog proračuna radijalne turbine

Preliminarnim proračunom se određuju geometrijske i pogonske veličine radijalne turbine. Preliminarni proračun ne može potpuno opisati ponašanje fluida prilikom toka kroz turbinu stoga se na temelju preliminarnih rezultata provodi CFD (Computational Fluid Dynamics) analiza. Na temelju rezultata CFD analize geometrijske veličine se podešavaju u svrhu poboljšanja učinkovitosti turbine. U ovom radu provodi se samo preliminarni proračun.

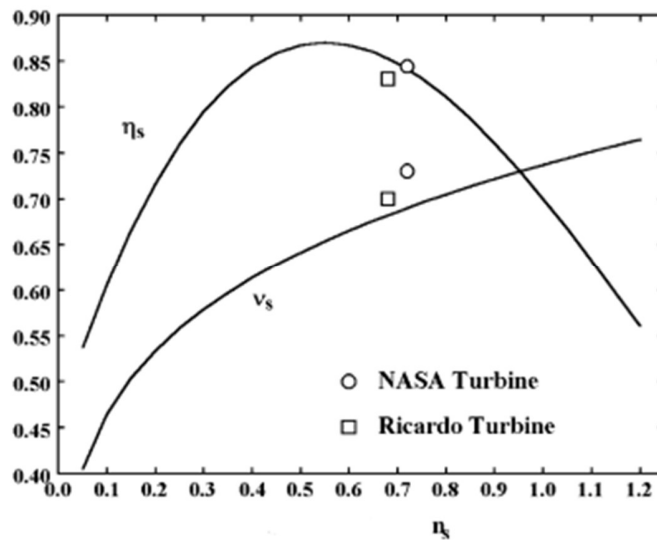
Ulazni podaci proračuna su sljedeći: temperatura na ulazu u turbinu ( $T_1$ , °C), tlak na ulazu u turbinu ( $p_1$ , bar), tlak na izlazu iz rotora ( $p_5$ , bar), maseni protok radnog fluida ( $\dot{m}$ , kg/s), brzina vrtnje turbine ( $N$ , min<sup>-1</sup>), apsolutna brzina na ulazu u turbinu ( $c_1$ , m/s). Iznos ulazne brzine radnog fluida  $c_1$  je pretpostavka, a algoritam iteracijom izračuna točnu vrijednost. Pojednostavljena shema algoritma prikazana je na slici 8. Detalji proračuna opisani su u daljnjem tekstu.



Slika 8: Shema preliminarnog proračuna turbine

### 2.2.1. Matematički model rotora

Proračun počinje definiranjem termodinamičkih svojstava i veličina stanja na ulazu u turbinu i izlazu iz rotora. U proračunu se koriste bezdimenzijski parametri opisani u stručnoj literaturi [1], [2]: specifična brzina  $N_s$ , omjer brzina  $v_s$  i stupanj korisnosti turbine od totalne do statičke veličine stanja  $\eta_{ts}$  (na engleskom: „total-to-static efficiency“). Stupanj korisnosti  $\eta_{ts}$  uzima u obzir pad entalpije od stagnacijskog stanja 01 do statičke veličine stanja 5.



Slika 9:Korelacije vrijednosti omjera brzina  $v_s$ , stupnja korisnosti  $\eta_{ts}$  i specifične brzine  $N_s$

Aungier [1] je razvio korelacije između omjera brzina  $v_s$ , stupnja korisnosti  $\eta_{ts}$  i specifične brzine  $N_s$  (Slika 9). Te korelacije definirane su jednadžbama (2-16) i (2-17). Za pojedine turbine i specifične brzine može se dogoditi da jednadžba (2-16) neće dati optimalne vrijednosti. U tom slučaju [3] predlaže izabrati vrijednost  $v_s$  između 0,6 i 0,7, što je optimalno područje prikazano na slici 9.

Stupanj korisnosti dan izrazom (2-17) je polazna vrijednost kojom započinje iteracija. Stvarne veličine stanja na izlazu iz rotora u ovoj fazi proračuna još nisu poznate, stoga se pretpostavlja izentropska ekspanzija u rotoru. U daljnjem tekstu dan je algoritam proračuna rotora radijalne turbine:

$$h_1 = f(p_1, T_1) \quad \text{entalpija na ulazu u turbinu} \quad (2-1)$$

$$s_1 = f(p_1, T_1) \quad \text{entropija na ulazu u turbinu} \quad (2-2)$$

$$\rho_1 = f(p_1, T_1) \quad \text{gustoća na ulazu u turbinu} \quad (2-3)$$

$$s_{01} = s_1 \quad \text{stagnacijska (totalna) entropija na ulazu u turbinu} \quad (2-4)$$



$$h_{01} = h_1 + \frac{c_1^2}{2} \quad \text{stagnacijska (totalna) entropija na ulazu u turbinu} \quad (2-5)$$

$$p_{01} = f(h_{01}, s_{01}) \quad \text{stagnacijski (totalni) tlak na ulazu u turbinu} \quad (2-6)$$

$$T_{01} = f(h_{01}, s_{01}) \quad \text{stagnacijska (totalna) temperatura na ulazu u turbinu} \quad (2-7)$$

$$\rho_{01} = f(h_{01}, s_{01}) \quad \text{stagnacijska (totalna) gustoća na ulazu u turbinu} \quad (2-8)$$

$$s_{5,id} = s_{01} \quad \text{entropija na izlazu iz rotora (pretpostavka)} \quad (2-9)$$

$$h_{5,id} = f(p_5, s_{5,id}) \quad \text{entropija na izlazu iz rotora (pretpostavka)} \quad (2-10)$$

$$\rho_{5,id} = f(p_5, s_{5,id}) \quad \text{gustoća na izlazu iz rotora (pretpostavka)} \quad (2-11)$$

$$\Delta h_{id} = h_{01} - h_5 \quad \text{izentropski pad entalpije} \quad (2-12)$$

$$\omega = (2 \cdot \pi \cdot N)/60 \quad \text{kutna brzina} \quad (2-13)$$

$$\rho_{05} = \rho_{5,id} \quad \text{stagnacijska gustoća na izlazu iz rotora (pretpostavka)} \quad (2-14)$$

$$N_s = \omega \cdot \frac{\left(\frac{\dot{m}}{\rho_{05}}\right)^{0,5}}{(\Delta h_{id})^{0,75}} \quad \text{specifična brzina [2]} \quad (2-15)$$

$$v_s = 0,737 N_s^{0,2} \quad \text{omjer brzina [1]} \quad (2-16)$$

$$\eta_{ts} = 0,87 - 1,07(N_s - 0,55)^2 - 0,5(N_s - 0,55)^3 \quad \text{stupanj korisnosti [1]} \quad (2-17)$$

$$h_{05} = h_{01} - \eta_{ts} \cdot \Delta h_{id} \quad \text{stagnacijska (totalna) entalpija na izlazu iz rotora} \quad (2-18)$$

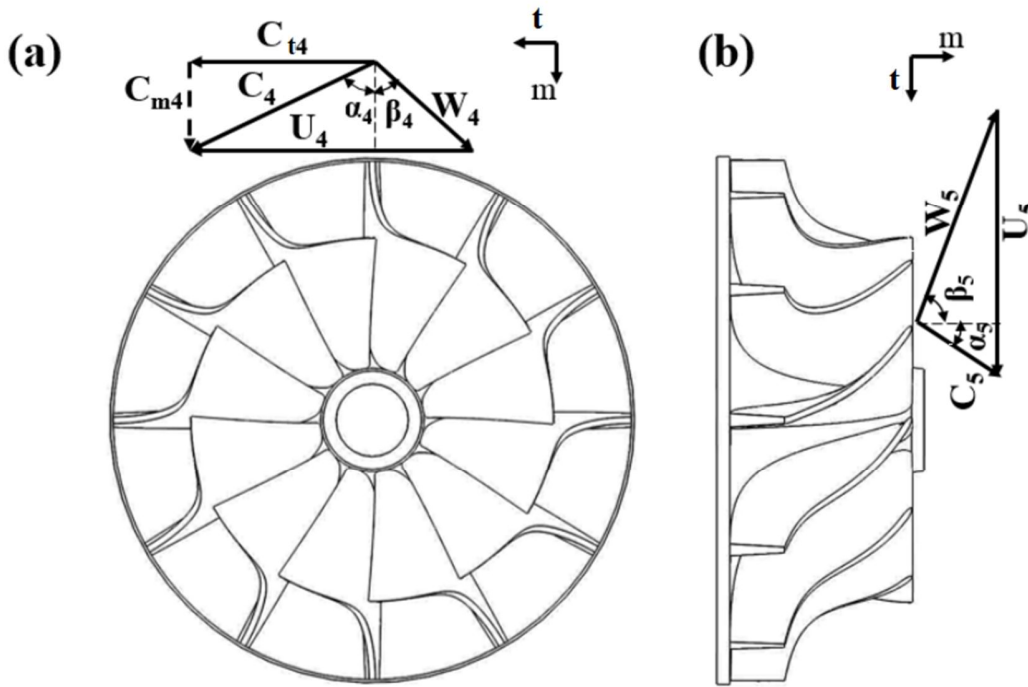
$$\Delta h_{act} = \eta_{ts} \cdot \Delta h_{id} \quad \text{pad entalpije} \quad (2-19)$$

$$W_{out} = \dot{m} \cdot \Delta h_{act} \quad \text{snaga turbine} \quad (2-20)$$

#### 1.1.1.1. Modeliranje ulaza u rotor

Bitan element proračuna su trokuti brzina (slika 10). Trokut brzina definiraju obodna brzina  $u$ , apsolutna brzina  $c$ , relativna brzina  $w$  te njihove tangencijalne i meridijonalne komponente (indeksi  $t$  i  $m$ ). Apsolutni kut toka  $\alpha$  i relativni kut toka  $\beta$  mjereni su od meridijonalnog (radijalnog) smjera do pripadajuće brzine. Ukoliko je tangencijalna komponenta brzine usmjerena u istom smjeru kao i obodna brzina pripadajući kut je pozitivan, u suprotnom je negativan. Korištenjem izraza navedenih u stručnoj literaturi [1] i trigonometrijskih odnosa moguće je potpuno definirati trokut brzina i

geometrijske parametre na ulazu u rotor te termodinamičke veličine. Broj rotorskih lopatica je određen prema izrazu (2-32) iz stručne literature [5]. Izraz (2-24) prilagođen je iz [1] zbog drugačijeg definiranja kutova u trokutu brzina. Pretpostavka je da su lopatice na ulazu u rotor su usmjerene radijalno stoga je kut lopatice  $\beta_{4,blade}$  jednak nuli.



Slika 10: Trokut brzina na ulazu (a) i izlazu (b) iz rotora [4]

U nastavku je dan algoritam za modeliranje ulaza u rotor:

$$\beta_{4,blade} = 0^\circ \quad \text{kut lopatice na ulazu u rotor} \quad (2-21)$$

$$u_4 = v_s \cdot (2 \cdot \Delta h_{id})^{0,5} \quad \text{obodna brzina na ulazu u rotor [1]} \quad (2-22)$$

$$c_{t4} = u_4 \cdot \frac{\eta_{ts}}{2 \cdot v_s^2} \quad \text{apsolutna tangencijalna brzina na ulazu u rotor [1]} \quad (2-23)$$

$$\alpha_4 = 90 - (10,8 + 14,2 N_s^2) \quad \text{apsolutni kut toka na ulazu u rotor [1]} \quad (2-24)$$

$$N_{s,act} = \omega \cdot \frac{\left(\frac{\dot{m}}{\rho_{05}}\right)^{0,5}}{(\Delta h_{act})^{0,75}} \quad \text{stvarna specifična brzina} \quad (2-25)$$

$$r_4 = u_4 / \omega \quad \text{polumjer ulaza u rotor} \quad (2-26)$$

$$d_4 = 2r_4 \quad \text{promjer ulaza u rotor} \quad (2-27)$$

$$c_4 = \frac{c_{t4}}{\sin \alpha_4} \quad \text{apsolutna brzina na ulazu u rotor} \quad (2-28)$$

$$c_{m4} = c_4 \cos \alpha_4 \quad \text{apsolutna meridijonalna brzina na ulazu u rotor} \quad (2-29)$$

$$w_{t4} = c_{t4} - u_4 \quad \text{relativna tangencijalna brzina na ulazu u rotor} \quad (2-30)$$

$$\beta_4 = \tan^{-1} \left( \frac{w_{t4}}{c_{m4}} \right) \quad \text{relativni kut toka na ulazu u rotor} \quad (2-31)$$

$$w_4 = \sqrt{w_{t4}^2 + c_{m4}^2} \quad \text{relativna brzina na ulazu u rotor} \quad (2-32)$$

$$Z_r = \frac{\pi}{30} (110 - \alpha_4) \tan \alpha_4 \quad \text{broj rotorskih lopatica [4]} \quad (2-33)$$

$$h_{04} = h_{01} \quad \text{stagnacijska entalpija na ulazu u rotor} \quad (2-34)$$

$$h_4 = h_{04} - \frac{c_4^2}{2} \quad \text{entalpija na ulazu u rotor} \quad (2-35)$$

$$p_{04} = p_{01} - \frac{\rho_{01} \Delta h_{id} (1 - \eta_{ts})}{4} \quad \text{stagnacijski tlak na ulazu u rotor [1]} \quad (2-36)$$

$$s_{04} = f(p_{04}, h_{04}) \quad \text{stagnacijska entropija na ulazu u rotor} \quad (2-37)$$

$$\rho_{04} = f(p_{04}, h_{04}) \quad \text{stagnacijska gustoća na ulazu u rotor} \quad (2-38)$$

$$s_4 = s_{04} \quad \text{entalpija na ulazu u rotor} \quad (2-39)$$

$$p_4 = f(h_4, s_4) \quad \text{tlak na ulazu u rotor} \quad (2-40)$$

$$\rho_4 = f(h_4, s_4) \quad \text{gustoća na ulazu u rotor} \quad (2-41)$$

$$T_4 = f(h_4, s_4) \quad \text{temperatura na ulazu u rotor} \quad (2-42)$$

$$t_{b4} = 0,04r_4 \quad \text{debljina ulaznog ruba lopatice [1]} \quad (2-43)$$

$$k_{B4} = 1 - \frac{Z_r t_{b4}}{2\pi r_4} \quad \text{faktor blokade toka na ulazu u rotor [1]} \quad (2-44)$$

$$b_4 = \frac{\dot{m}}{2k_{B4}\pi r_4 \rho_4 c_{m4}} \quad \text{visina lopatice na ulazu u rotor} \quad (2-45)$$

### 1.1.1.2. Modeliranje izlaza iz rotora

Uz pretpostavku da nema vrtloženja na izlazu iz rotora ( $c_{t5} = 0$ ;  $\alpha_5=0$ ), sličnim postupkom kao i za ulaz u rotor, definiraju se trokuti brzina, geometrija te termodinamička svojstva na izlazu iz rotora. Budući da je vrijednost gustoće  $\rho_{05}$  u jednadžbi (2-14) pretpostavka, provodi se iteracija jednadžbi (2-14)-(2-54) do konvergencije na odgovarajuću vrijednost. Veličine u jednadžbama (2-55)-(2-72) dobivene su iteracijom, a za polaznu vrijednost  $r_{s5}$  u (2-55) izabrana je najveća dopuštena, koja je predložena u stručnoj literaturi [6]. Za varijable  $r_{h5}$  i  $t_{b5}$  korišteni su iznosi predloženi u stručnoj literaturi [1]. Nakon definiranja geometrije i trokuta brzina na izlazu iz rotora određuje se visina rotora prema (2-73). Zatim se izračunavaju i Machovi brojevi na ulazi i izlazu iz rotora kako bi se provjerilo dolazi li do nadzvučnog strujanja fluida. Shema algoritma za modeliranje rotora je prikazana na slici 11. Algoritam za modeliranje izlaza iz rotora dan je u daljnjem tekstu:

$$c_{m5} = c_{m4} \left[ 1 + 5 \left( \frac{b_4}{r_4} \right)^2 \right] \quad \text{apsolutna meridijonalna brzina na izlazu iz rotora [1]} \quad (2-46)$$

$$c_5 = c_{m5} \quad \text{apsolutna brzina na izlazu iz rotora} \quad (2-47)$$

$$h_5 = h_{05} - \frac{c_5^2}{2} \quad \text{entalpija na izlazu iz rotora} \quad (2-48)$$

$$s_5 = f(h_5, p_5) \quad \text{entropija na izlazu iz rotora} \quad (2-49)$$

$$s_{05} = s_5 \quad \text{stagnacijska entropija na izlazu iz rotora} \quad (2-50)$$

$$p_{05} = f(h_{05}, s_{05}) \quad \text{stagnacijski tlak na izlazu iz rotora} \quad (2-51)$$

$$T_5 = f(h_5, p_5) \quad \text{stagnacijska temperatura na izlazu iz rotora} \quad (2-52)$$

$$\rho_{05} = f(h_{05}, s_{05}) \quad \text{stagnacijska gustoća na izlazu iz rotora} \quad (2-53)$$

$$\rho_5 = f(h_5, s_5) \quad \text{gustoća na izlazu iz rotora} \quad (2-54)$$

$$r_{h5} = 0,185r_4 \quad \text{unutarnji polumjer izlaza iz rotora [1]} \quad (2-55)$$

$$r_{s5} = 0,78r_4 \quad \text{vanjski polumjer izlaza iz rotora [6]} \quad (2-56)$$

$$t_{b5} = 0,02r_4 \quad \text{debljina izlaznog ruba rotorske lopatice [1]} \quad (2-57)$$

$$r_5 = \frac{r_{s5} + r_{h5}}{2} \quad \text{polumjer izlaza iz rotora} \quad (2-58)$$

$$b_5 = r_{s5} - r_{h5} \quad \text{visina rotorske lopatice na izlazu} \quad (2-59)$$

$$u_5 = \omega r_5 \quad \text{obodna brzina na izlazu iz rotora} \quad (2-60)$$

$$u_{s5} = \omega r_{s5} \quad \text{obodna brzina na vanjskom izlaznom polumjeru} \quad (2-61)$$

$$u_{h5} = \omega r_{h5} \quad \text{obodna brzina na unutarnjem izlaznom polumjeru} \quad (2-62)$$

$$w_{t5} = -u_5 \quad \text{relativna tangencijalna brzina na izlazu iz rotora} \quad (2-63)$$

$$w_5 = (c_5^2 + u_5^2)^{0,5} \quad \text{relativna brzina na izlazu iz rotora} \quad (2-64)$$

$$\beta_5 = \tan^{-1} \left( \frac{-u_5}{c_{m5}} \right) \quad \text{relativni kut toka na izlazu iz rotora} \quad (2-65)$$

$$\beta_{s5} = \tan^{-1} \left( \frac{-u_{s5}}{c_{m5}} \right) \quad \text{relativni kut toka na vanjskom izlaznom polumjeru} \quad (2-66)$$

$$\beta_{h5} = \tan^{-1} \left( \frac{-u_{h5}}{c_{m5}} \right) \quad \text{relativni kut toka na unutarnjem izlaznom polumjeru} \quad (2-67)$$

$$\beta_{5,blade} = |\beta_5| \quad \text{kut lopatice na izlazu iz rotora} \quad (2-68)$$

$$\beta_{s5,blade} = |\beta_{s5}| \quad \text{kut lopatice na vanjskom izlaznom polumjeru} \quad (2-69)$$

$$\beta_{h5,blade} = |\beta_{h5}| \quad \text{kut lopatice na unutarnjem izlaznom polumjeru} \quad (2-70)$$

$$k_{B5} = 1 - \frac{t_{b5} Z_r b_5}{\pi (r_{s5}^2 - r_{h5}^2) \cos(\beta_{5,blade})} \quad \text{faktor blokade toka na izlazu iz rotora} \quad (2-71)$$

$$r_{s5} = \left[ \frac{\dot{m}}{k_{B5} \pi \rho_5 c_{m5}} + r_{h5}^2 \right]^{0,5} \quad \text{vanjski izlazni polumjer rotora} \quad (2-72)$$

$$Z = 1,5(r_{s5} - r_{h5}) \quad \text{visina rotora [1]} \quad (2-73)$$

$$SS_4 = f(s_4, p_4) \quad \text{brzina zvuka na ulazu u rotor} \quad (2-74)$$

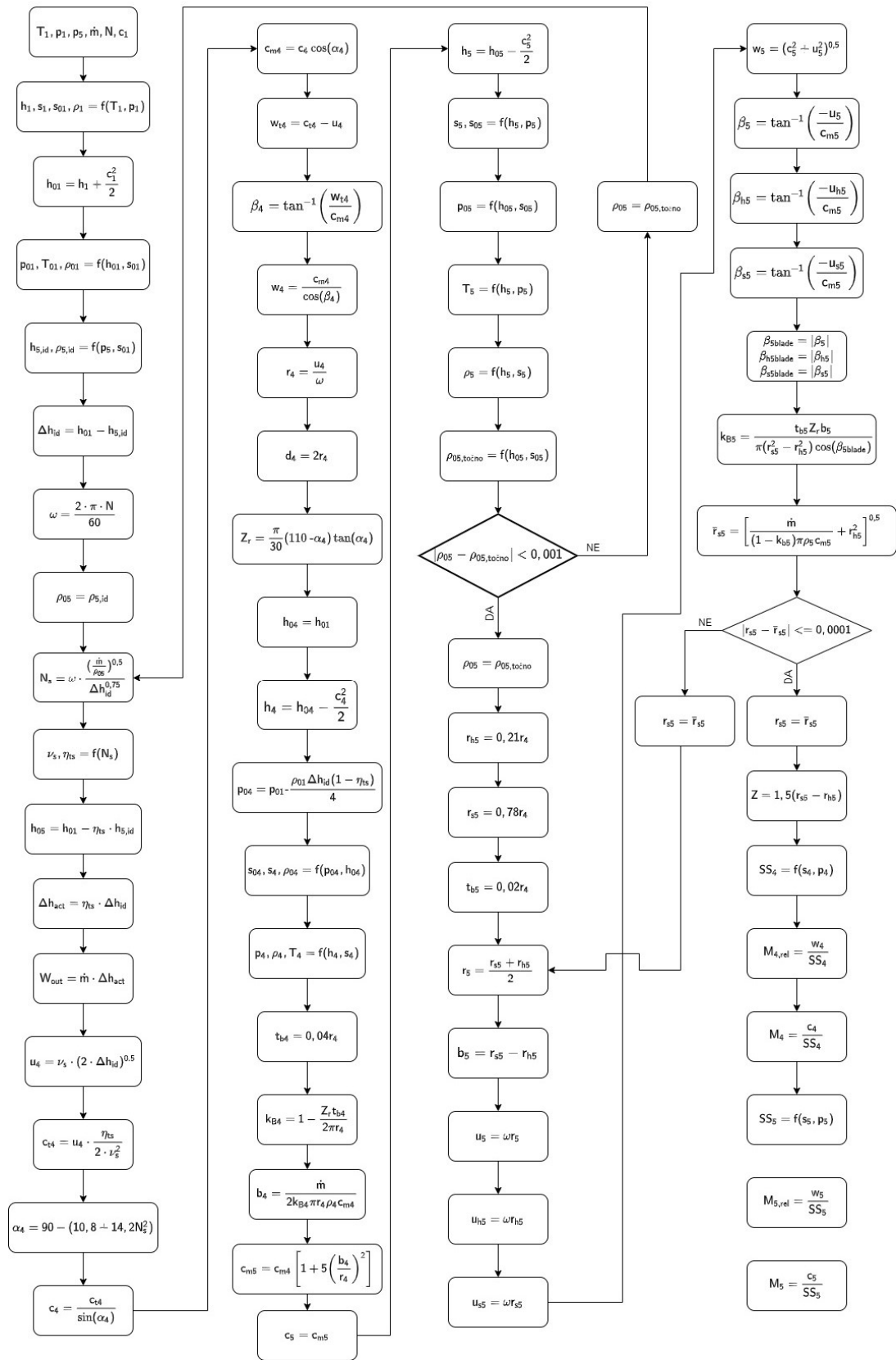
$$M_{4,rel} = w_4 / SS_4 \quad \text{relativni Machov broj na ulazu u rotor} \quad (2-75)$$

$$M_4 = c_4 / SS_4 \quad \text{Machov broj na ulazu u rotor} \quad (2-76)$$

$$SS_5 = f(s_5, p_5) \quad \text{brzina zvuka na izlazu iz rotora} \quad (2-77)$$

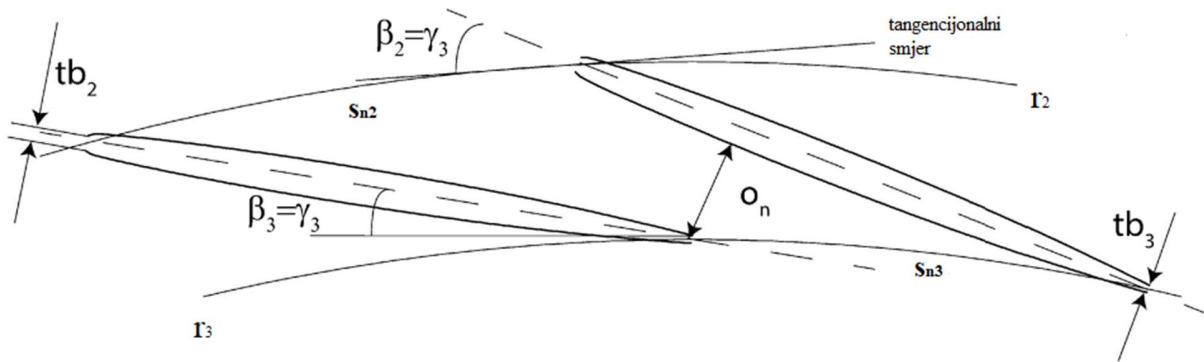
$$M_{5,rel} = w_5 / SS_5 \quad \text{relativni Machov broj na izlazu iz rotora} \quad (2-78)$$

$$M_5 = c_5 / SS_5 \quad \text{Machov broj na izlazu iz rotora} \quad (2-79)$$



Slika 11: Shema algoritma za modeliranje rotora

### 2.2.2. Matematički model statora (mlaznica)



Slika 12: Statorske lopatice [7]

Slika 12 prikazuje statorske lopatice. Pretpostavljeno je da je statorska lopatica izvedena sa ravnom središnjom linijom. Polumjer ulaza u stator je označen sa  $r_2$ , a izlaza sa  $r_3$ . Širina grla označena je sa  $o_n$ . Debljine ulaznog i izlaznog ruba statorske lopatice označeni su sa  $tb_2$  i  $tb_3$ . Kut središnje linije statorske lopatice u ovom slučaju je isti i na ulazu i izlazu i označen je sa  $\gamma_3$ . Vrijednost kuta  $\gamma$  odgovara vrijednosti kuta statorske lopatice  $\beta$ . Prilikom modeliranja statorske lopatice kutovi  $\beta$  i  $\gamma$  mjereni su od tangencijalnog smjera. Korak statorskih lopatica  $s_n$ , definiran je kao duljina kružnog luka između vrha dviju lopatica na ulaznom ili izlaznom polumjeru.

Prema stručnoj literaturi [8], između izlaza iz statora i ulaza u rotor mora se postaviti međuprostor koji omogućuje kvalitetno miješanje fluida prije ulaska u rotor. Visina tog prolaza je postavljena na visinu rotorske lopatice na ulazu, što je ujedno i visina statorske lopatice. U stručnoj literaturi [9] je predložena potrebna duljina prolaza između izlaza iz mlaznice i ulaza u rotor iz čega se dobije iznos  $r_3$ . Kako je navedeno u stručnoj literaturi [10], za računanje tangencijalne komponente brzine primjenjuje se zakon o očuvanju kutne količine gibanja izražen prema (2-83). Definiranje termodinamičkih veličina i trokuta brzine na izlazu iz mlaznice polazi od pretpostavke iznosa gustoće  $\rho_3$  (2-84) i  $k_{b3}$  (2-85). Stoga se provodi iteracija jednačbi (2-86) – (2-127) do konvergencije na točnu vrijednost gustoće  $\rho_3$ . Ako ne dolazi do pojave nadzvučnog strujanja fluida ( $M_3 < 1$ )  $os_3$  se računa prema (2-100). Ukoliko dolazi do nadzvučnog strujanja ( $M_3 \geq 1$ )  $os_3$  se računa prema (2-105) uz prethodno definiranje termodinamičkih veličina za stanje nadzvučnog strujanja (2-101) – (2-104). U daljnjem tekstu dani su izrazi kojima se definiraju bitne veličine na izlazu iz statora:

$$b_3 = b_4 \quad \text{visina statorske lopatice na izlazu} \quad (2-80)$$

$$b_2 = b_3 \quad \text{visina statorske lopatice na ulazu} \quad (2-81)$$

$$r_3 = 2b_3 \cos(\alpha_4) + r_4 \quad \text{izlazni polumjer statora [9]} \quad (2-82)$$

$$c_{t3} = c_{t4} \frac{r_4}{r_3} \quad \text{apsolutna tangencijalna brzina na izlazu iz statora [10]} \quad (2-83)$$

$$\rho_3 = f(h_{01}, s_{01}) \quad \text{gustoća na izlazu iz statora (pretpostavka)} \quad (2-84)$$

$$k_{b3} = 1 \quad \text{faktor blokade toka na izlazu iz statora (pretpostavka)} \quad (2-85)$$

$$c_{m3} = \frac{\dot{m}}{2k_{b3}\pi r_3 \rho_3 b_3} \quad \text{apsolutna meridijonalna brzina na izlazu iz statora (pretpostavka)} \quad (2-86)$$

$$c_3 = (c_{m3}^2 + c_{t3}^2)^{0,5} \quad \text{apsolutna brzina na izlazu iz statora} \quad (2-87)$$

$$h_{03} = h_{01} \quad \text{stagnacijska entalpija na izlazu iz statora} \quad (2-88)$$

$$h_3 = h_{03} - \frac{c_3^2}{2} \quad \text{entalpija na izlazu iz statora} \quad (2-89)$$

$$s_3 = s_4 \quad \text{entropija na izlazu iz statora} \quad (2-90)$$

$$\rho_3 = f(h_3, s_3) \quad \text{gustoća na izlazu iz statora} \quad (2-91)$$

$$c_{m3} = (c_3^2 + c_{t3}^2)^{0,5} \quad \text{apsolutna meridijonalna brzina na izlazu iz statora} \quad (2-92)$$

$$\alpha_3 = \tan^{-1} \left( \frac{c_{t3}}{c_{m3}} \right) \quad \text{apsolutni kut toka na izlazu iz statora} \quad (2-93)$$

$$v_3 = 1/\rho_3 \quad \text{specifični volumen na izlazu iz statora} \quad (2-94)$$

$$Z_s \approx 1,3Z_r \quad \text{broj statorskih lopatica [11]} \quad (2-95)$$

$$T_3 = f(h_3, v_3) \quad \text{temperatura na izlazu iz statora} \quad (2-96)$$

$$p_3 = f(h_3, v_3) \quad \text{tlak na izlazu iz statora} \quad (2-97)$$

$$SS_3 = f(T_3, h_3) \quad \text{brzina zvuka na izlazu iz statora} \quad (2-98)$$

$$M_3 = c_3/SS_3 \quad \text{Machov broj na izlazu iz statora} \quad (2-99)$$

$$os_3 = \cos(\alpha_3) \quad \text{omjer širine grla i koraka lopatice na izlazu [1]} \quad (2-100)$$

$$h_{03} = h_{04} \quad \text{stagnacijska entalpija na izlazu iz statora} \quad (2-101)$$

$$h_{3ss} = h_{03} - \frac{SS_3^2}{2} \quad \text{entalpija na izlazu iz statora (nadzvučno strujanje)} \quad (2-102)$$

$$s_3 = s_4 \quad \text{stagnacijska entropija na izlazu iz statora} \quad (2-103)$$



$$\rho_{3ss} = f(h_{3ss}, s_3) \quad \text{gustoća na izlazu iz statora (nadzvučno strujanje)} \quad (2-104)$$

$$oS_3 = \frac{\rho_3 c_{m3}}{\rho_{3ss} s s_3} \quad \text{omjer širine grla i koraka lopatice [1]} \quad (2-105)$$

$$s_{n3} = \frac{2\pi r_3}{Z_s} \quad \text{korak lopatice na izlazu iz statora} \quad (2-106)$$

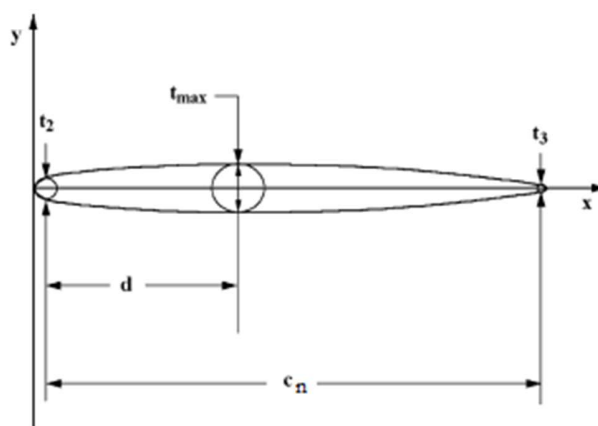
$$o_{n3} = oS_3 s_{n3} \quad \text{širina grla mlaznica} \quad (2-107)$$

$$\sigma = \frac{c_n}{s_n} = \frac{1}{0,75} \quad \text{krutost mlaznice [2]} \quad (2-108)$$

$$c_{n3} = \frac{s_{n3}}{\frac{1}{\sigma}} = \sigma s_{n3} \quad \text{duljina (tetine) statorske lopatice} \quad (2-109)$$

$$c_d = c_{n3} \cos(\alpha_3) \quad \text{radijalna duljina (tetine) statorske lopatice.} \quad (2-110)$$

Metodom navedenom u [1] se potpuno definira geometrija statorskih lopatica. Polazeći od pretpostavki danih izrazima (2-111) - (2-115) provodi se iteracija izraza (2-116) - (2-123) do konvergencije na odgovarajuću vrijednost  $\gamma_3$ . Detaljna geometrija statorske lopatice prikazana je na slici 13.



Slika 13: Profil statorske lopatice [1]

Ako je iznos koordinate  $y \geq 0,6c_{n3}$  za izračun geometrijskog faktora  $\zeta$  koristi se izraz (2-117), u suprotnom se koristi izraz (2-118). Nakon definiranja geometrije statorske lopatice određuju se brzine i kutovi u trokutu brzina na ulazu u stator, a zatim i termodinamičke veličine te Machov broj. Kako bi se definirao trokut brzina na ulazu u mlaznicu provodi se iteracija izraza (2-133)–(2-140) do konvergencije na točnu vrijednost  $c_{m2}$ , polazeći od vrijednosti dobivene izrazom (2-133). U nastavku je dan preostali dio algoritma za proračun statora, a cijeli algoritam je prikazan na slici 14.

$$t_{b2} = 0,025c_{n3} \quad \text{debljina ulaznog ruba statorske lopatice [1]} \quad (2-111)$$

$$t_{b3} = 0,012c_{n3} \quad \text{debljina izlaznog ruba statorske lopatice [1]} \quad (2-112)$$

$$t_{\max} = 0,06c_{n3} \quad \text{maksimalna debljina statorske lopatice [1]} \quad (2-113)$$

$$d = 0,4c_{n3} \quad \text{položaj maksimalne debljine statorske lopatice} \quad (2-114)$$

$$\gamma_3 = 5^\circ \quad \text{kut središnje linije lopatice na izlazu (pretpostavka)} \quad (2-115)$$

$$y = s_{n3}\cos(\gamma_3) \quad \text{y koordinata} \quad (2-116)$$

$$\zeta = \frac{c_{n3}-y}{d} \quad \text{geometrijski faktor [1]} \quad (2-117)$$

$$\zeta = \frac{y}{c_{n3}-d} \quad \text{geometrijski faktor [1]} \quad (2-118)$$

$$t_{ref} = t_{b2} + (t_{b3} - t_{b2}) \left( \frac{c_{n3}-y}{d} \right) \quad \text{referentna debljina statorske lopatice [1]} \quad (2-119)$$

$$e = \left[ 0,95 \left( 2 - \frac{y}{c_{n3}} \right) (1 - \zeta) + 0,05 \right] \left( \frac{0,4d}{c_{n3}} \right)^{0,5} \quad \text{eksponent [1]} \quad (2-120)$$

$$t = t_{ref} + (t_{\max} - t_{ref})\zeta^e \quad \text{debljina statorske lopatice [1]} \quad (2-121)$$

$$\bar{o}_3 = s_{n3} \sin(\gamma_3) - \frac{t}{2} \quad \text{širina grla mlaznice} \quad (2-122)$$

$$\gamma_{3novo} = \sin^{-1} \left( \sin \gamma_3 \cdot \frac{o_{n3}}{\bar{o}_3} \right) \quad \text{kut središnje linije lopatice na izlazu} \quad (2-123)$$

$$\beta_3 = \gamma_3 \quad \text{kut statorske lopatice na izlazu} \quad (2-124)$$

$$r_2 = c_d + r_3 \quad \text{ulazni polumjer statora} \quad (2-125)$$

$$\beta_2 = \beta_3 \quad \text{kut statorske lopatice na izlazu} \quad (2-126)$$

$$k_{b3control} = 1 - \frac{Z_s t_{b3}}{2\pi r_3 \sin \beta_3} \quad \text{faktor blokade toka na izlazu iz statora} \quad (2-127)$$

$$L = c_{n3} \quad \text{duljina putanje toka fluida kroz stator} \quad (2-128)$$

$$i_n = \left[ 3,6 \left( \frac{10t_{b2}}{L} \right)^{0,5} + \frac{|\beta_3 - \beta_2|}{3,4} \right] \left( \frac{L}{s_{n3}} \right)^{0,5} - \frac{|\beta_3 - \beta_2|}{2} \quad \text{upadni (zahvatni) kut statora [12]} \quad (2-129)$$

$$\alpha_{2a} = \beta_2 - i_n \text{sign}(\beta_3 - \beta_2) \quad \text{apsolutni kut toka na ulazu u stator (tangencijalni smjer)[1]} \quad (2-130)$$

$$\alpha_2 = 90 - \alpha_{2a} \quad \text{apsolutni kut toka na ulazu statora (radijalni smjer)} \quad (2-131)$$

$$k_{b2} = 1 - \frac{Z_s t_{b2}}{2\pi r_2 \sin \beta_2} \quad \text{faktor blokade toka na ulazu statora} \quad (2-132)$$

$$c_{m2} = \frac{r_3 c_{m3}}{r_2} \quad \text{apsolutna meridijonalna brzina na ulazu u stator} \quad (2-133)$$

$$c_{t2} = c_{m2} \cdot \tan(\alpha_2) \quad \text{apsolutna tangencijalna brzina na ulazu u stator} \quad (2-134)$$

$$c_2 = (c_{m2}^2 + c_{t2}^2)^{0,5} \quad \text{apsolutna brzina na ulazu u stator} \quad (2-135)$$

$$h_{02} = h_{01} \quad \text{stagnacijska entalpija na ulazu u stator} \quad (2-136)$$

$$h_2 = h_{02} - \frac{c_2^2}{2} \quad \text{entalpija na ulazu u stator} \quad (2-137)$$

$$s_2 = s_1 \quad \text{entropija na ulazu u stator} \quad (2-138)$$

$$\rho_2 = f(h_2, s_2) \quad \text{gustoća na ulazu u stator} \quad (2-139)$$

$$c_{m2} = \frac{\dot{m}}{2k_{b2}\pi r_2 \rho_2 b_2} \quad \text{apsolutna meridijonalna brzina na ulazu u stator} \quad (2-140)$$

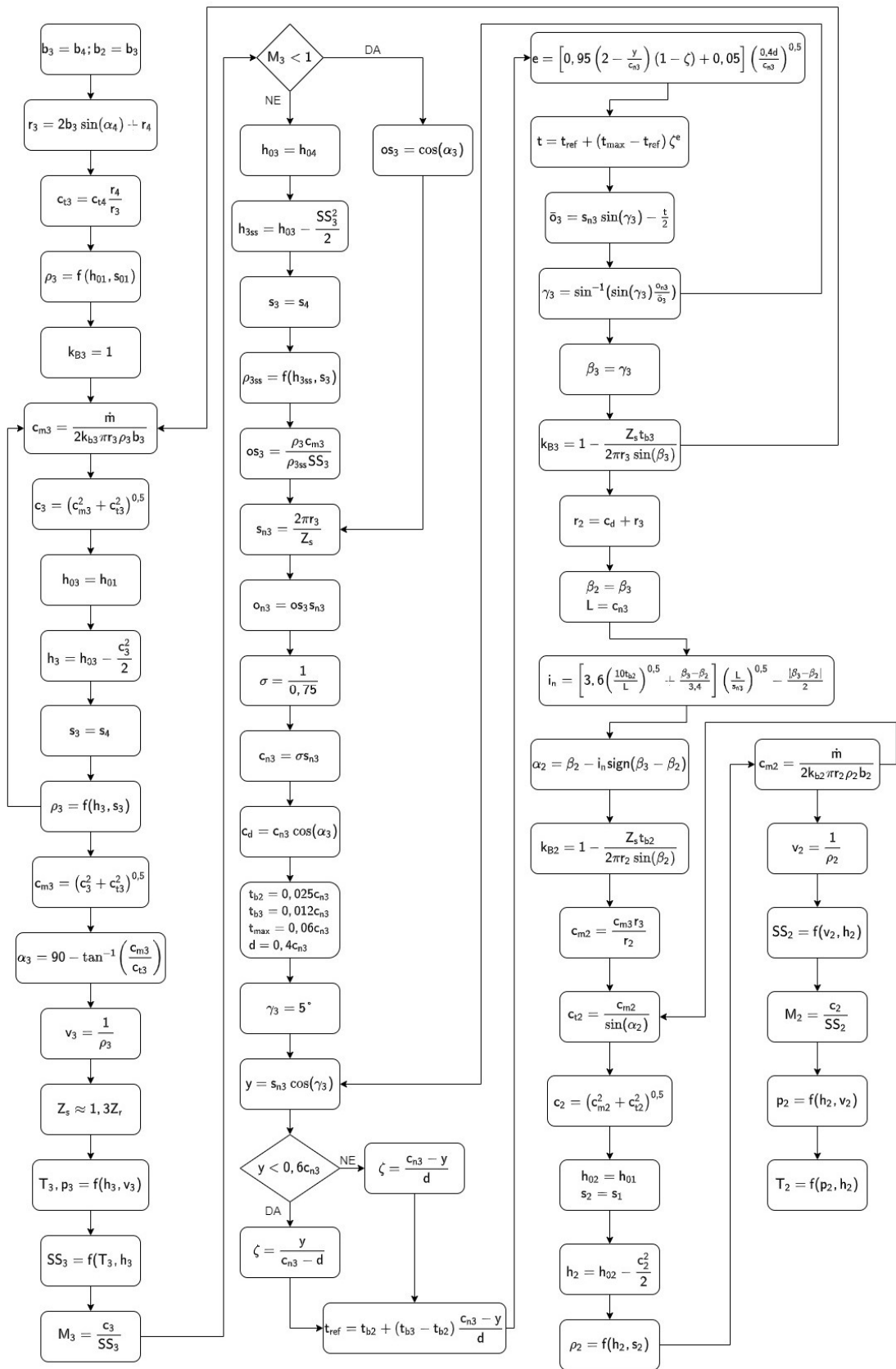
$$v_2 = 1/\rho_2 \quad \text{specifični volumen na ulazu u stator} \quad (2-141)$$

$$SS_2 = f(v_2, h_2) \quad \text{brzina zvuka na ulazu u stator} \quad (2-142)$$

$$M_2 = c_2/SS_2 \quad \text{Machov broj na ulazu u stator} \quad (2-143)$$

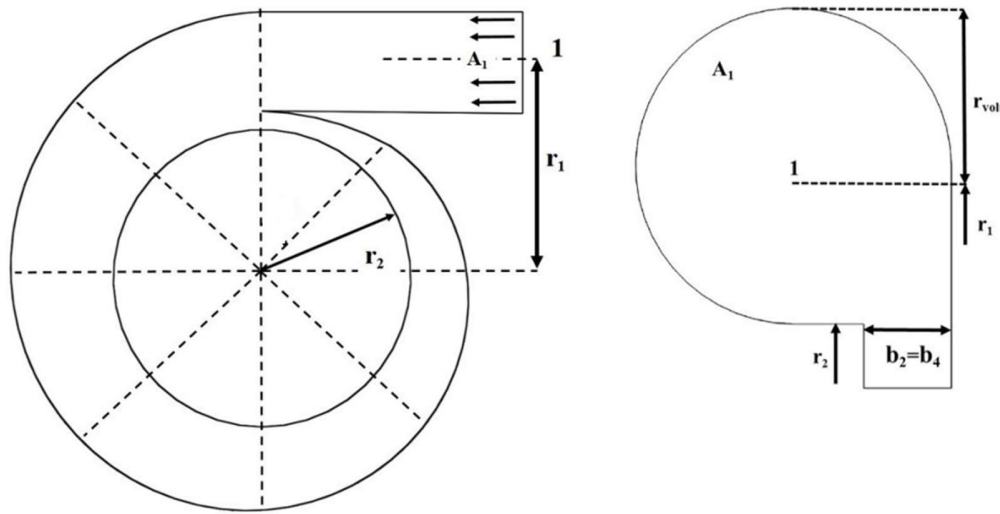
$$p_2 = f(h_2, v_2) \quad \text{tlak na ulazu u stator} \quad (2-144)$$

$$T_2 = f(p_2, h_2) \quad \text{temperatura na ulazu u stator} \quad (2-145)$$



Slika 14: Shema algoritma za modeliranje statora

### 2.2.3. Matematički model ulaznog kanala



Slika 15: Geometrija ulaznog kanala [4]

Slika 15 prikazuje bitne geometrijske veličine ulaznog kanala. Za ulazni kanal je zadan kružni presjek površine  $A_1$  i polumjera  $r_{vol}$ . U obzir se uzima i koeficijent vrtloženja koji predstavlja utjecaj trenja sa vrijednošću predloženom u stručnoj literaturi [8]. Prema stručnoj literaturi [1] kroz međuprostor između ulaznog kanala i statora očuvana je kutna količina gibanja stoga se za proračun on može zanemariti pa se ulazni polumjer izračuna preko veličina na ulazu u stator. Izrazi (2-147)-(2-149) su izračunati sa početnom pretpostavkom brzine  $c_1$ , a izraz (2-151) je nova vrijednost kojom se započinje iduća iteracija proračuna. Nakon provedenog proračuna, u stručnoj literaturi [1] predlaže se postavljanje međuprostora s omjerom ulaznog i izlaznog polumjera 1,05.

$$SC = 0,9 \quad \text{koeficijent vrtloženja [8]} \quad (2-146)$$

$$r_1 = \frac{r_2 \cdot c_{t2}}{c_1 \cdot SC} \quad \text{ulazni polumjer turbine (ulaznog kanala)} \quad (2-147)$$

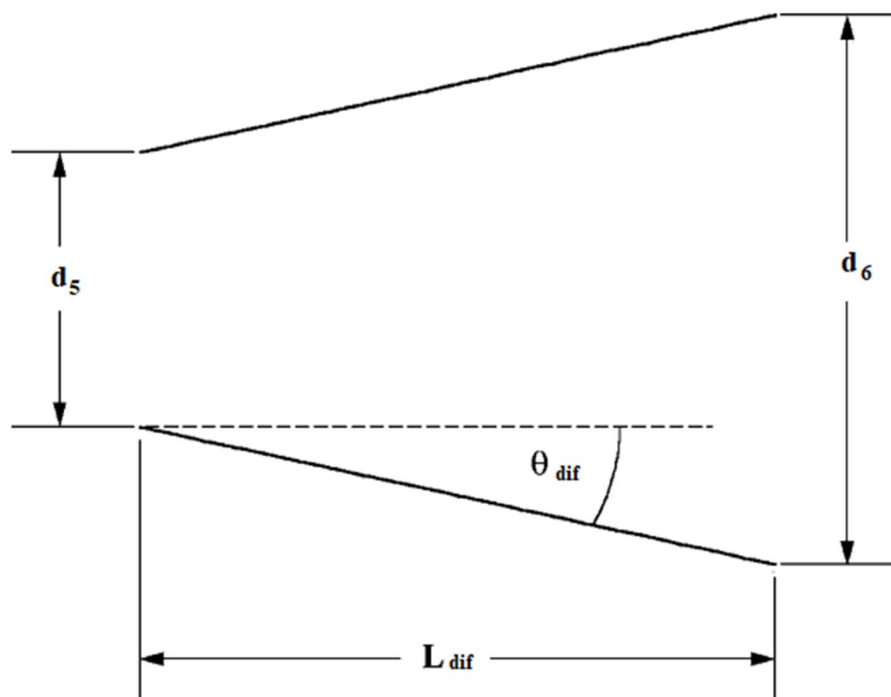
$$A_1 = \frac{\dot{m}}{c_1 \rho_1} \quad \text{površina ulaza u ulazni kanal} \quad (2-148)$$

$$r_{vol} = \left( \frac{A_1}{3\frac{\pi}{4} + 1} \right)^{0,5} \quad \text{polumjer ulazne površine} \quad (2-149)$$

$$r_{1novo} = r_2 + r_{vol} \quad \text{nova vrijednost ulaznog polumjera} \quad (2-150)$$

$$c_{1novo} = \frac{r_2 \cdot c_{t2}}{r_{1novo} \cdot SC} \quad \text{nova vrijednost ulazne brzine} \quad (2-151)$$

## 2.2.4. Matematički model difuzora



Slika 16: Skica bitnih geometrijskih veličina difuzora [1]

Na slici 16 su označene bitne geometrijske veličine difuzora. To su promjeri na ulazu i izlazu,  $d_5$  i  $d_6$ , kut divergencije difuzora  $\theta_{dif}$  i duljina difuzora  $L_{dif}$ . Kut divergencije je postavljen na  $5^\circ$  što zadovoljava prijedlog  $2\theta_{dif} < 11^\circ$  iz stručne literature [1]. Izlazna brzina iz difuzora je zadana na 10 m/s. Duljina difuzora je dana izrazom (2-170) navedenim u stručnoj literaturi [13]. Prvo se definiraju veličine stanja na izlazu iz difuzora uz pretpostavku izentropske promjene stanja. Zatim se pomoću tih veličina i stupnja korisnosti difuzora danog izrazom (2-159) iz stručne literature [14] izračunaju stvarne veličine stanje te geometrijske veličine difuzora. Algoritam proračuna dan je narednom tekstu:

$$\theta_{dif} = 5^\circ \quad \text{kut divergencije difuzora} \quad (2-152)$$

$$c_6 = 10 \text{ m/s} \quad \text{apsolutna brzina na izlazu iz difuzora} \quad (2-153)$$

$$h_{06} = h_{05} \quad \text{stagnacijska entalpija na izlazu iz difuzora} \quad (2-154)$$

$$s_{06s} = s_{05} \quad \text{stagnacijska entropija na izlazu (izentropski)} \quad (2-155)$$

$$s_{6s} = s_{06s} \quad \text{entropija na izlazu difuzora (izentropski)} \quad (2-156)$$

$$A_5 = \pi(r_{s5}^2 - r_{h5}^2) \quad \text{ulazna površina difuzora} \quad (2-157)$$

$$C_{diff} = -3,15 \cdot 10^{-4} \cdot |\alpha_5|^2 + 6,25 \cdot 10^{-3} \cdot |\alpha_5| + 0,57 \quad \text{stupanj korisnosti difuzora [14]} \quad (2-158)$$

$$c_{6s} = \sqrt{c_5^2 - C_{diff} \cdot (c_5^2 - c_6^2)} \quad \text{apsolutna brzina na izlazu iz difuzora (izentropski)} \quad (2-159)$$

$$h_{6s} = h_{06s} - 0,5c_{6s}^2 + h_5 \quad \text{entalpija na izlazu iz difuzora (izentropski)} \quad (2-160)$$

$$p_{6s} = f(h_{6s}, s_{6s}) \quad \text{tlak na izlazu iz difuzora (izentropski)} \quad (2-161)$$

$$p_6 = p_{6s} \quad \text{tlak na izlazu iz difuzora} \quad (2-162)$$

$$h_6 = h_{06} - 0,5c_6^2 \quad \text{entalpija na izlazu iz difuzora} \quad (2-163)$$

$$T_6 = f(p_6, h_6) \quad \text{temperatura na izlazu iz difuzora} \quad (2-164)$$

$$\rho_6 = f(p_6, T_6) \quad \text{gustoća na izlazu iz difuzora} \quad (2-165)$$

$$s_6 = f(p_6, T_6) \quad \text{entropija na izlazu iz difuzora} \quad (2-166)$$

$$A_6 = \frac{\dot{m}}{c_6 \rho_6} \quad \text{izlazna površina difuzora} \quad (2-167)$$

$$AR_d = \frac{A_6}{A_5} \quad \text{omjer površina difuzora} \quad (2-168)$$

$$L_{dif} = b_5 \frac{AR_d - 1}{2 \tan \theta_{dif}} \quad \text{duljina difuzora [13]} \quad (2-169)$$

$$r_6 = \sqrt{\frac{A_6}{\pi}} \quad \text{polumjer izlaza iz difuzora.} \quad (2-170)$$

### 2.3. Matematički model gubitaka u radijalnoj turbini

U literaturi postoje razni modeli koji predviđaju gubitke prilikom preliminarnog dizajniranja turbine. U ovom radu koristit će se modeli gubitaka koji su pokazali najmanje odstupanje od CFD (Computational Fluid Dynamics) analize prema istraživanju provedenom u stručnoj literaturi [15].

#### 2.3.1. Gubici u rotoru

##### 2.3.1.1. Gubitak ulaznog kuta

Ovaj gubitak definiran je kao pad entalpije do kojeg dolazi zbog poremećaja u toku fluida kada je ulazni kut toka različit od optimalnog ulaznog kuta. Optimalni kut toka i pad entalpije definirani su izrazima iz literature [16].

$$\beta_{4,opt} = \operatorname{atan} \left[ \frac{-1,98 \cdot \tan(\alpha_4)}{Z_r \left(1 - \frac{1,98}{Z_r}\right)} \right] \quad \text{optimalni ulazni kut toka [16]} \quad (2-171)$$

$$\Delta h_i = 0,5 \cdot w_4^2 \cdot \sin^2(\beta_4 - \beta_{4,opt}) \quad \text{gubitak ulaznog kuta [16]} \quad (2-172)$$

##### 2.3.1.2. Gubitak u rotorskim lopaticama

Ovaj gubitak definiran je kao pad entalpije kojim su obuhvaćeni gubici prilikom prolaska kroz rotorske lopatice, kao što su gubici zbog trenja, vrtloženja te nastanka sekundarnih tokova. Za izračun ovog gubitka odabran je model iz stručne literature [8], poznat kao i CETI model. Gubitak u rotorskim lopaticama dan je izrazom (2-184), dok su veličine potrebne za izračun tog gubitka definirane izrazima predloženim u stručnoj literaturi [3]. U nastavku su navedeni izrazi za proračun gubitka u rotorskim lopaticama.

$$r_t = r_5 \quad \text{polumjer grla rotora [3]} \quad (2-173)$$

$$q_5 = \frac{2\pi r_5}{Z_r} \quad \text{korak rotorskih lopatica na srednjem izlaznom polumjeru [3]} \quad (2-174)$$

$$o_t = \frac{q_5 \cdot c_{m5}}{w_5} \quad \text{širina grla rotora [3]} \quad (2-175)$$

$$b_t = o_t \quad \text{visina lopatice na grlu rotora [3]} \quad (2-176)$$

$$\frac{r_4 - r_5}{o_t} \geq 0,2 \quad \text{uvjet za } m_f \text{ [3]} \quad (2-177)$$



$$\beta_t = 0,8\beta_{5,blade} \quad \text{kut lopatice na grlu rotora [3]} \quad (2-178)$$

$$w_t = 0,7w_5 \quad \text{relativna brzina toka na grlu rotora [3]} \quad (2-179)$$

$$\beta = 0,5 \cdot \tan^{-1}(\tan\beta_{4,blade} + \tan\beta_{5,blade}) \quad \text{kut } \beta \text{ [3]} \quad (2-180)$$

$$C = \frac{Z}{\cos(\beta)} \quad \text{duljina } C \text{ [3]} \quad (2-181)$$

$$L_h = \frac{\pi}{4}(Z - 0,5b_4 + r_4 - r_t - 0,5b_t) \quad \text{hidraulička dužina rotora [8]} \quad (2-182)$$

$$D_h = 0,5 \left[ \frac{4\pi r_4 b_4}{2\pi r_4 + Z_r b_4} + 2\pi \left( \frac{r_{s5}^2 - r_{h5}^2}{\pi(r_{s5} - r_{h5}) + Z_r b_5} \right) \right] \text{hidraulički promjer rotora [8]} \quad (2-183)$$

$$\Delta h_p = m_f \cdot 0,11 \cdot \left[ \frac{L_h}{D_h} + 0,68 \left( 1 - \left[ \frac{r_t}{r_4} \right]^2 \right) \frac{\cos(\beta_t)}{\frac{b_t}{C}} \right] \cdot \frac{w_4^2 + w_t^2}{2} \quad (2-184)$$

Ukoliko je izraz (2-177) zadovoljen, faktor  $m_f$  korišten u izrazu (2-184) iznosi 1, u suprotnom iznosi 2.

### 2.3.1.3. Gubitak zbog zazora

Zbog zazora između gornjeg ruba rotorskih lopatica i kućišta dio fluida iscuri bez da se iskoristi njegova kinetička energija. Ovaj gubitak definiran je kao pad entalpije dan izrazom (2-189) iz stručne literature [17]. Za proračun gubitka definirani su aksijalni i radijalni zazor te aksijalni i radijalni koeficijent prema izrazima iz stručne literature [1], [18], [19].

$$\varepsilon_a = 0,04b_5 \quad \text{aksijalni zazor [1]} \quad (2-185)$$

$$\varepsilon_r = 0,04b_5 \quad \text{radijalni zazor [1]} \quad (2-186)$$

$$C_a = \frac{1 - \frac{r_{s5}}{r_4}}{c_{m4} b_4} \quad \text{aksijalni koeficijent [18]} \quad (2-187)$$

$$C_r = \frac{r_{s5}}{r_4} \left( \frac{Z - b_4}{c_{m5} r_5 b_5} \right) \quad \text{radijalni koeficijent [19]} \quad (2-188)$$

$$\Delta h_c = u_4^3 \cdot \frac{Z_r}{8\pi} \cdot [0,4\varepsilon_a C_a + 0,75\varepsilon_r C_r - (\varepsilon_a \varepsilon_r C_a C_r)^{0,5}] \quad \text{gubitak zbog zazora [17]} \quad (2-189)$$

### 2.3.1.4. Gubitak trenja diska

Ovaj gubitak definiran je kao pad entalpije zbog trenja između stražnje plohe rotora i kućišta koje nastaje zbog ulaska fluida u zazor između njih. Originalni model razvijen je u stručnoj literaturi [20], a u ovom radu se koristi modifikacija za radijalnu turbinu iz stručne literature [21], [22].

$$\varepsilon_b = 0,02b_4 \quad \text{bazni zazor} \quad (2-190)$$

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_5 + \rho_4}{2} \quad \text{srednja gustoća fluida u rotoru} \quad (2-191)$$

$$\bar{c} = \frac{c_4 + c_5}{2} \quad \text{srednja brzina toka u rotoru} \quad (2-192)$$

$$\mu_4 = f(T_4, p_4) \quad \text{viskoznost na ulazu u rotor} \quad (2-193)$$

$$\mu_5 = f(T_5, p_5) \quad \text{viskoznost na izlazu iz rotora} \quad (2-194)$$

$$\bar{\mu} = \frac{\mu_4 + \mu_5}{2} \quad \text{srednja viskoznost u rotoru} \quad (2-195)$$

$$Re = \frac{\bar{\rho} \cdot \bar{c} \cdot r_4}{\bar{\mu}} \quad \text{Reynolds-ov broj} \quad (2-196)$$

$$k_f = \frac{0,102 \left(\frac{\varepsilon_b}{r_4}\right)^{0,2}}{Re^{0,2}} \quad \text{torzijski koeficijent za turbulentni tok (Re > 10^5) [21]} \quad (2-197)$$

$$k_f = \frac{3,7 \left(\frac{\varepsilon_b}{r_4}\right)^{0,1}}{Re^{0,5}} \quad \text{torzijski koeficijent za laminarni tok (Re < 10^5) [21]} \quad (2-198)$$

$$\Delta h_w = k_f \frac{\bar{\rho} u_4^3 r_4^2}{2\dot{m}} \quad \text{gubitak trenja diska [22]} \quad (2-199)$$

### 2.3.1.5. Gubitak izlaznog ruba

Zbog naglog povećanja protočne površine na izlazu iz rotora dolazi do gubitaka koji su definirani izrazima iz stručne literature [23], [24].

$$\Delta p_{0,rel} = \frac{1}{2} \rho_5 W_5^2 \left[ \frac{Z_r \cdot 0,5 t_{b5}}{\pi(r_{s5} + r_{h5}) \cos(\beta_5)} \right]^2 \quad \text{relativni gubitak tlaka [23]} \quad (2-200)$$

$$\Delta h_{te} = \frac{\Delta p_{0,rel}}{\rho_5} \quad \text{gubitak izlaznog ruba [24]} \quad (2-201)$$

### 2.3.1.6. Gubitak izlazne kinetičke energije

Ovaj gubitak je definiran izrazom iz stručne literature [21] i predstavlja kinetičku energiju fluida na izlazu iz rotora koja nije pretvorena u koristan rad u rotoru.

$$\Delta h_e = \frac{c_3^2}{2} \quad \text{gubitak izlazne kinetičke energije [21]} \quad (2-202)$$

### 2.3.1.7. Ukupni gubitak u rotoru

$$\Delta h_{\text{losses}} = \Delta h_i + \Delta h_p + \Delta h_c + \Delta h_w + \Delta h_{te} + \Delta h_e \quad \text{gubitak u rotoru} \quad (2-203)$$

### 2.3.2. Gubitak u statorskim lopaticama

Gubici uslijed trenja prilikom prolaska kroz mlaznicu procijenjeni su jednadžbom (2-208) iz [25] koja je utemeljena na modelu iz [26].

$$\mu_2 = f(s_2, h_2) \quad \text{viskoznost na ulazu u stator} \quad (2-204)$$

$$\mu_3 = f(s_3, h_3) \quad \text{viskoznost na izlazu iz statora} \quad (2-205)$$

$$\overline{Re}_{stat} = 0,5 \left( \frac{c_2 b_2 \rho_2}{\mu_2} + \frac{c_3 b_3 \rho_3}{\mu_3} \right) \quad \text{prosječni Reynolds-ov broj u statoru} \quad (2-206)$$

$$K_{st} = \frac{0,05}{\overline{Re}_{stat}^{0,2}} \left[ 3 \frac{\tan(\alpha_3)}{\frac{s_{n3}}{c_{n3}}} + s_{n3} \frac{\cos(\alpha_3)}{b_3} \right] \quad \text{koeficijent gubitka u statoru [25]} \quad (2-207)$$

$$\Delta h_{st} = K_{st} \cdot \frac{c_3^2}{2} \quad \text{gubitak u statorskim lopaticama [25]} \quad (2-208)$$

### 2.3.3. Gubitak u ulaznom kanalu

Gubici u ulaznom kanalu su definirani kao pad entalpije prema izrazu iz stručne literature [8].

$$\Delta h_{vol} = 0,1 \cdot \frac{c_2^2}{2} \quad \text{gubitak u ulaznom kanalu [8]} \quad (2-209)$$

### 2.3.4. Ukupni gubitak u turbini

$$\Delta h_{\text{lossstot}} = \Delta h_i + \Delta h_p + \Delta h_c + \Delta h_w + \Delta h_{te} + \Delta h_e + \Delta h_{st} + \Delta h_{vol} \quad \text{ukupni gubitak (2-210)}$$

$$\eta_{ts,tot} = \frac{\Delta h_{act}}{\Delta h_{act} + \Delta h_{losstot}} \quad \text{stupanj korisnosti turbine} \quad (2-211)$$

S novom vrijednosti stupnja korisnosti iz izraza (2-211) ponovno se provodi proračun, počevši od jednadžbe (2-18), do konvergencije na odgovarajuću vrijednost.

## 2.4. Ograničenja konstrukcije

Općenito se izvedivost konstrukcije provjerava CFD i FEA (Finite Element Analysis) analizom na dobivenom 3D modelu radijalne turbine. No i tijekom preliminarnog proračuna moguće je provjeriti zadovoljava li konstrukcija određene uvjete.

### 2.4.1. Elastično naprezanje u rotoru

Izrazom (2-212) iz stručne literature [27] izračunava se elastično naprezanje rotorskih lopatica uzrokovano centrifugalnom silom, gdje je  $\rho$  gustoća materijala rotora. Zatim se provjerava je li iznos naprezanja ispod dopuštene granice. Dopušteno naprezanje dano je izrazom (2-213) gdje je  $\sigma_\gamma$  granica elastičnosti materijala.

$$\sigma_r = 0,3\rho u_4^2 \quad \text{elastično naprezanje rotorskih lopatica [27]} \quad (2-212)$$

$$\sigma_{r,dop} = 0,9\sigma_\gamma \quad \text{dopušteno naprezanje} \quad (2-213)$$

### 2.4.2. Vibracije

Kako se navodi u stručnoj literaturi [24], glavni uzrok vibracija je međudjelovanje statorskih i rotorskih lopatica čija je posljedica frekvencija pobude  $f_{nozzle}$  dana izrazom (2-214). Izlazni rub lopatice rotora smatra se najfleksibilnijim dijelom rotora i stoga najsklonijem vibracijama. Zato se prirodna frekvencija izlaznog ruba rotorske lopatice  $\omega_{rotor}$  uspoređuje s frekvencijom pobude. Prirodna frekvencija rotora dan je izrazom (2-217) iz stručne literature [28]. U stručnoj literaturi [11] je preporučeno da omjer dan izrazom (2-218) bude veći od 4 kako bi se osiguralo da ne dođe do vibracija u rotoru.

$$f_{nozzle} = \frac{N \cdot Z_s}{60} \quad \text{frekvencija pobude [24]} \quad (2-214)$$

$$E = 2 \cdot 10^8 \text{ kPa} \quad \text{Youngov modul} \quad (2-215)$$

$$\nu = 0,5 \quad \text{Poissonov omjer} \quad (2-216)$$

$$\omega_{rotor} = \frac{6,94}{2\pi b_5^2} \left[ \frac{E \cdot t_{b_5}^2}{12 \rho_{steel} (1-\nu^2)} \right]^{0,5} \quad \text{prirodna frekvencija rotora [28]} \quad (2-217)$$

$$control = \frac{f_{nozzle}}{\omega_{rotor}} \quad \text{kontrolni omjer} \quad (2-218)$$

### 2.4.3. Geometrijska ograničenja

Zbog jednostavnije proizvodnje, sprječavanja prevelike zakrivljenosti lopatica te sprječavanja preguste raspodjele lopatica na izlazu iz rotora u stručnoj literaturi [1], [6] su predložena slijedeća ograničenja:

$$\frac{r_{s5}}{r_4} < 0,78 \quad [6] \quad (2-219)$$

$$\frac{r_{h5}}{r_{s5}} > 0,40 \quad [1] \quad (2-220)$$

Ukoliko uvjet (2-20) nije zadovoljen, potrebno je mijenjati odnos između  $r_{h5}$  i  $r_4$  definiran izrazom (2-55).

### 3. POSTAVKA ZADATKA

Zadatak završnog rada je preliminarna konstrukcija turbine s radijalnim ulazom radnog fluida (u daljnjem tekstu radijalna turbina) za potrebe geotermalne elektrane. Pretpostavka je da geotermalna elektrana radi na geotermalnom polju Rečica kod Karlovca. Tehničke karakteristike geotermalnog polja su sljedeće: temperatura geofluida iznosi 120°C, tlak geofluida iznosi 20 bara, dok maseni protok iznosi 94,38 kg/s.

Potrebno je opisati i verificirati matematički model za preliminarni dizajn radijalne turbine (u daljnjem tekstu VUKA model), te ga uključiti u model geotermalne elektrane.

Geotermalna elektrana je izvedena kao osnovna konfiguracija Rankine-ovog ciklusa sa organskim fluidom (u daljnjem tekstu ORC). Problem riješiti upotrebom programskog paketa EES (Engineering Equation Solver), čiji je sastavni dio paket za optimiranje koji koristi genetski algoritam. Konstrukcija radijalne turbine zadovoljava maksimalnu vrijednost funkcije cilja. Optimiranje će se provesti za dvije funkcije cilja: eksergetski stupanj korisnosti postrojenja i neto dobivenu snagu postrojenja. Pretpostaviti da je kondenzator hlađen zrakom, a da je temperatura kondenzacije 30°C, dok je vrijednost minimalne temperaturne razlike (na engleskom: „pinch point“) kondenzatora 5°C. Proračuni će se provesti za radne fluide R32, R134a, R143a, R290, R1234yf i propilen te naredne konfiguracije ORC-a:

1. Radni fluid u podkritičnom području, minimalna temperaturna razlika između geofluida i radnog fluida  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , brzina vrtnje radijalne turbine  $N=3000$  o/min
2. Radni fluid u podkritičnom području, minimalna temperaturna razlika između geofluida i radnog fluida  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , brzina vrtnje radijalne turbine  $N=3000$  o/min
3. Radni fluid u podkritičnom području, minimalna temperaturna razlika između geofluida i radnog fluida  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ , brzina vrtnje radijalne turbine  $N\neq 3000$  o/min
4. Radni fluid u podkritičnom području, minimalna temperaturna razlika između geofluida i radnog fluida  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , brzina vrtnje radijalne turbine  $N\neq 3000$  o/min
5. Radni fluid u nadkritičnom području, minimalna temperaturna razlika između geofluida i radnog fluida  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , brzina vrtnje radijalne turbine  $N\neq 3000$  o/min
6. Radni fluid u nadkritičnom području, minimalna temperaturna razlika između geofluida i radnog fluida  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ , brzina vrtnje radijalne turbine  $N=3000$  o/min

Brzina vrtnje od 3000 o/min odabrana je zato što je to brzina vrtnje klasičnog generatora konstruiranog za električnu mrežu frekvencije 50 Hz. U tom slučaju nije potrebna primjena reduktora ili multiplikatora.

Vrijednosti kritičnih tlakova i temperatura te molarne mase za analizirane radne fluide navedeni su u tablici 1.

Tablica 1: Kritični tlak i temperatura te molarna masa radnih fluida

Radni fluid	$T_{cr}$ (°C)	$p_{cr}$ (bar)	$M$ (g/mol)
R290	96,74	42,5	44,0
R1234yf	94,70	33,80	114,04
R134a	101,03	40,56	102
R143a	72,73	37,64	84,04
Propilen	92,42	46,65	42,08
R32	78,1	57,82	52,02

Potrebno je provesti detaljnu analizu dobivenih rezultata, te definirati odgovarajuće zaključke.

## 4. RAZRADA ZADATKA I ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

### 4.1. Usporedba matematičkog modela radijalne turbine s rezultatima objavljenim u stručnoj literaturi

Model turbine uspoređen je sa radovima [7] i [29]. Rezultati su prikazani tablično. U zagradama su navedena odstupanja od VUKA modela.

#### 4.1.1. Usporedba VUKA modela s stručnom literaturom [7]

U tablici 2 je prikazana usporedba rezultata s [7]. Autor u [7] zadaje specifičnu brzinu  $N_s$  i omjer brzina  $v_s$  dok je u danom modelu brzina vrtnje turbine ulazna veličina. U svrhu usporedbe zadana je brzina vrtnje koja odgovara specifičnoj brzini iz literature [7] prema izrazu (2-15), a omjer brzina je izračunat prema izrazu (2-16). Veliko odstupanje u vrijednosti stupnja korisnosti  $\eta_{ts}$  je zbog toga što autor [7] koristi noviji model gubitaka predložen u [1], dok se u VUKA modelu koristi kombinacija modela gubitaka navedena u poglavlju 2.

Zatim je VUKA model izmijenjen tako da su umjesto broja okreta ulazne veličine specifična brzina  $N_s$  i omjer brzina  $v_s$ , te uspoređen s [7]. Tablica 3 prikazuje rezultate kada se za  $N_s$  i  $v_s$  zadaju vrijednosti kao u [7]. Za sve veličine osim  $\beta_{5blade}$  odstupanje postaje manje od odstupanja prikazanih u prethodnoj tablici. Za neke veličine, kao što su polumjeri u karakterističnim točkama odstupanje postaje manje od 1%.

Nakon gore provedenih usporedbi, provedena je optimizacija genetskim algoritmom. Kao funkcija cilja zadan je stupanj djelovanja turbine, a kao nezavisne varijable  $N_s$  i  $v_s$ . Ostale ulazne veličine su iste kao u slučaju usporedbe s [7]. Tablica 4 prikazuje rezultate optimiranja u usporedbi s rezultatima dobivenim sa zadanim vrijednostima  $N_s$  i  $v_s$ .

Prema stručnoj literaturi [1], kako se navodi i u [7], najbolji stupanj djelovanja turbina ima za  $N_s$  u rasponu od 0,45 do 0,65, dok se u tom slučaju  $v_s$  nalazi u uskom području oko 0,65. VUKA model se podudara s tim rezultatima.



Tablica 2: Usporedba VUKA modela s literaturom [7]

<b>Ulazni podaci</b>	Da Lio [7]	VUKA model
Radni fluid	R245fa	
$\dot{m}$ [kg/s]	20	
$T_{01}$ [°C]	65	
$p_{01}$ [bar]	4,63	
$p_5$ [bar]	1,976	
$N_s$	0,45	/
$v_s$	0,65	/
$N$ [min <sup>-1</sup> ]	/	4479
<b>Rezultati</b>		
$r_4$ [m]	0,246 (+3,58%)	0,2375
$Z_r$ [-]	23 (0%)	23
$\beta_{4blade}$ [°]	0 (0%)	0
$k_{B4}$ [-]	0,85 (-0,42%)	0,8536
$b_4$ [m]	0,032 (-4,99%)	0,03368
$r_{s5}$ [m]	0,170 (+2,91%)	0,1652
$r_{h5}$ [m]	0,068 (+3,59%)	0,06564
$b_5$ [m]	0,102 (+2,41%)	0,0996
$\beta_{5blade}$ [°]	58,5 (-1,88%)	59,62
$Z$ [m]	0,153 (+2,42%)	0,1494
$b_3$ [m]	0,032 (-4,99%)	0,03368
$b_2$ [m]	0,032 (-4,99%)	0,03368
$r_3$ [m]	0,260 (+2,6%)	0,2534
$o_{n3}$ [m]	0,0122 (+11,52%)	0,01094
$c_{n3}$ [m]	0,0752 (+6,26%)	0,07077
$\gamma_3$ [°]	9,0 (-36,35%)	14,14
$r_2$ [m]	0,28 (+4,48%)	0,268
$\gamma_2$ [°]	24,3 (+3,32%)	23,52
$\beta_2$ [°]	24,3 (+3,32%)	23,52
$Z_s$	29 (-3,33%)	30
$r_1$ [m]	0,377 (+5,31%)	0,358
$A_1$ [m <sup>2</sup> ]	0,030 (+8,69%)	0,0276
$SP$ [m]	0,12 (-1,72%)	0,1221
$VR$	2,3 (+1,1%)	2,275
$\eta_{ts}$ [%]	88,9 (+10,92%)	80,15

Tablica 3:Usporedba VUKA modela i literature [7] sa  $N_s$  i  $v_s$  kao ulaznim parametrima

<b>Ulazni podaci</b>	Da Lio[7]	VUKA model
Radni fluid	R245fa	
$\dot{m}$ [kg/s]	20	
$T_{01}$ [°C]	65	
$p_{01}$ [bar]	4,63	
$p_5$ [bar]	1,976	
$N_s$	0,45	0,45
$v_s$	0,65	0,65
<b>Rezultati</b>		
$r_4$ [m]	0,246 (-0,08%)	0,2462
$Z_r$ [-]	23 (0%)	23
$\beta_{4blade}$ [°]	0 (0%)	0
$k_{B4}$ [-]	0,85 (-0,42%)	0,8536
$b_4$ [m]	0,032 (-2,32%)	0,03276
$r_{s5}$ [m]	0,170 (-0,76%)	0,1713
$r_{h5}$ [m]	0,068 (-0,07%)	0,06805
$b_5$ [m]	0,102 (-1,26%)	0,1033
$\beta_{5blade}$ [°]	58,5 (-4,98%)	61,57
$Z$ [m]	0,153 (-1,23%)	0,1549
$b_3$ [m]	0,032 (-2,32%)	0,03276
$b_2$ [m]	0,032 (-2,32%)	0,03276
$r_3$ [m]	0,260 (-0,65%)	0,2617
$o_{n3}$ [m]	0,0122 (+7,39%)	0,01136
$c_{n3}$ [m]	0,0752 (+3,01%)	0,07308
$\gamma_3$ [°]	9,0 (-36,66%)	14,21
$r_2$ [m]	0,28 (+1,16%)	0,2768
$\gamma_2$ [°]	24,3 (+2,97%)	23,6
$\beta_2$ [°]	24,3 (+2,97%)	23,6
$Z_s$	29 (-3,33%)	30
$r_1$ [m]	0,377 (+2,78%)	0,3668
$A_1$ [m <sup>2</sup> ]	0,030 (+8,58%)	0,02763
$SP$ [m]	0,12 (-1,72%)	0,1221
$VR$	2,3 (+0,83%)	2,281
$\eta_{ts}$ [%]	88,9 (+11,95%)	79,41

Tablica 4: Usporedba optimiziranog VUKA modela i modela sa zadanim parametrima

<b>Ulazni podaci</b>	VUKA model (optimiziran)	VUKA model
Radni fluid	R245fa	
$\dot{m}$ [kg/s]	20	
$T_{01}$ [°C]	65	
$p_{01}$ [bar]	4,63	
$p_5$ [bar]	1,976	
$N_s$	0,6149	0,45
$v_s$	0,6549	0,65
<b>Rezultati</b>		
$r_4$ [m]	0,1797	0,2462
$Z_r$ [-]	20	23
$\beta_{4blade}$ [°]	0	0
$k_{B4}$ [-]	0,8727	0,8536
$b_4$ [m]	0,03712	0,03276
$r_{s5}$ [m]	0,1248	0,1713
$r_{h5}$ [m]	0,04967	0,06805
$b_5$ [m]	0,07512	0,1033
$\beta_{5blade}$ [°]	54,47	61,57
$Z$ [m]	0,1127	0,1549
$b_3$ [m]	0,03712	0,03276
$b_2$ [m]	0,03712	0,03276
$r_3$ [m]	0,2004	0,2617
$o_{n3}$ [m]	0,01173	0,01136
$c_{n3}$ [m]	0,06456	0,07308
$\gamma_3$ [°]	16,13	14,21
$r_2$ [m]	0,216	0,2768
$\gamma_2$ [°]	27,09	23,6
$\beta_2$ [°]	27,09	23,6
$Z_s$	26	30
$r_1$ [m]	0,311	0,3668
$A_1$ [m <sup>2</sup> ]	0,03093	0,02763
$SP$ [m]	0,122	0,1221
$VR$	2,235	2,281
$\eta_{ts}$ [%]	81,43	79,41

#### 4.1.2. Usporedba VUKA modela s stručnom literaturom [29]

VUKA model uspoređen je sa modelom iz literature [29] te s još dva modela s kojima autor [29] uspoređuje svoj model. Tablica 5 prikazuje ulazne podatke navedene u literaturi [16] na kojima se temelji usporedba. Tablica 6 prikazuje rezultate usporedbe.

Tablica 5: Ulazni podaci za usporedbu s literaturom [29]

Radni fluid	Argon
$N$	38000 min <sup>-1</sup>
$T_{01}$	810,2°C
$P_{01}$	0,9101 bar
$\dot{m}$	0,2771 kg/s
$P_{01}/P_5$	1,61
$Z_s$	16
$Z_r$	12

Tablica 6: Rezultati usporedbe s literaturom [29]

Parametar	Glassman [16]	RITAL [11]	Rahbar [29]	VUKA model
$r_2$ [m]	0,09775 (-3,69%)	0,1033 (+1,77%)	0,09911 (-2,35%)	0,1015
$b_2$ [m]	-	0,01221 (-42,02%)	0,01219 (-42,12%)	0,02106
$r_3$ [m]	0,07983 (-9,23%)	0,08268 (-5,99%)	0,08133 (-7,53%)	0,08795
$b_3$ [m]	-	0,01221 (-42,02%)	0,01219 (-42,12%)	0,02106
$\alpha_3$ [°]	72 (-1,22%)	63,39 (-13,03%)	68,11 (-6,56%)	72,89
$r_4$ [m]	0,0777 (+3,36%)	0,07874 (+4,75%)	0,07888 (+4,93%)	0,07517
$b_4$ [m]	-	0,01221 (-42,02%)	0,01219 (-42,12%)	0,02106
$r_{h5}$ [m]	0,01936 (+3,36%)	0,02362 (+26,11%)	0,02312 (+23,44%)	0,01873
$r_{s5}$ [m]	0,05542 (-2,36%)	0,05591 (-1,49%)	0,05546 (-2,29%)	0,05676
$\alpha_4$ [°]	71,92 (-0,58%)	63,13 (-12,73%)	63,51 (-12,21%)	72,34
$\beta_4$ [°]	-31,50 (-35,13%)	-26,27 (-12,7%)	-26,64 (-14,28%)	-23,31
$\alpha_5$ [°]	0	-0,01	0	0
$\beta_5$ [°]	-54,90 (-5,23%)	-55,58 (-6,54%)	-53,76 (-3,05%)	-52,17
$\eta_{ts}$	0,82 (+3,26%)	0,79 (-0,52%)	0,788 (-0,77%)	0,7941
$W$ [kW]	22,371 (-0,04%)	22,371 (-0,04%)	22,371 (-0,04%)	22,38

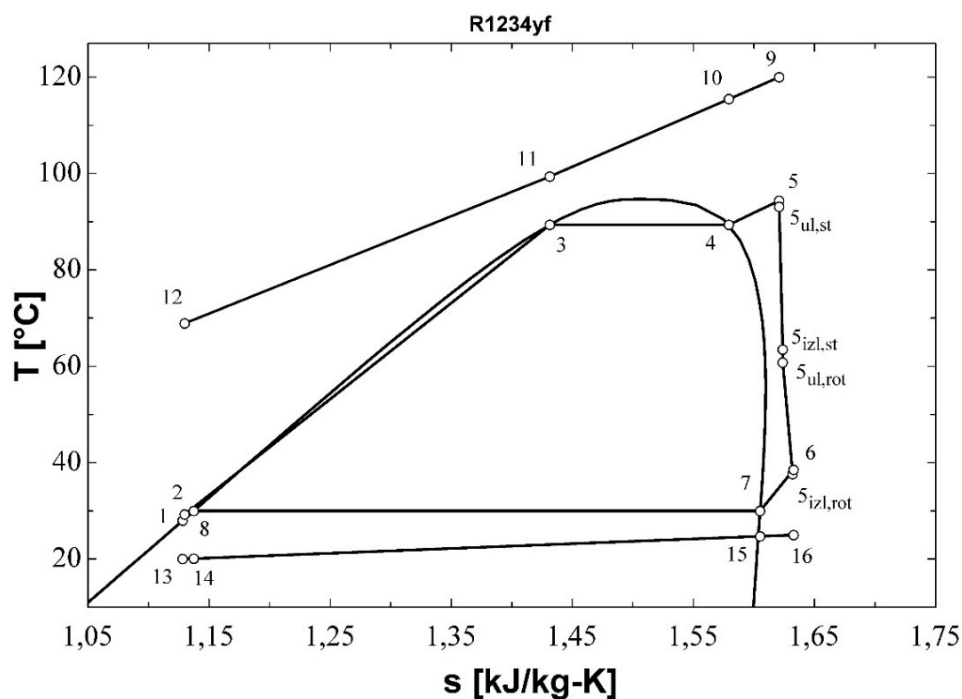
VUKA model se dobro slaže s promatranim modelima u dobivenoj snazi i stupnju korisnosti, dok postoje velika odstupanja u geometrijskim veličinama, pogotovo u odnosu na literaturu [11] i [29].

Bitno je napomenuti da se u VUKA modelu definiraju bezdimenzijski parametri  $N_s$  i  $v_s$  preko kojih se definiraju veličine u trokutu brzina na ulazu u rotor (izrazi (2-22) i (2-23)) dok autori u [11] i [29] temelje svoj proračun na drugim bezdimenzijskim značajkama što pridonosi razlikama u geometrijskim veličinama.

#### **4.2. Optimiranje parametara ORC ciklusa s radijalnom turbinom**

U matematički model ORC ciklusa uključen je model radijalne turbine. U većini proračuna ORC ciklusa zadaje se fiksna vrijednost stupnja korisnosti turbine  $\eta_t$ , dok se u danom proračunu  $\eta_t$  proračunava zajedno sa parametrima ciklusa što daje realnije rezultate. Rezultati optimiranja će pokazati koji radni fluid i konfiguracija parametara ciklusa ima najbolje vrijednosti funkcija cilja. Jedan od ciljeva optimiranja je i vidjeti kakve su vrijednosti glavnih gabarita radijalne turbine u ovisnosti o parametrima ciklusa.

U narednim dijagramima i prikazima rezultata promijenjene su oznake karakterističnih točaka radijalne turbine. Točka 1 u proračunu turbine ima oznaku 5 u proračunu ciklusa. Točka 2 turbine ima oznaku  $5_{ul,st}$  u proračunu ciklusa. Točka 3 turbine ima oznaku  $5_{izl,st}$  u proračunu ciklusa. Točka 4 turbine ima oznaku  $5_{ul,rot}$  u ciklusu. Točka 5 turbine ima oznaku  $5_{izl,rot}$  u ciklusu. Oznaka točke 6 je nepromijenjena. Na slici 17 je prikazan primjer T-s dijagrama ORC ciklusa na kojemu se vide i promijenjene oznake.



Slika 17:  $T$ - $s$  dijagram osnovnog podkritičnog ciklusa

Optimizacija se provela korištenjem genetskog algoritma u programskom paketu EES (Engineering Equation solver) sa narednim parametrima genetskog algoritma: broj jedinki je 16, broj generacija je 64, dok je stopa mutacije 0,2.

Za optimizaciju u podkritičnom području kao nezavisne varijable izabrane su tlak na ulazu u turbinu  $p_5$  i stupanj pregrijanja  $\Delta T_{SH}$  koji uz temperaturu zasićenja za pripadajući tlak ( $p_5$ ) određuje temperaturu na ulazu u turbinu. U slučaju kad brzina vrtnje nije zadana, uzeta je kao nezavisna varijabla. Za nezavisne varijable zadane su sljedeće granice unutar kojih se tražila optimalna vrijednost:

$$p_5: \text{od } (p_{cond} + 1) \text{ do } 0,9p_{cr}$$

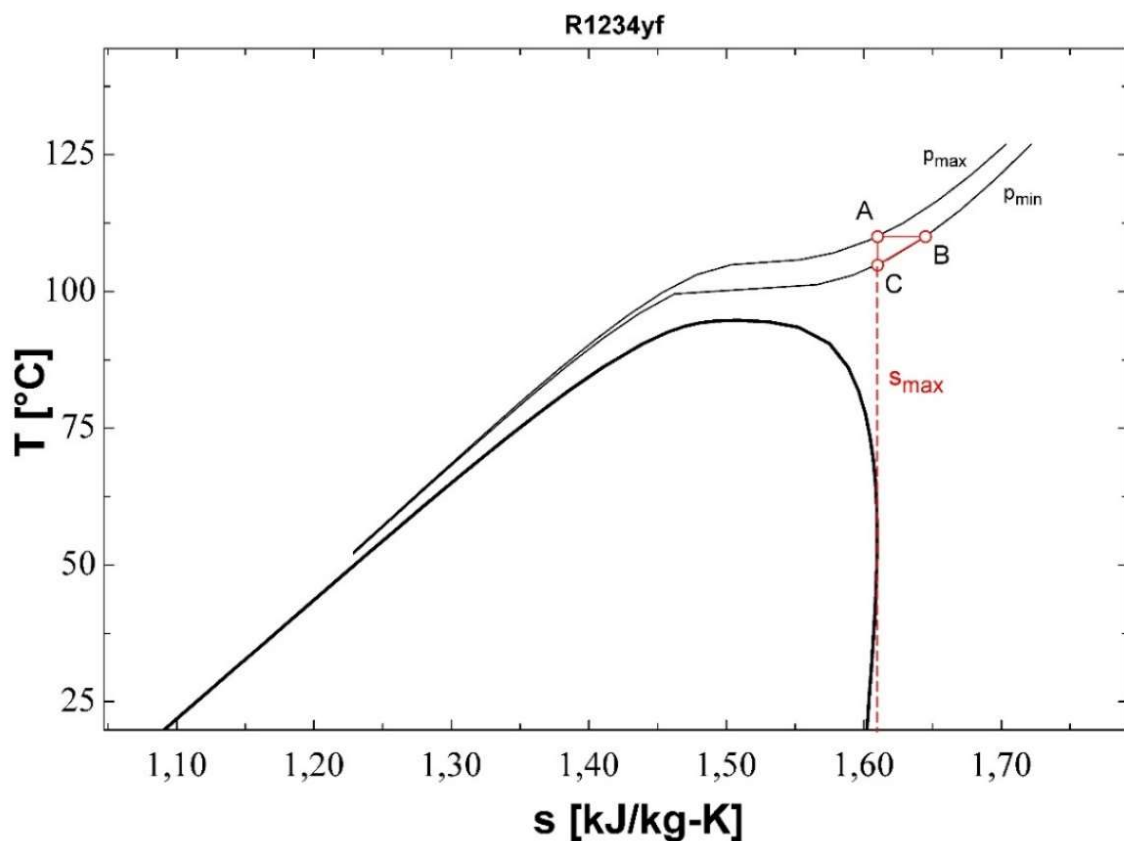
$$\Delta T_{SH}: \text{od } 5^\circ\text{C do } 15^\circ\text{C}$$

$$N: \text{od } 1000 \text{ do } 20000 \text{ o/min}$$

Za nadkritično područje nezavisne varijable su tlak i temperatura na ulazu u turbinu te brzina vrtnje ukoliko nije zadana. Zadano je nekoliko ograničenja kojim se definiralo područje u kojem se traže optimalne vrijednosti. Zadan je minimalni tlak  $p_{min}=1,1p_{cr}$  kako bi se osiguralo da je fluid u nadkritičnom području. Određena je točka na krivulji zasićenja sa maksimalnom entropijom  $s_{max}$ .

Ta vrijednost entropije je uvedena kao ograničenje kako bi se osiguralo da se ekspanzija u turbini u potpunosti odvija u području pregrijane pare. Maksimalna temperatura je ograničena izrazom:  $T_{max}=T_{geo}-10^{\circ}\text{C}$ . Za u ovom slučaju zadane karakteristike geotermalnog polja  $T_{max} = 110^{\circ}\text{C}$ . Minimalna temperatura odgovara temperaturi u točki stanja sa entropijom  $s_{max}$  i tlakom  $p_{min}$ . Maksimalni dopušteni tlak je tlak koji odgovara točki stanja sa entropijom  $s_{max}$  i temperaturom  $T_{max}$ . Na slici 18 prikazano je područje u kojemu se moraju nalaziti optimalne vrijednosti tlaka i temperature za R1234yf, gdje je: A( $s_{max}, T_{max}$ ), B( $p_{min}, T_{max}$ ) i C( $p_{min}, s_{max}$ ).

Fiksni parametri ORC ciklusa su sljedeći: temperatura ( $T_{geo,in}$ ) i tlak ( $p_{geo}$ ) geotermalnog fluida, ulazna temperatura ( $T_{air,in}$ ) i tlak ( $p_{atm}$ ) zraka za hlađenje kondenzatora, temperatura kondenzacije  $T_{cond}$ , te minimalna temperaturna razlika (na engleskom: „pinch point“) kondenzatora  $\Delta T_{cond}$ . Vrijednosti tih veličina prikazane su u tablici 7.



Slika 18: Dopušteno područje ulaznih tlakova i temperatura turbine za R1234yf

Tablica 7: Fiksni parametri ORC ciklusa

Veličina	Iznos
$T_{geo,in}$	120°C
$p_{geo}$	20 bar
$T_{air,in}$	20°C
$p_{atm}$	1 bar
$T_{cond}$	30°C
$\Delta T_{cond}$	5°C

Optimizacija se provela za dvije funkcije cilja: eksergetski stupanj korisnosti postrojenja  $\eta_{plant,ex}$  i neto dobivenu snagu postrojenja  $W_{net}$ . Funkcije cilja su maksimizirane za naredne konfiguracije ORC ciklusa:

1. Radni fluid u podkritičnom području,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$  o/min
2. Radni fluid u podkritičnom području,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$  o/min
3. Radni fluid u podkritičnom području,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$  o/min
4. Radni fluid u podkritičnom području,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$  o/min
5. Radni fluid u nadkritičnom području,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$  o/min
6. Radni fluid u nadkritičnom području,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$  o/min

Brzina vrtnje od 3000 o/min odabrana je zato što je to brzina vrtnje klasičnog generatora konstruiranog za električnu mrežu frekvencije 50 Hz. U tom slučaju nije potrebna primjena reduktora ili multiplikatora.

Optimizacija se provela za 6 navedenih fluida osim za nadkritično područje. U tom slučaju optimizacija se provela samo za R1234yf i R143a. Ostali fluidi nisu zadovoljili ograničenja koja moraju zadovoljiti veličine na ulazu u turbinu prilikom rada u nadkritičnom području.

### 4.3. Analiza rezultata

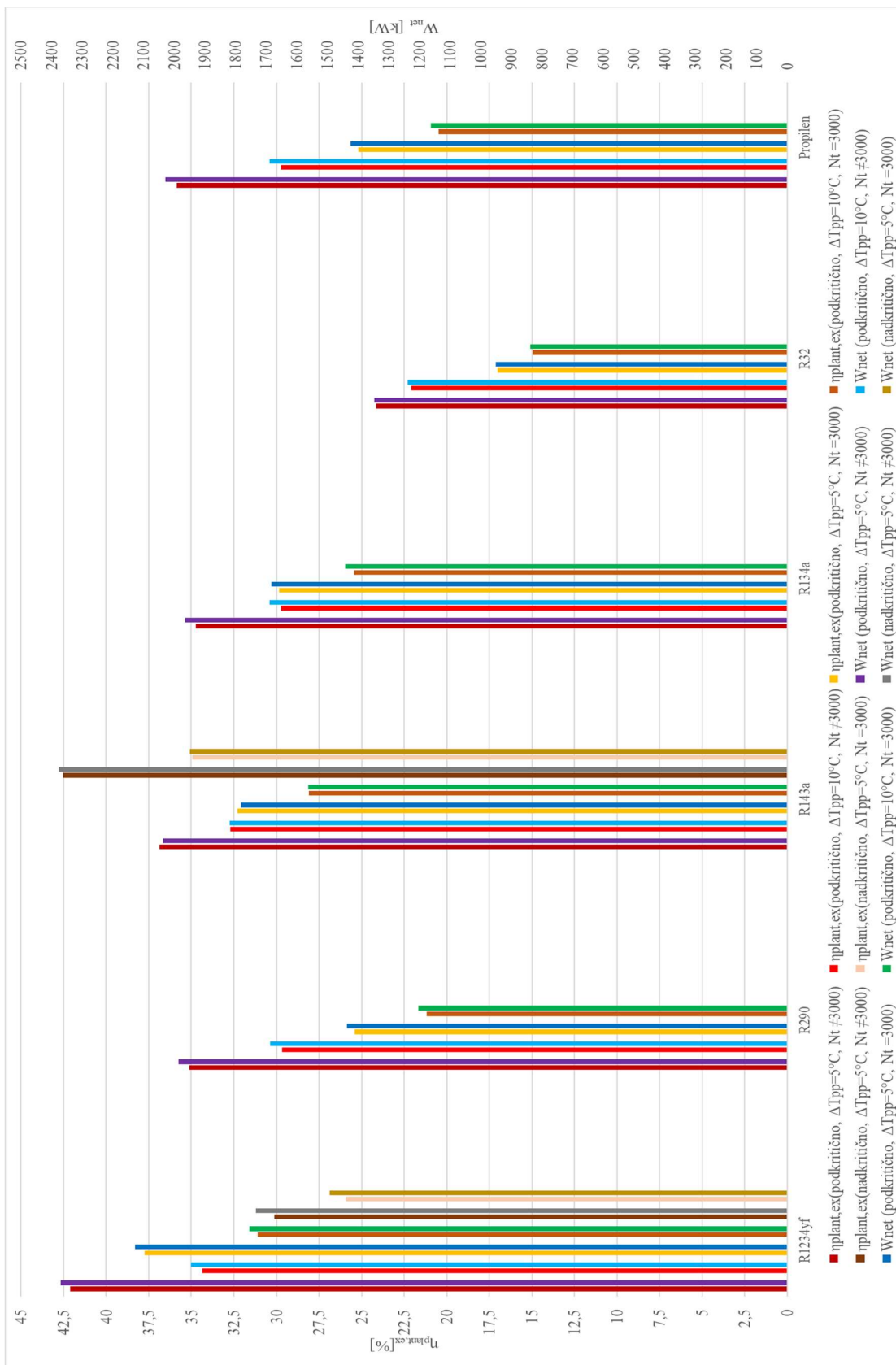
Detaljne tablice i pripadajući T-s dijagrami rezultata optimizacije nalaze se u prilogu.

Slika 19 prikazuje iznose eksergetskog stupnja korisnosti postrojenja  $\eta_{plant,ex}$  i neto dobivene snage  $W_{net}$  za sve konfiguracije, sa  $\eta_{plant,ex}$  kao funkcijom cilja. Slika 20 prikazuje iste veličine sa  $W_{net}$  kao funkcijom cilja. Iz dobivenih rezultata se može primijetiti da se prilikom maksimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  dobije skoro potpuno isti  $W_{net}$  koji se dobije i maksimiziranjem  $W_{net}$ . Isto vrijedi i u obrnutom slučaju.

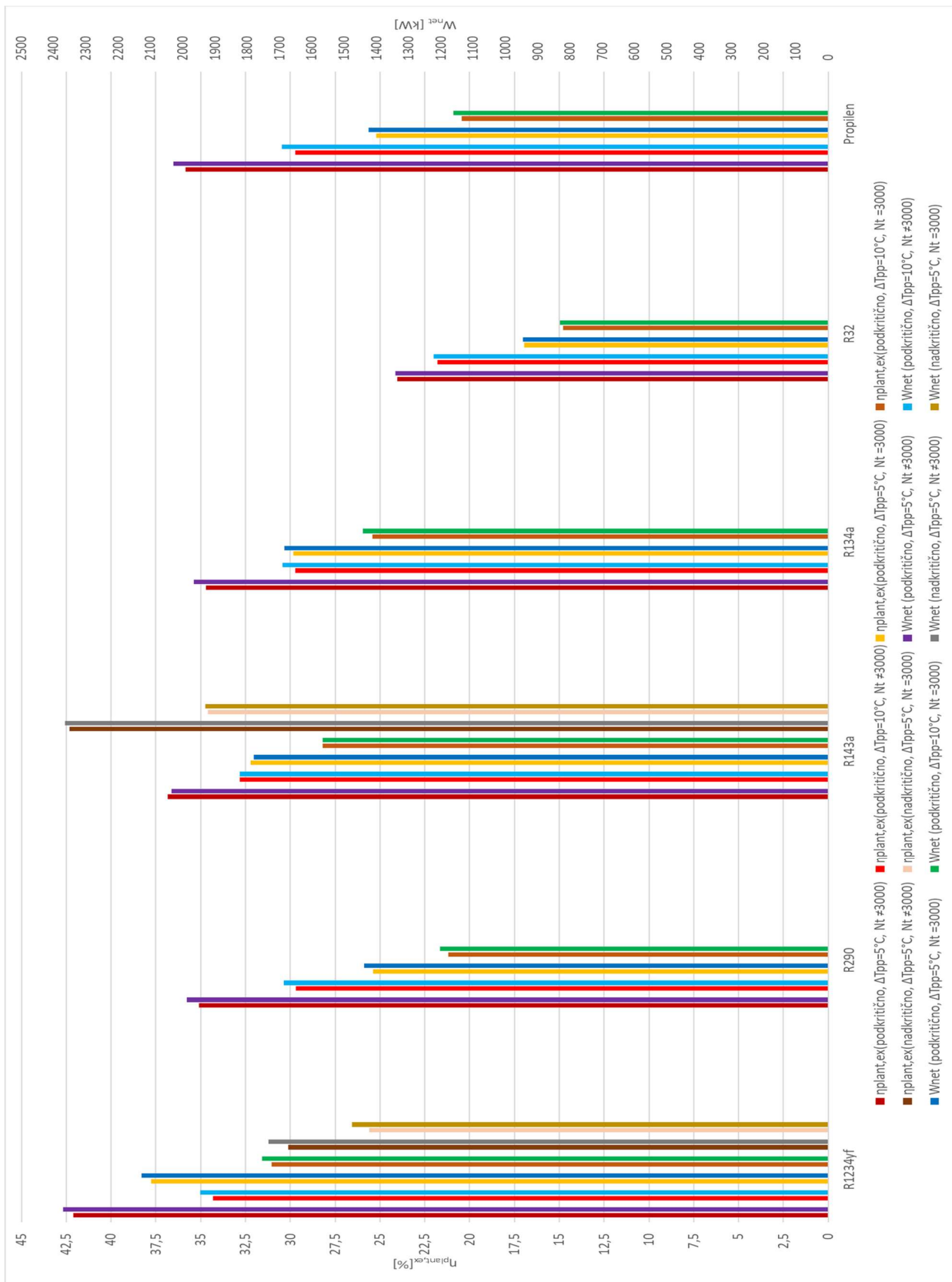


Rezultati pokazuju da uz iste ostale uvjete konfiguracije sa  $N=3000$  o/min imaju manje  $\eta_{plant,ex}$  i  $W_{net}$  nego konfiguracije sa  $N \neq 3000$ . Za sve analizirane fluide optimalna brzina vrtnje je veće od 3000. Kada je  $\Delta T_{pp} = 5^\circ\text{C}$  dobiju se bolji  $\eta_{plant,ex}$  i  $W_{net}$  nego sa  $\Delta T_{pp} = 10^\circ\text{C}$ . Od dva fluida analizirana u nadkritičnom području, R143a ima bolje  $\eta_{plant,ex}$  i  $W_{net}$  u odnosu na podkritično područje, dok R1234yf ima lošije.

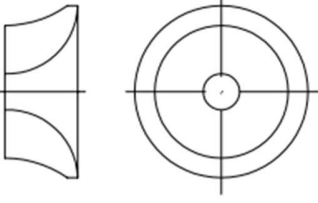
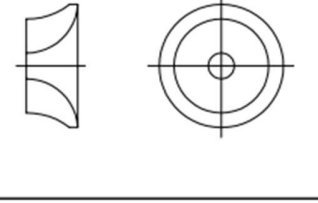
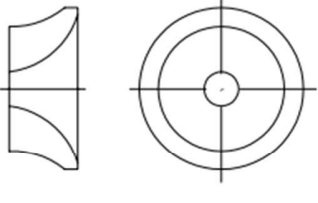
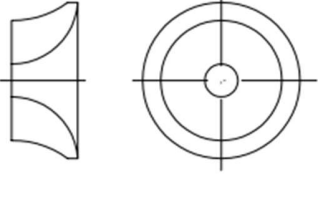
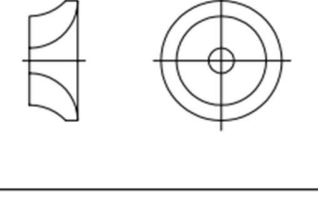

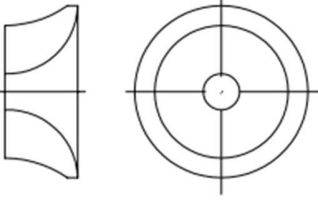
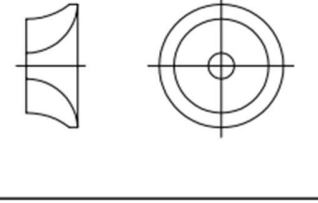
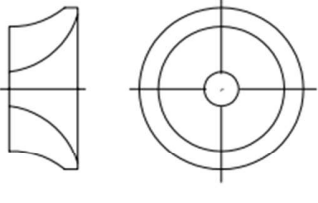
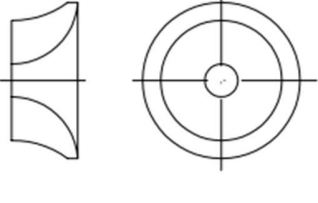
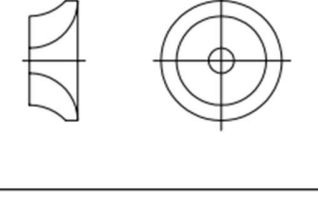

Na slikama 21 – 25 tablično su prikazane konture rotora za određene funkcije cilja i konfiguracije parametara ORC-a. U tablicama su navedeni iznosi dvije funkcije cilja, visina rotora  $Z$ , ulazni promjer rotora  $d_4$  te zadani, odnosno optimalna brzina vrtnje.



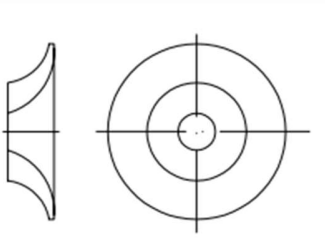
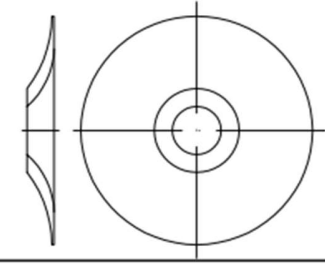
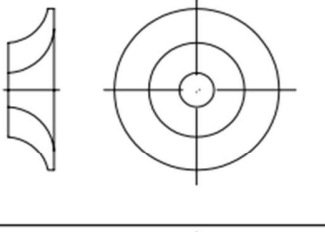
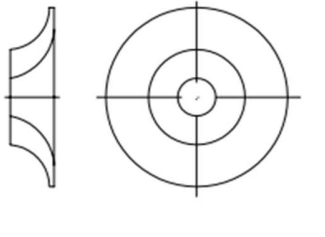
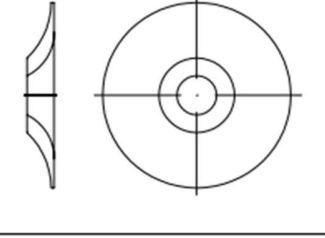
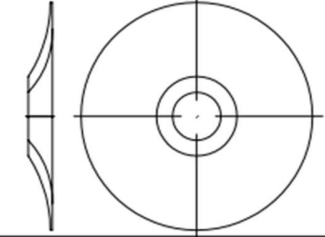
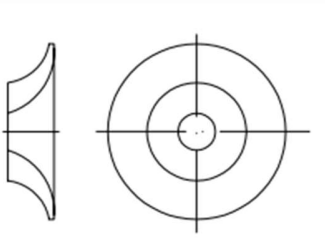
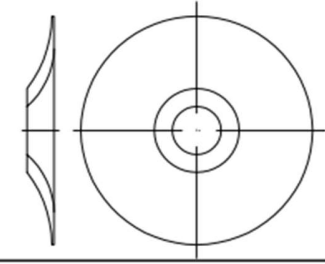
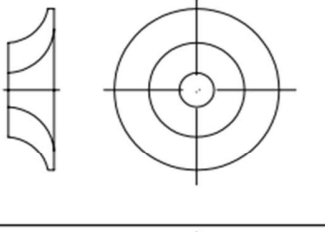
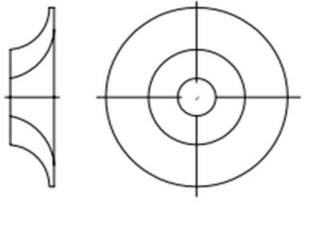
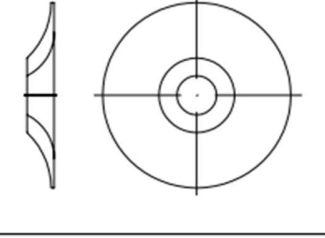
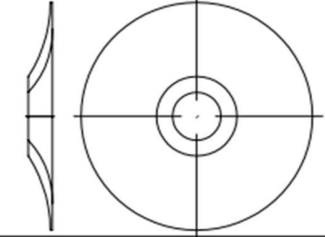
Slika 19: Dijagram za rezultate optimiranja; funkcija cilja  $\eta_{plant,ex}$



Slika 20: Dijagram za rezultate optimiranja, funkcija cilja  $W_{net}$

	R1234yf	R290	R143a	R134a	R32	Propilen
	$\eta_{plant,ex} = 42,1\%$   $W_{net} = 2371kW$ $Z = 0,2055$ m   $d_a = 0,489$ m $N = 5689$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 35,11\%$   $W_{net} = 1986kW$ $Z = 0,1451$ m   $d_a = 0,3502$ m $N = 11898$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 36,87\%$   $W_{net} = 2037kW$ $Z = 0,1935$ m   $d_a = 0,4624$ m $N = 5462$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 34,73\%$   $W_{net} = 1965kW$ $Z = 0,1864$ m   $d_a = 0,4442$ m $N = 6612$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 24,16\%$   $W_{net} = 1348kW$ $Z = 0,136$ m   $d_a = 0,341$ m $N = 8489$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 35,84\%$   $W_{net} = 2029kW$ $Z = 0,1317$ m   $d_a = 0,3242$ m $N = 13218$ o/min
$\Delta T_{pp} = 5^\circ C$						
	$\eta_{plant,ex} = 34,34\%$   $W_{net} = 1945kW$ $Z = 0,1974$ m   $d_a = 0,4734$ m $N = 5606$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 29,68\%$   $W_{net} = 1687kW$ $Z = 0,1394$ m   $d_a = 0,3374$ m $N = 11959$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 32,71\%$   $W_{net} = 1820kW$ $Z = 0,1822$ m   $d_a = 0,4434$ m $N = 5732$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 29,73\%$   $W_{net} = 1690kW$ $Z = 0,1808$ m   $d_a = 0,4314$ m $N = 6624$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 22,08\%$   $W_{net} = 1238kW$ $Z = 0,1315$ m   $d_a = 0,2458$ m $N = 8614$ o/min	$\eta_{plant,ex} = 29,73\%$   $W_{net} = 1690kW$ $Z = 0,1267$ m   $d_a = 0,3064$ m $N = 13411$ o/min
$\Delta T_{pp} = 10^\circ C$						

Slika 21: Tablični prikaz usporedba gabarita rotora, funkcija cilja  $\eta_{plant,ex}$ ,  $N \neq 3000$ , podkritično

	R1234yf	R290	R143a	R134a	R32	Propilen
	$\eta_{plant,ex} = 37,76\%$   $W_{net} = 2127kW$ $Z = 0,2148$ m   $d_q = 0,8232$ m	$\eta_{plant,ex} = 25,4\%$   $W_{net} = 1437kW$ $Z = 0,1254$ m   $d_q = 1,0712$ m	$\eta_{plant,ex} = 32,3\%$   $W_{net} = 1783kW$ $Z = 0,2121$ m   $d_q = 0,762$ m	$\eta_{plant,ex} = 29,85\%$   $W_{net} = 1684kW$ $Z = 0,2026$ m   $d_q = 0,841$ m	$\eta_{plant,ex} = 17,01\%$   $W_{net} = 950,2kW$ $Z = 0,1252$ m   $d_q = 0,8698$ m	$\eta_{plant,ex} = 25,2\%$   $W_{net} = 1424kW$ $Z = 0,1109$ m   $d_q = 1,0698$ m
	N=3000 o/min	N=3000 o/min	N=3000 o/min	N=3000 o/min	N=3000 o/min	N=3000 o/min
						
$\Delta T_{pd} = 5^\circ C$						
	$\eta_{plant,ex} = 31,09\%$   $W_{net} = 1755kW$ $Z = 0,2198$ m   $d_q = 0,7774$ m	$\eta_{plant,ex} = 21,19\%$   $W_{net} = 1203kW$ $Z = 0,125$ m   $d_q = 1,04$ m	$\eta_{plant,ex} = 28,11\%$   $W_{net} = 1562kW$ $Z = 0,1994$ m   $d_q = 0,7552$ m	$\eta_{plant,ex} = 25,43\%$   $W_{net} = 1442kW$ $Z = 0,1974$ m   $d_q = 0,4314$ m	$\eta_{plant,ex} = 14,94\%$   $W_{net} = 839,3kW$ $Z = 0,1188$ m   $d_q = 0,8644$ m	$\eta_{plant,ex} = 20,46\%$   $W_{net} = 1162kW$ $Z = 0,1099$ m   $d_q = 1,0294$ m
	N=3000 o/min	N=3000 o/min	N=3000 o/min	N=3000 o/min	N=3000 o/min	N=3000 o/min
						
$\Delta T_{pd} = 10^\circ C$						

Slika 22: Tablični prikaz usporedbe gabarita rotora, funkcija cilja  $\eta_{plant,ex}$ ,  $N=3000$ , podkritično


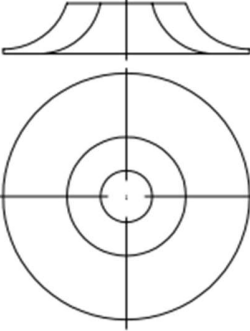

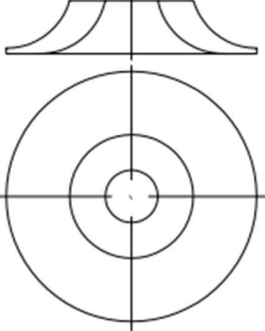

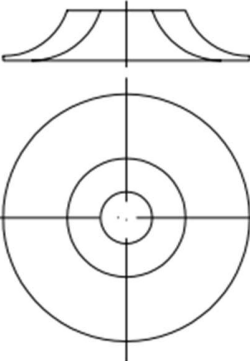

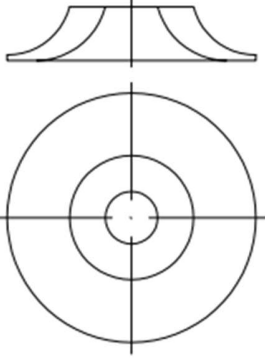
	R1234yf	R290	R143a	R134a	R32	Propilen
	$\eta_{\text{pion,se}} = 42,09\%$   $W_{\text{net}} = 2371\text{KW}$ $Z=0,2052\text{ m}$   $d_4 = 0,4854\text{ m}$ N=5739 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 35,11\%$   $W_{\text{net}} = 1987\text{KW}$ $Z=0,1423\text{ m}$   $d_4 = 0,3414\text{ m}$ N=12287 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 36,83\%$   $W_{\text{net}} = 2034\text{KW}$ $Z=0,1937\text{ m}$   $d_4 = 0,4676\text{ m}$ N=5403 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 34,71\%$   $W_{\text{net}} = 1966\text{KW}$ $Z=0,185\text{ m}$   $d_4 = 0,4402\text{ m}$ N=6703 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 24,03\%$   $W_{\text{net}} = 1341\text{KW}$ $Z=0,1365\text{ m}$   $d_4 = 0,3438\text{ m}$ N=8395 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 35,85\%$   $W_{\text{net}} = 2029\text{KW}$ $Z=0,1311\text{ m}$   $d_4 = 0,3142\text{ m}$ N=13704 o/min
$\Delta T_{\text{pd}} = 5^\circ\text{C}$						
	$\eta_{\text{pion,se}} = 34,32\%$   $W_{\text{net}} = 1945\text{KW}$ $Z=0,1962\text{ m}$   $d_4 = 0,470\text{ m}$ N=5671 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 29,67\%$   $W_{\text{net}} = 1687\text{KW}$ $Z=0,1389\text{ m}$   $d_4 = 0,3358\text{ m}$ N=12045 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 32,8\%$   $W_{\text{net}} = 1824\text{KW}$ $Z=0,1838\text{ m}$   $d_4 = 0,446\text{ m}$ N=5653 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 29,73\%$   $W_{\text{net}} = 1691\text{KW}$ $Z=0,1803\text{ m}$   $d_4 = 0,4326\text{ m}$ N=6617 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 21,8\%$   $W_{\text{net}} = 1222\text{KW}$ $Z=0,1321\text{ m}$   $d_4 = 0,3376\text{ m}$ N=8507 o/min	$\eta_{\text{pion,se}} = 29,72\%$   $W_{\text{net}} = 1692\text{KW}$ $Z=0,1251\text{ m}$   $d_4 = 0,3014\text{ m}$ N=13758 o/min
$\Delta T_{\text{pd}} = 10^\circ\text{C}$						

Slika 23: Tablični prikaz usporedbe gabarita rotora, funkcija cilja  $W_{\text{net}}$ ,  $N \neq 3000$ , podkritično

	R1234yf	R290	R143a	R134a	R32	Propilen
	$\eta_{\text{blat,se}} = 37,76\%$ $W_{\text{net}} = 2127\text{kW}$ $Z = 0,2148\text{ m}$ $d_j = 0,8232\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 25,4\%$ $W_{\text{net}} = 1437\text{kW}$ $Z = 0,1252\text{ m}$ $d_j = 1,0714\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 32,21\%$ $W_{\text{net}} = 1779\text{kW}$ $Z = 0,2115\text{ m}$ $d_j = 0,7632\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 29,84\%$ $W_{\text{net}} = 1685\text{kW}$ $Z = 0,2006\text{ m}$ $d_j = 0,8428\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 16,95\%$ $W_{\text{net}} = 946,7\text{kW}$ $Z = 0,1255\text{ m}$ $d_j = 0,8688\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 25,21\%$ $W_{\text{net}} = 1424\text{kW}$ $Z = 0,111\text{ m}$ $d_j = 1,0696\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$
$\Delta T_{\text{pd}} = 5^{\circ}\text{C}$						
	$\eta_{\text{blat,se}} = 31,05\%$ $W_{\text{net}} = 1755\text{kW}$ $Z = 0,218\text{ m}$ $d_j = 0,7834\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 21,18\%$ $W_{\text{net}} = 1203\text{kW}$ $Z = 0,1234\text{ m}$ $d_j = 1,0418\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 28,18\%$ $W_{\text{net}} = 1566\text{kW}$ $Z = 0,200\text{ m}$ $d_j = 0,754\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 25,43\%$ $W_{\text{net}} = 1442\text{kW}$ $Z = 0,1963\text{ m}$ $d_j = 0,8212\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 14,78\%$ $W_{\text{net}} = 830,3\text{kW}$ $Z = 0,1197\text{ m}$ $d_j = 0,8626\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$	$\eta_{\text{blat,se}} = 20,45\%$ $W_{\text{net}} = 1162\text{kW}$ $Z = 0,1074\text{ m}$ $d_j = 1,0332\text{ m}$ $N = 3000\text{ o/min}$
$\Delta T_{\text{pd}} = 10^{\circ}\text{C}$						

Slika 24: Tablični prikaz usporedbe gabarita rotora, funkcija cilja  $W_{\text{net}}$ ,  $N=3000$ , podkritično



	R1234yf	R1234yf	R143a	R143a
	$\eta_{plant,ex}=30,11\%$ $W_{net}=1734kW$	$\eta_{plant,ex}=25,93\%$ $W_{net}=1492kW$	$\eta_{plant,ex}=42,54\%$ $W_{net}=2376kW$	$\eta_{plant,ex}=34,95\%$ $W_{net}=1949kW$
	Z=0,1651 m $d_4=0,388$ m	Z=0,1656 m $d_4=0,810$ m	Z=0,1691 m $d_4=0,411$ m	Z=0,1752 m $d_4=0,8224$ m
	N=7485 o/min	N=3000 o/min	N=7169 o/min	N=3000 o/min
Funkcija cilja: $\eta_{plant,ex}$				
	$\eta_{plant,ex}=30,11\%$ $W_{net}=1734kW$	$\eta_{plant,ex}=25,61\%$ $W_{net}=1475kW$	$\eta_{plant,ex}=42,31\%$ $W_{net}=2364kW$	$\eta_{plant,ex}=34,61\%$ $W_{net}=1930kW$
	Z=0,1652 m $d_4=0,3896$ m	Z=0,1641 m $d_4=0,810$ m	Z=0,1649 m $d_4=0,3896$ m	Z=0,1765 m $d_4=0,817$ m
	N=7445 o/min	N=3000 o/min	N=7671 o/min	N=3000 o/min
Funkcija cilja: $W_{net}$				

Slika 25: Tablični prikaz usporedbe gabarita rotora za nadkritični slučaj

Rezultati pokazuju da za se isti radni fluid, zadavanjem broja okretaja na 3000 o/min dobivaju veće dimenzije rotora u odnosu na broj okretaja dobiven optimiranjem (koji je veći od 3000 o/min za sve radne fluide). Postavljanjem  $\Delta T_{pp}$  na 10°C dobivaju se malo manje dimenzije rotora u odnosu na 5°C. Za nadkritični slučaj i  $N \neq 3000$  dobivaju se manje dimenzije u odnosu na podkritični slučaj. Za nadkritični slučaj fluida R143a, uz  $N=3000$  promjeri rotora se povećaju, a duljina Z se smanji u odnosu na podkritični slučaj.

Za konfiguraciju s radnim fluidom u podkritičnom području s  $\Delta T_{pp}=10^\circ C$  i  $N=3000$  o/min najbolje rezultate ima R1234yf sa  $\eta_{plant,ex}=31,09\%$  i  $W_{net}=1755$  kW.

Za konfiguraciju s radnim fluidom u podkritičnom području s  $\Delta T_{pp}=5^\circ C$  i  $N=3000$  o/min najbolje rezultate ima R1234yf sa  $\eta_{plant,ex}=37,76\%$  i  $W_{net}=2127$  kW.



Za konfiguraciju s radnim fluidom u podkritičnom području s  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$  i  $N\neq 3000$  o/min najbolje rezultate ima R1234yf sa  $\eta_{plant,ex}=42,1\%$  i  $W_{net}=2371$  kW.

Za konfiguraciju s radnim fluidom u podkritičnom području s  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$  i  $N\neq 3000$  o/min najbolje rezultate ima R1234yf sa  $\eta_{plant,ex}=34,34\%$  i  $W_{net}=1945$  kW.

Za konfiguraciju s radnim fluidom u nadkritičnom području s  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$  i  $N\neq 3000$  o/min najbolje rezultate ima R143a sa  $\eta_{plant,ex}=42,54\%$  i  $W_{net}=2376$  kW.

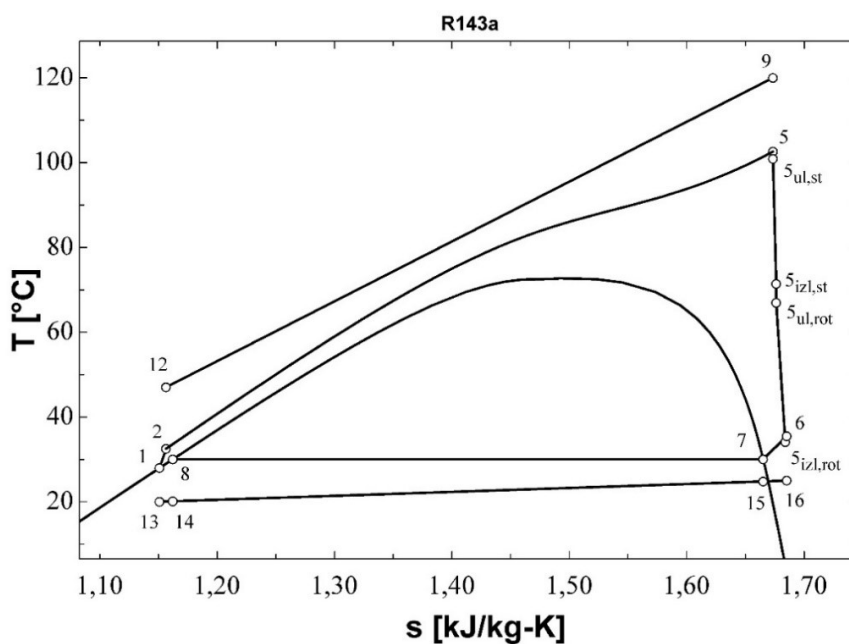
Za konfiguraciju s radnim fluidom u nadkritičnom području s  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$  i  $N=3000$  o/min najbolje rezultate ima R143a sa  $\eta_{plant,ex}=34,95\%$  i  $W_{net}=1949$  kW.

Od analiziranih konfiguracija najveći stupanj korisnosti ( $\eta_{plant,ex}=42,54\%$ ) i neto snagu ( $W_{net}=2376$  kW) ima konfiguracija sa R143a kao radnim fluidom u nadkritičnom području uz  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$  i  $N=7169$  o/min. Iako ima neznatno veći stupanj korisnosti i neto snagu od iduće najbolje konfiguracije (R1234yf, podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=5689$ ) ima znatno manje dimenzije turbine.

U tablicama 8 i 9 te na slici 26 su prikazane bitne geometrijske i pogonske veličine te parametri u karakterističnim točkama ciklusa za najbolji analizirani slučaj. To je slučaj maksimiziranja funkcije cilja  $\eta_{plant,ex}$  sa R143a kao radnim fluidom u nadkritičnom području uz  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$  i  $N \neq 3000$ . Na slikama 27 - 29 prikazan je 3D-model rotora za najbolji slučaj konstruiran u programskom paketu SolidWorks. Za ostale kombinacije radnih fluida i parametara ciklusa tablice i pripadajući T-s dijagrami su dani u prilogu.

Tablica 8: Optimizirane veličine ORC ciklusa, funkcija cilja  $\eta_{plant,ex}$  za R143a (nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

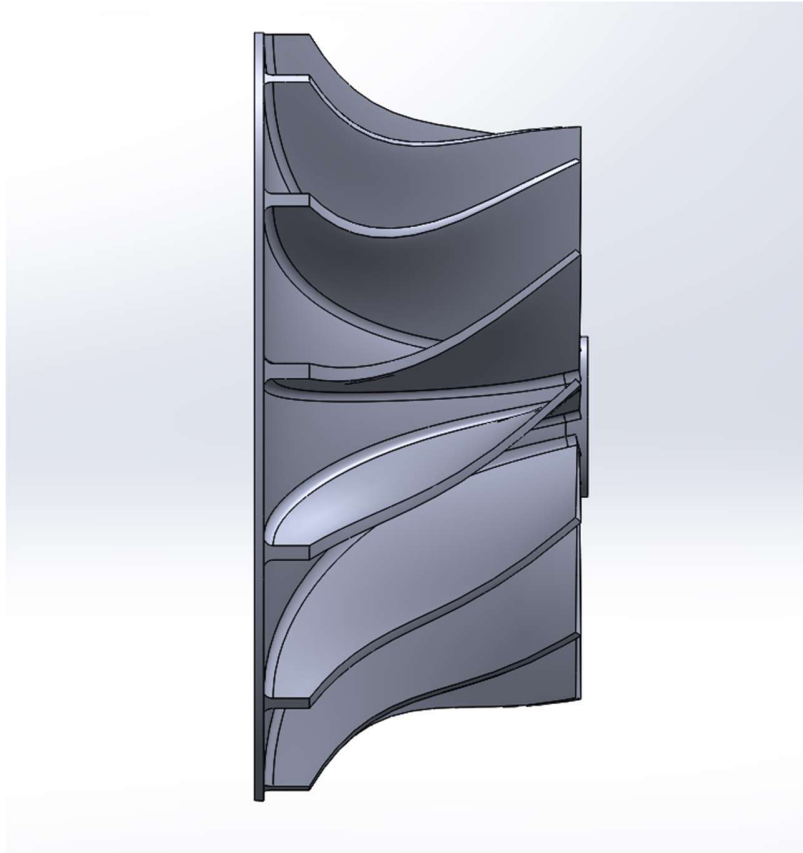
karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$N$ [o/min]
1	R143a	14,35	28	244,1	1,151	163,1	42,54	5,999	2376	7169
2	R143a	51,68	32,48	249,9	1,156	163,1				
5	R143a	51,68	102,6	428,7	1,673	163,1				
$S_{ul,st}$	R143a	50,25	100,9	428,1	1,673	163,1				
$S_{izl,st}$	R143a	30,41	71,39	419,4	1,676	163,1				
$S_{ul,rot}$	R143a	28,13	66,95	417,8	1,676	163,1				
$S_{izl,rot}$	R143a	14,35	34,07	405,8	1,684	163,1				
6	R143a	14,69	35,45	406,7	1,685	163,1				
7	R143a	14,35	30	400	1,665	163,1				
8	R143a	14,35	30	247,6	1,162	163,1				
9	Voda	20	120	505	1,673	94,38				
12	Voda	20	47	198,5	1,156	94,38				
13	Zrak	1	20	293,4	1,151	5269				
14	Zrak	1	20,11	293,5	1,162	5269				
15	Zrak	1	24,79	298,2	1,665	5269				
16	Zrak	1	25	298,4	1,685	5269				



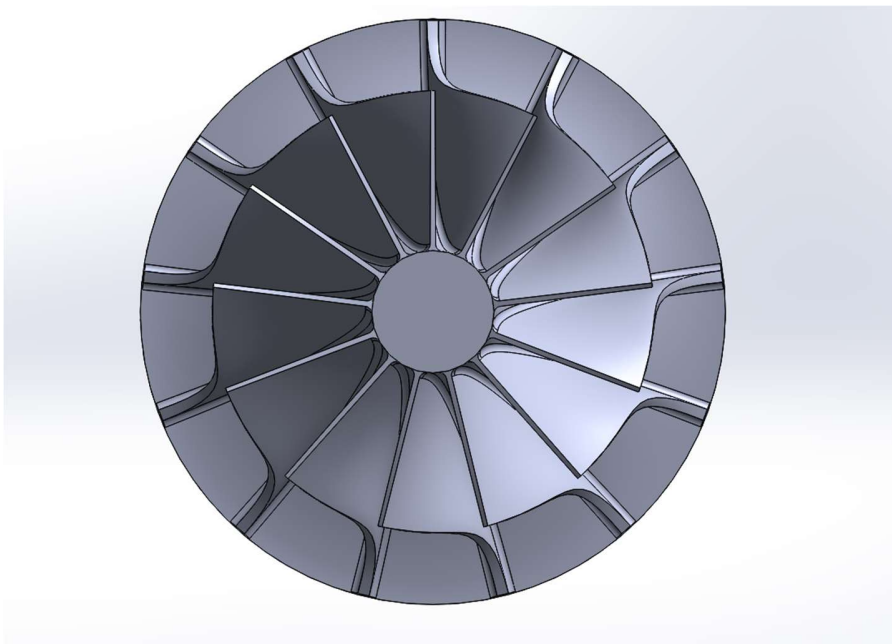
Slika 26:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate optimiranja iz tablice 8

Tablica 9: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R143a  
(nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

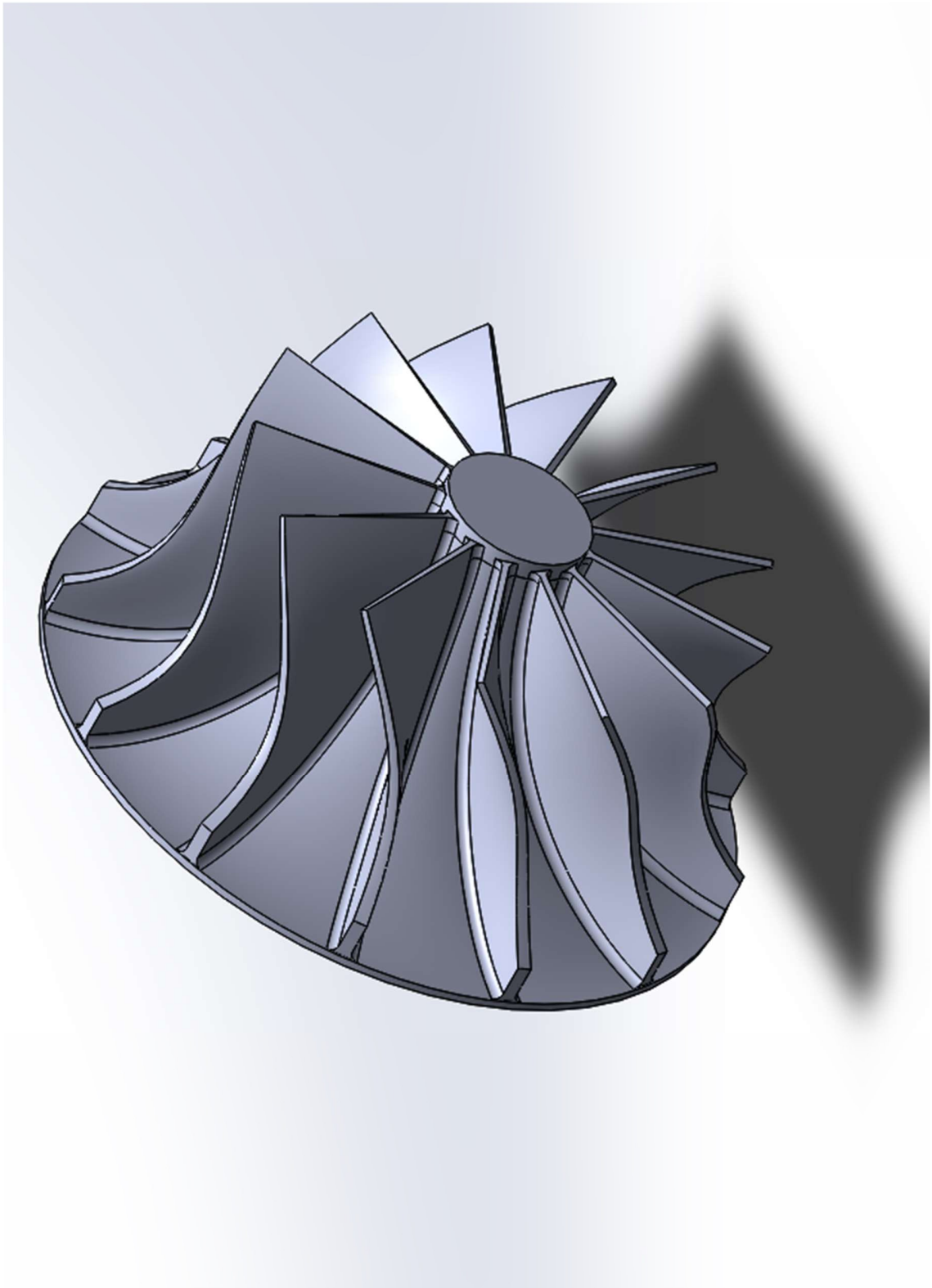
Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,2945
$r_2$ [m]	0,2417
$r_3$ [m]	0,2181
$r_4$ [m]	0,2055
$r_{s5}$ [m]	0,1559
$r_{h5}$ [m]	0,04315
$r_{vol}$ [m]	0,05308
$b_2$ [m]	0,02453
$b_3$ [m]	0,02453
$b_4$ [m]	0,02453
$Z$ [m]	0,1691
$Z_r$ [-]	14
$Z_s$ [-]	18
$M_2$ [-]	0,531
$M_3$ [-]	1,132
$M_4$ [-]	1,199
$M_5$ [-]	0,3028
$\eta_t$ [%]	81,11



Slika 27: Rotor: pogled 1



Slika 28: Rotor: pogled 2



Slika 29: Rotor: pogled 3

## 5. ZAKLJUČAK

U završnom radu matematički model radijalne turbine opisan u poglavlju 2 napisan je u programskom paketu EES te uključen u model ORC ciklusa. Zatim je provedena optimizacija parametara turbine, odnosno ciklusa. Parametri za koje su se tražile optimalne vrijednosti su tlak  $p_5$ , stupanj pregrijanja  $\Delta T_{SH}$  (za podkritični slučaj) i temperatura  $T_5$  (nadkritični slučaj) te brzina vrtnje turbine  $N$  ukoliko nije zadana na 3000 o/min, dok su funkcije cilja koje su se maksimizirale eksergetski stupanj korisnosti postrojenja ( $\eta_{plant,ex}$ ) te neto dobivena snaga ( $W_{net}$ ).

Rezultati pokazuju da se maksimiziranjem  $\eta_{plant,ex}$  ujedno dobije i maksimalni  $W_{net}$ . Postavljanjem temperaturne razlike  $\Delta T_{pp}$  na 5°C dobiju se znatno veće vrijednosti funkcija cilja te dolazi do malog povećanja dimenzija turbine u odnosu na temperaturnu razliku od 10°C.

Konfiguracije u kojima je brzina vrtnje turbine zadana kao nezavisna varijabla optimizacije daju veće vrijednosti funkcija cilja nego konfiguracije u kojima je brzina vrtnje zadana na 3000 o/min. Optimalna vrijednost brzine vrtnje veća je od 3000 o/min za sve analizirane konfiguracije. Konfiguracije u kojima  $N \neq 3000$  o/min, uz veći stupanj korisnosti i neto snagu, imaju i znatno manje gabarite turbine nego konfiguracije s  $N=3000$  o/min, no zahtijevaju primjenu reduktora. Ekonomskom analizom trebalo bi odrediti jesu li troškovi ugradnje reduktora isplativi za dobiveno povećanje stupnja korisnosti i snage.

Za radni fluid R143a u nadkritičnom području rezultati pokazuju povećanje vrijednosti funkcija cilja te smanjenje dimenzija turbine, dok za R1234yf u nadkritičnom području dolazi do smanjenja dimenzija ali i smanjenja vrijednosti funkcija cilja u odnosu na podkritični slučaj. Za ostale radne fluide optimizacija u nadkritičnom području nije provedena jer nisu zadovoljili postavljene uvjete.

Za geotermalnu elektranu zadanih karakteristika, od razmatranih konfiguracija najveće vrijednosti stupnja korisnosti i neto snage ima konfiguracija sa R143a kao radnim fluidom u nadkritičnom području, uz  $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$  i  $N=7169$  o/min. No ta konfiguracija zahtjeva primjenu reduktora. Ukoliko primjena reduktora nije prihvatljiva, najbolja konfiguracija je konfiguracija sa R1234yf kao radnim fluidom u podkritičnom području, uz  $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$  i  $N=3000$  o/min.

## LITERATURA

- [1] Aungier, R. H.: *Turbine aerodynamics: Axial-flow and radial-inflow turbine design and analysis, 1st ed.*, New York, 2006.
- [2] Balje, O. E.: *Turbomachines, A Guide to Design, Selection and Theory*, Wiley, New York, 1981.
- [3] Wei, Z.: *Meanline analysis of radial inflow turbines at design and off-design conditions*, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada, 2014, <https://doi.org/10.22215/etd/2014-10546>
- [4] Rahbar, K.: *Development and optimization of small-scale radial inflow turbine for waste heat recovery with organic rankine cycle*. University of Birmingham. Ph.D., 2016.
- [5] Glassman, A.: *Computer Program for Design Analysis of Radial-Inflow Turbines*, NASA, Washington, D. C., USA., 1976.
- [6] Balje, O. E.: *Contribution to the Problem of Designing Radial Turbomachines*, Trans ASME 741451, 1952.
- [7] Da Lio, L., Manente, G., Lazzaretto, A.: *A mean-line model to predict the design efficiency of radial inflow turbines in organic Rankine cycle (ORC) systems*, Applied Energy 205 (2017) 287 – 209, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.120>
- [8] Moustapha, H., Zelesky, M. F., Baines, N. C., Japikse, D.: *Axial and Radial Turbines, 1st ed.* White River Junction: Concepts NREC, 2003.
- [9] Watanabe, I., Ariga, I., Mashimo, T.: *Effect of Dimensional Parameters of Impellers on Performance Characteristics of a Radial Inflow Turbine*, Paper No. 70-GT-90, ASME, New York, 1970.
- [10] Li, S., Krivitzky, E. M., Qiu, X.: *Meanline Modeling of a Radial-Inflow Turbine Nozzle With Supersonic Expansion*, no. 49729. p. V02DT42A036, 2016.
- [11] Ventura, C. A., Jacobs, P. A., Rowlands, A. S., Petrie-Repar, P., Sauret, E.: *Preliminary Design and Performance Estimation of Radial Inflow Turbines: An Automated Approach*, ASME. *J. Fluids Eng.* March 2012; 134(3): 031102. <https://doi.org/10.1115/1.4006174>

- [12] Emery, J. C., Herrig, J., Erwin, J. R., Felix, A. R.: *Systematic two-dimensional cascade tests of NACA 65-series compressor blades at low speeds*, Technical report, NACA, Cranfield, UK, 1957
- [13] Nithesh, K.G., Chatterjee, D.: *Numerical prediction of the performance of radial inflow turbine designed for ocean thermal energy conversion system*, Applied Energy, Volume 167, 2016, Pages 1-16, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.033>.
- [14] Erbaş, M., Sofuoğlu, A., Biyikoglu, A., Uslan, I. (2013): *Design and optimization of a low temperature organic rankine cycle and turbine*, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE). 6. 10.1115/IMECE2013-66727.
- [15] Persky, R., Sauret, E.: *Loss models for on and off-design performance of radial inflow turbomachinery*, Applied Thermal Engineering, Volume 150, 2019, Pages 1066-1077, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.042>
- [16] Wasserbauer, C.A., Glassman, A.J.: *Fortran Program for Predicting Off-design Performance of Radial-inflow Turbines*, Tech. Rep., National Aeronautics and Space Administration, 1975.
- [17] Dambach, R., Hodson, H.P., Huntsman, I.: *An experimental study of tip clearance flow in a radial inflow turbine*, ASME 1998 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition, American Society of Mechanical Engineers, 1998, pp. V001T01A110–V001T01A110.
- [18] Whitfield, A., Baines, N.C.: *Design of Radial Turbomachines*, Longman Scientific and Technical, Harlow, England, 1990.
- [19] Baines, N. C.: *Radial Turbines, an integrated design approach*, 6th European conference on Turbomachinery- Fluid Dynamics and Thermodynamics., 2005.
- [20] Daily, J.W., Nece, R.E.: *Chamber dimension effects on induced flow and frictional resistance of enclosed rotating disks*, J. Basic Eng. 82 (1) (1960) 217, <https://doi.org/10.1115/1.3662532>
- [21] Suhrmann, J. F., Peitsch, D., Gugau, M., Heuer, T., Tomm, U.: *Validation and Development of Loss Models for Small Size Radial Turbines*, no. 44021. pp. 1937–1949, 2010.
- [22] Vilim, R.B.: *Development and Validation of a Radial Inflow Turbine Model for Simulation of the SNL S-CO<sub>2</sub> Split-Flow Loop*, Nuclear Engineering Division, Tech. Rep. ANL-ARC-195, Argonne National Lab, 2011.

- [23] Glassman, A. J.: *Enhanced Analysis and User Manual for Radial Inflow Turbine Design Code*, RTD NASA-CR-19545, 1995.
- [24] Qi, J., Reddell, T., Qin, K., Hooman, K., Jahn, I. H. J.: *Supercritical CO<sub>2</sub> Radial Turbine Design Performance as a Function of Turbine Size Parameters*, ASME. *J. Turbomach.* August 2017; 139(8): 081008. <https://doi.org/10.1115/1.4035920>
- [25] Deng, Q., Shao, S., Fu, L., Luan, H., Feng, Z.: *An Integrated Design and Optimization Approach for Radial Inflow Turbines—Part I: Automated Preliminary Design*, Appl. Sci. 2018, 8, 2038. <https://doi.org/10.3390/app8112038>
- [26] Rodgers, C., and Geiser, R.: *Performance of a High-Efficiency Radial/Axial Turbine*, ASME, *J. Turbomach.*, April 1987, 109(2):151154. <https://doi.org/10.1115/1.3262077>
- [27] Marscher, W. D.: *Structural Analysis: Stresses due to Centrifugal, Pressure and Thermal Loads in Radial Turbines*, von Kármán Institute for Fluid Dynamics, VKI Lecture Series, Radial Turbines, 1992., SEE N93-10050 01-34.
- [28] Blevins, R. D., Plunkett, R.: *Formulas for Natural Frequency and Mode Shape*, ASME. *J. Appl. Mech.* June 1980; 47(2): 461–462. <https://doi.org/10.1115/1.3153712>
- [29] Rahbar, K., Mahmoud, S., Al-Dadah, R. K., Moazami, N.: *Parametric analysis and optimization of a small-scale radial turbine for Organic Rankine Cycle*, Energy, Volume 83, 2015, Pages 696-711, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.079>.

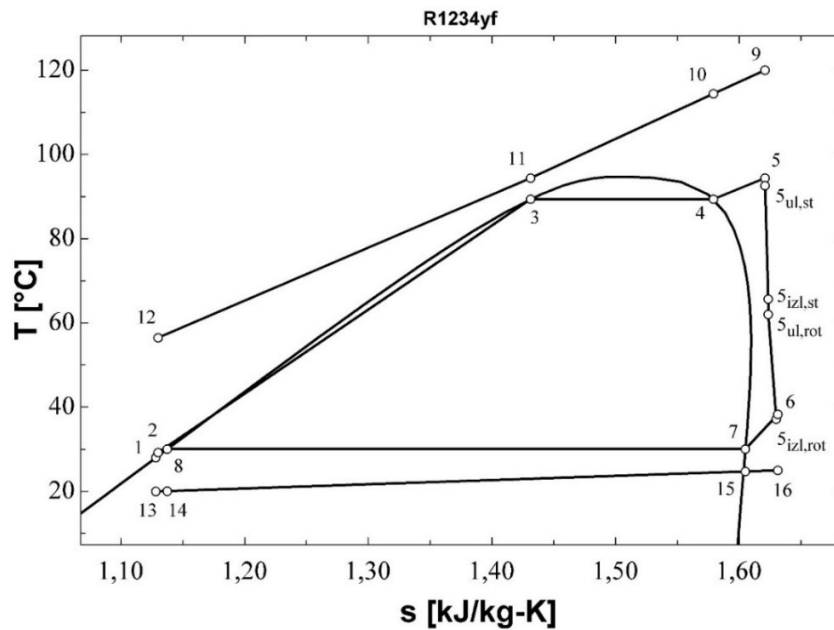


# PRILOZI

## 1. Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R1234yf

Tablica 10: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	148	42,1	5,979	2371	5,004	5689
2	R1234yf	30,42	29,23	239,3	1,13	148					
3	R1234yf	30,42	89,37	340,5	1,431	148					
4	R1234yf	30,42	89,37	394,3	1,579	148					
5	R1234yf	30,42	94,38	409,5	1,621	148					
5 <sub>ul,st</sub>	R1234yf	29,5	92,6	409,1	1,621	148					
5 <sub>izl,st</sub>	R1234yf	17,28	65,67	401,6	1,624	148					
5 <sub>ul,rot</sub>	R1234yf	15,9	62	400,1	1,624	148					
5 <sub>izl,rot</sub>	R1234yf	7,835	37,12	389,4	1,63	148					
6	R1234yf	8,034	38,3	390,3	1,631	148					
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	148					
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	148					
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38					
10	Voda	20	114,4	481,2	1,465	94,38					
11	Voda	20	94,37	396,8	1,241	94,38					
12	Voda	20	56,48	238,1	0,7858	94,38					
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	4490					
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	4490					
15	Zrak	1	24,72	298,2	6,863	4490					
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	4490					



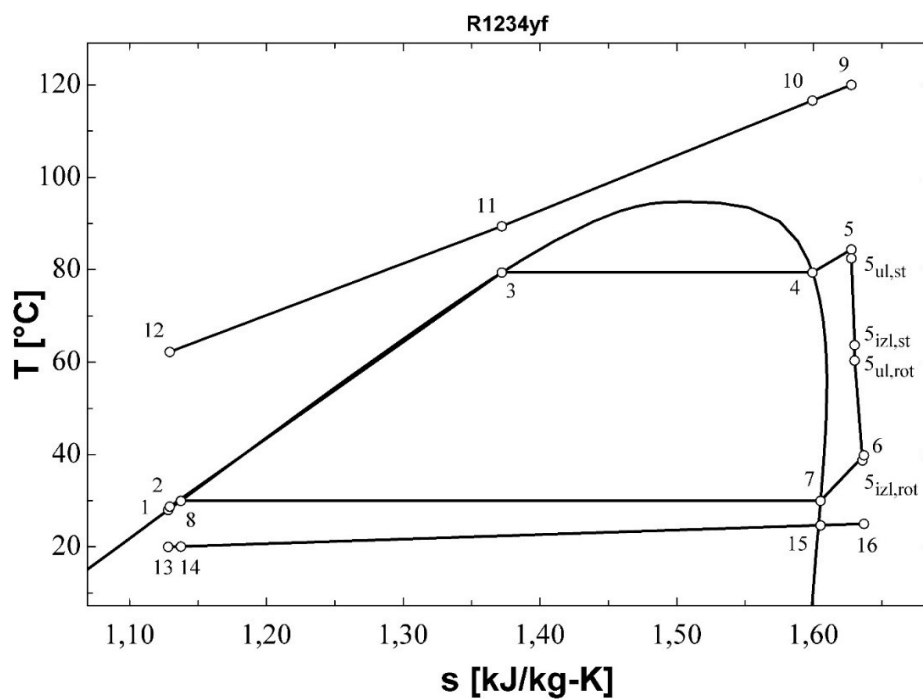
Slika 30:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 10

Tablica 11: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,3471
$r_2$ [m]	0,2881
$r_3$ [m]	0,2598
$r_4$ [m]	0,2445
$r_{s5}$ [m]	0,1883
$r_{h5}$ [m]	0,05134
$r_{vol}$ [m]	0,0585
$b_2$ [m]	0,02925
$b_3$ [m]	0,02925
$b_4$ [m]	0,02925
$Z$ [m]	0,2055
$Z_r$ [-]	14
$Z_s$ [-]	18
$M_2$ [-]	0,6511
$M_3$ [-]	1,179
$M_4$ [-]	1,239
$M_5$ [-]	0,3126
$\eta_t$ [%]	80,84

Tablica 12: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	134,6	34,34	4,9	1945	5	5606
2	R1234yf	24,89	28,71	238,5	1,129	134,6					
3	R1234yf	24,89	79,4	318,4	1,372	134,6					
4	R1234yf	24,89	79,4	398,9	1,599	134,6					
5	R1234yf	24,89	84,4	408,9	1,628	134,6					
$s_{ul,st}$	R1234yf	23,98	82,46	408,4	1,628	134,6					
$s_{izl,st}$	R1234yf	15,94	63,72	402,4	1,63	134,6					
$s_{ul,rot}$	R1234yf	14,72	60,39	401	1,63	134,6					
$s_{izl,rot}$	R1234yf	7,835	38,77	391,2	1,636	134,6					
6	R1234yf	8,021	39,86	392	1,637	134,6					
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	134,6					
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	134,6					
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38					
10	Voda	20	116,6	490,7	1,489	94,38					
11	Voda	20	89,4	375,9	1,184	94,38					
12	Voda	20	62,22	262,1	0,8579	94,38					
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	4130					
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	4130					
15	Zrak	1	24,67	298,1	6,863	4130					
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	4130					



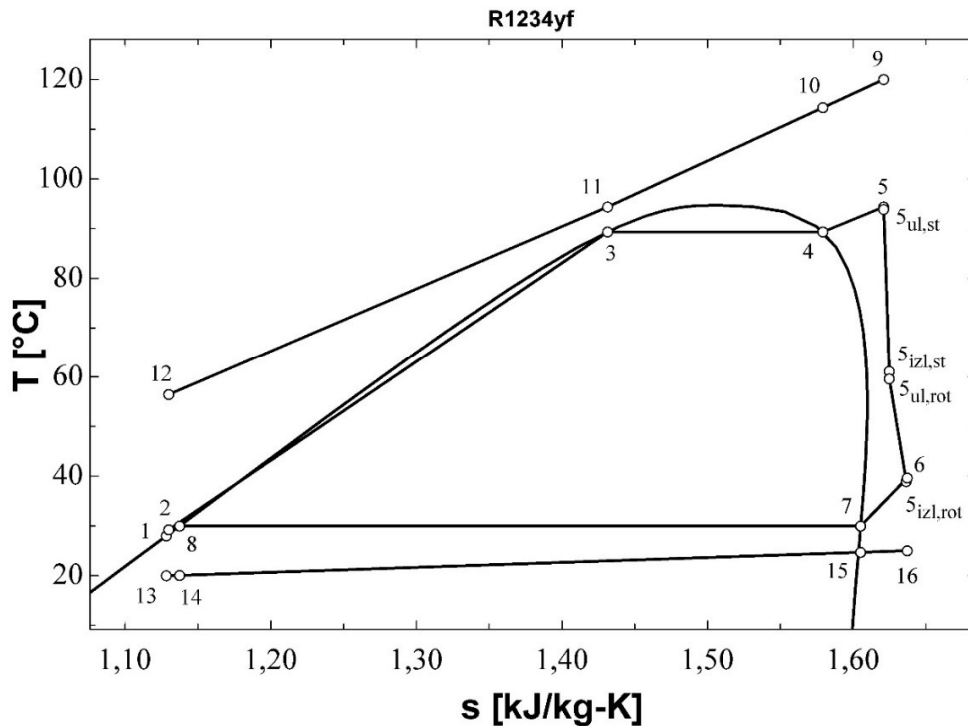
Slika 31:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 12

Tablica 13: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Varijabla	Iznos
$r_1$ [m]	0,346
$r_2$ [m]	0,2835
$r_3$ [m]	0,2535
$r_4$ [m]	0,2367
$r_{s5}$ [m]	0,1813
$r_{h5}$ [m]	0,04971
$r_{vol}$ [m]	0,06262
$b_2$ [m]	0,03165
$b_3$ [m]	0,03165
$b_4$ [m]	0,03165
$Z$ [m]	0,1974
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0,6568
$M_3$ [-]	1,076
$M_4$ [-]	1,143
$M_5$ [-]	0,3025
$\eta_t$ [%]	81,51

Tablica 14: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	148	37,76	5,363	2127	5,001	3000
2	R1234yf	30,42	29,23	239,3	1,13	148					
3	R1234yf	30,42	89,37	340,5	1,431	148					
4	R1234yf	30,42	89,37	394,3	1,579	148					
5	R1234yf	30,42	94,37	409,5	1,621	148					
5 <sub>ul,st</sub>	R1234yf	30,16	93,88	409,4	1,621	148					
5 <sub>izl,st</sub>	R1234yf	15,48	61,16	400,1	1,625	148					
5 <sub>ul,rot</sub>	R1234yf	14,95	59,66	399,5	1,625	148					
5 <sub>izl,rot</sub>	R1234yf	7,835	38,95	391,4	1,636	148					
6	R1234yf	7,953	39,65	391,9	1,637	148					
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	148					
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	148					
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38					
10	Voda	20	114,4	481,2	1,465	94,38					
11	Voda	20	94,37	396,8	1,241	94,38					
12	Voda	20	56,48	238,1	0,7857	94,38					
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	4593					
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	4593					
15	Zrak	1	24,67	298,1	6,863	4593					
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	4593					



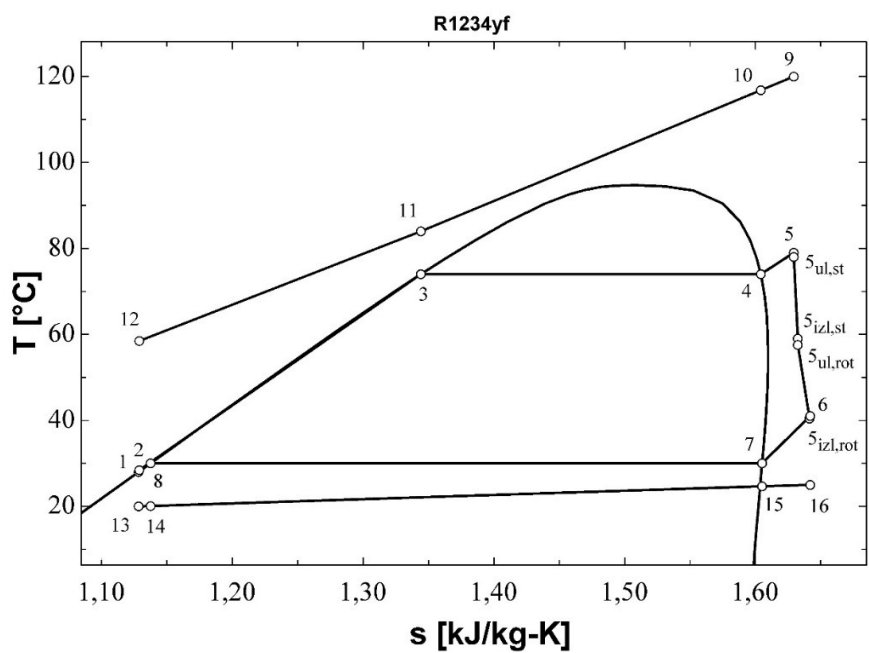
Slika 32:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 14

Tablica 15: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Varijabla	Iznos
$r_1$ [m]	0,5088
$r_2$ [m]	0,4538
$r_3$ [m]	0,4211
$r_4$ [m]	0,4116
$r_{s5}$ [m]	0,2296
$r_{h5}$ [m]	0,08644
$r_{vol}$ [m]	0,05544
$b_2$ [m]	0,02278
$b_3$ [m]	0,02278
$b_4$ [m]	0,02278
$Z$ [m]	0,2148
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0,6712
$M_3$ [-]	1,256
$M_4$ [-]	1,28
$M_5$ [-]	0,2454
$\eta_t$ [%]	78,47

Tablica 16: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	143,9	31,09	4,423	1755	5,001	3000
2	R1234yf	22,25	28,45	238,2	1,129	143,9					
3	R1234yf	22,25	73,99	308,2	1,344	143,9					
4	R1234yf	22,25	73,99	398,9	1,604	143,9					
5	R1234yf	22,25	78,99	407,8	1,629	143,9					
5 <sub>ul,st</sub>	R1234yf	21,81	78	407,4	1,629	143,9					
5 <sub>izl,st</sub>	R1234yf	14,03	59,05	400,9	1,632	143,9					
5 <sub>ul,rot</sub>	R1234yf	13,51	57,55	400,3	1,632	143,9					
5 <sub>izl,rot</sub>	R1234yf	7,835	40,42	392,9	1,641	143,9					
6	R1234yf	7,94	41,04	393,4	1,642	143,9					
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	143,9					
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	143,9					
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38					
10	Voda	20	116,8	491,6	1,492	94,38					
11	Voda	20	83,99	353,2	1,121	94,38					
12	Voda	20	58,47	246,4	0,8109	94,38					
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	4457					
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	4457					
15	Zrak	1	24,63	298,1	6,863	4457					
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	4457					



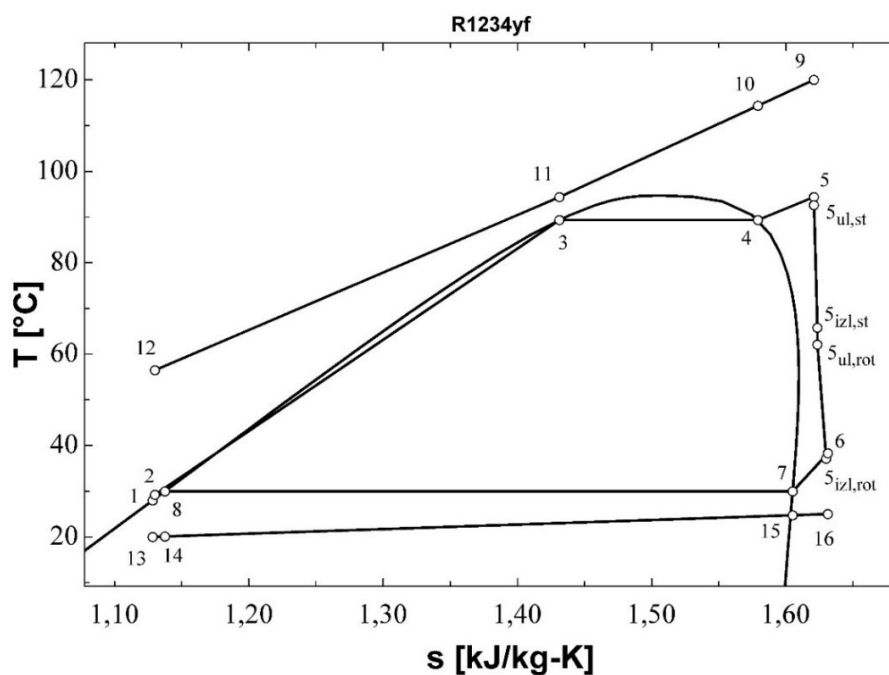
Slika 33:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 16

Tablica 17: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Varijabla	Iznos
$r_1$ [m]	0,4986
$r_2$ [m]	0,4344
$r_3$ [m]	0,4008
$r_4$ [m]	0,3887
$r_{s5}$ [m]	0,2281
$r_{h5}$ [m]	0,08163
$r_{vol}$ [m]	0,06405
$b_2$ [m]	0,02819
$b_3$ [m]	0,02819
$b_4$ [m]	0,02819
$Z$ [m]	0,2198
$Z_r$ [-]	15
$Z_s$ [-]	20
$M_2$ [-]	0,7062
$M_3$ [-]	1,113
$M_4$ [-]	1,144
$M_5$ [-]	0,2329
$\eta_t$ [%]	79,88

Tablica 18: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	148	42,09	5,979	2371	5,01	5739
2	R1234yf	30,42	29,23	239,3	1,13	148					
3	R1234yf	30,42	89,37	340,5	1,431	148					
4	R1234yf	30,42	89,37	394,3	1,579	148					
5	R1234yf	30,42	94,38	409,5	1,621	148					
5 <sub>ul,st</sub>	R1234yf	29,5	92,6	409,1	1,621	148					
5 <sub>izl,st</sub>	R1234yf	17,32	65,79	401,6	1,624	148					
5 <sub>ul,rot</sub>	R1234yf	15,93	62,08	400,2	1,624	148					
5 <sub>izl,rot</sub>	R1234yf	7,835	37,13	389,4	1,63	148					
6	R1234yf	8,036	38,31	390,3	1,631	148					
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	148					
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	148					
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38					
10	Voda	20	114,4	481,2	1,465	94,38					
11	Voda	20	94,37	396,8	1,241	94,38					
12	Voda	20	56,49	238,1	0,7859	94,38					
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	4490					
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	4490					
15	Zrak	1	24,72	298,2	6,863	4490					
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	4490					



Slika 34:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 18

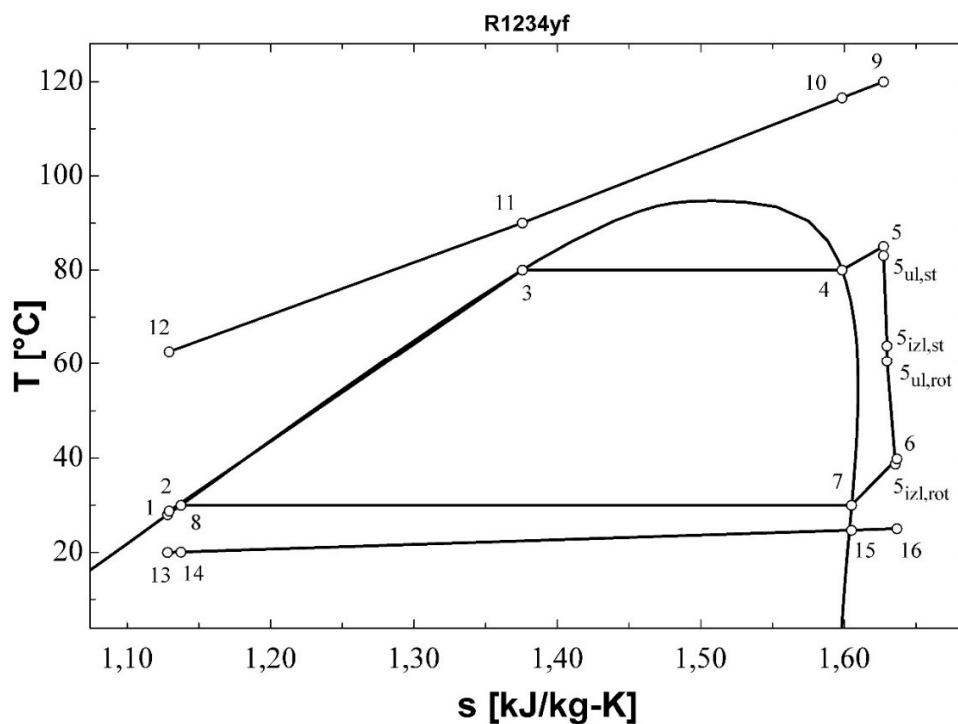
Tablica 19: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R1234yf  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,3453
$r_2$ [m]	0,2864
$r_3$ [m]	0,2581
$r_4$ [m]	0,2427
$r_{s5}$ [m]	0,1877
$r_{h5}$ [m]	0,05097
$r_{vol}$ [m]	0,05857
$b_2$ [m]	0,02931
$b_3$ [m]	0,02931
$b_4$ [m]	0,02931
$Z$ [m]	0,2052
$Z_r$ [-]	14
$Z_s$ [-]	18
$M_2$ [-]	0,6502
$M_3$ [-]	1,176
$M_4$ [-]	1,238
$M_5$ [-]	0,314
$\eta_t$ [%]	80,8

Tablica 20: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	133,4	34,32	4,9	1945	5,01	5671
2	R1234yf	25,22	28,74	238,6	1,129	133,4					
3	R1234yf	25,22	80,06	319,7	1,376	133,4					
4	R1234yf	25,22	80,06	398,8	1,598	133,4					
5	R1234yf	25,22	85,07	409,1	1,627	133,4					
$s_{ul,st}$	R1234yf	24,32	83,14	408,5	1,627	133,4					
$s_{izl,st}$	R1234yf	16,04	63,93	402,4	1,63	133,4					
$s_{ul,rot}$	R1234yf	14,81	60,57	401	1,63	133,4					
$s_{izl,rot}$	R1234yf	7,835	38,72	391,1	1,636	133,4					
6	R1234yf	8,023	39,82	391,9	1,637	133,4					
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	133,4					
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	133,4					
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38					
10	Voda	20	116,6	490,5	1,489	94,38					
11	Voda	20	90,06	378,7	1,192	94,38					
12	Voda	20	62,7	264,1	0,8638	94,38					
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	4093					
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	4093					
15	Zrak	1	24,67	298,1	6,863	4093					
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	4093					





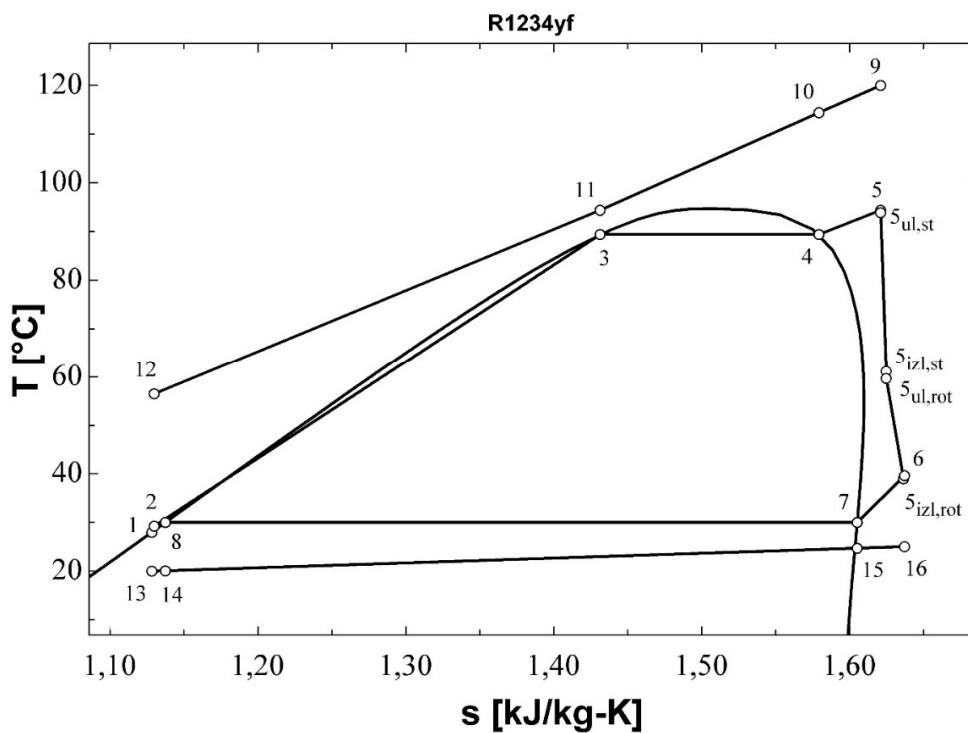
Slika 35:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 20

Tablica 21: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R1234yf  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,3431
$r_2$ [m]	0,2814
$r_3$ [m]	0,2515
$r_4$ [m]	0,235
$r_{s5}$ [m]	0,1877
$r_{h5}$ [m]	0,04935
$r_{vol}$ [m]	0,06193
$b_2$ [m]	0,03124
$b_3$ [m]	0,03124
$b_4$ [m]	0,03124
$Z$ [m]	0,1962
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0,6559
$M_3$ [-]	1,082
$M_4$ [-]	1,149
$M_5$ [-]	0,3036
$\eta_t$ [%]	81,5

Tablica 22: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	148	37,76	5,363	2127	5	3000
2	R1234yf	30,42	29,23	239,3	1,13	148					
3	R1234yf	30,42	89,37	340,5	1,431	148					
4	R1234yf	30,42	89,37	394,3	1,579	148					
5	R1234yf	30,42	94,37	409,5	1,621	148					
$5_{ul,st}$	R1234yf	30,16	93,88	409,4	1,621	148					
$5_{izl,st}$	R1234yf	15,48	61,15	400,1	1,625	148					
$5_{ul,rot}$	R1234yf	14,95	59,66	399,5	1,625	148					
$5_{izl,rot}$	R1234yf	7,835	38,95	391,4	1,636	148					
6	R1234yf	7,953	39,65	391,9	1,637	148					
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	148					
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	148					
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38					
10	Voda	20	114,4	481,2	1,465	94,38					
11	Voda	20	94,37	396,8	1,241	94,38					
12	Voda	20	56,48	238,1	0,7857	94,38					
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	4539					
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	4539					
15	Zrak	1	24,67	298,1	6,863	4539					
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	4539					



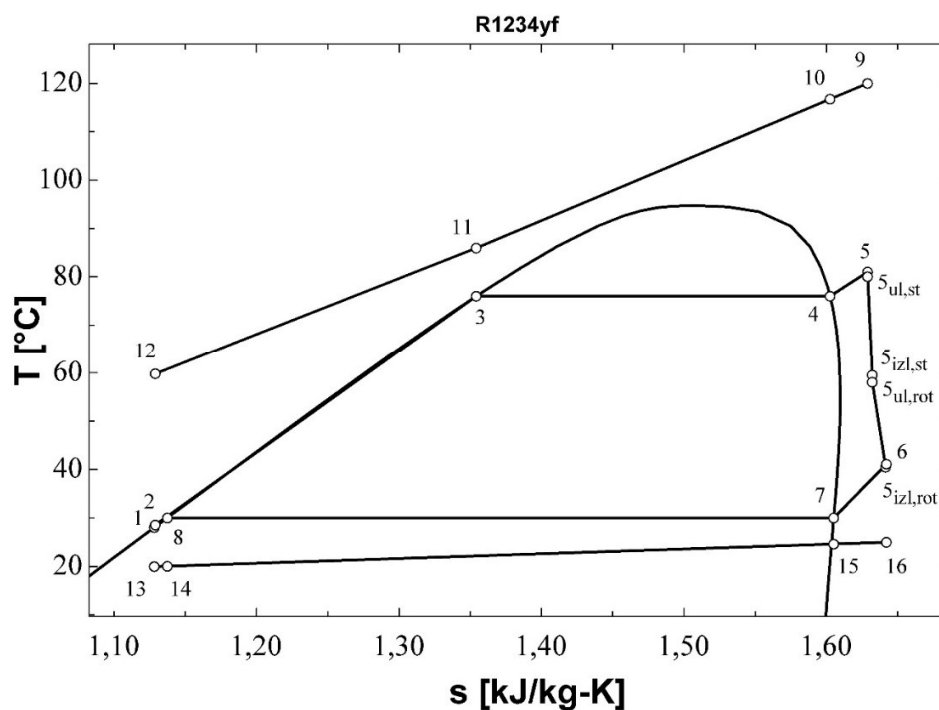
Slika 36:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 22

Tablica 23: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R1234yf  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,5088
$r_2$ [m]	0,4538
$r_3$ [m]	0,4211
$r_4$ [m]	0,4116
$r_{s5}$ [m]	0,2296
$r_{h5}$ [m]	0,08664
$r_{vol}$ [m]	0,05544
$b_2$ [m]	0,02278
$b_3$ [m]	0,02278
$b_4$ [m]	0,02278
$Z$ [m]	0,2148
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0,6712
$M_3$ [-]	1,256
$M_4$ [-]	1,28
$M_5$ [-]	0,2454
$\eta_t$ [%]	78,47

Tablica 24: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	140,5	31,05	4,422	1755	5	3000
2	R1234yf	23,18	28,54	238,3	1,129	140,5					
3	R1234yf	23,18	75,96	311,9	1,354	140,5					
4	R1234yf	23,18	75,96	399	1,603	140,5					
5	R1234yf	23,18	80,96	408,2	1,629	140,5					
$S_{ul,st}$	R1234yf	22,77	80,05	408	1,629	140,5					
$S_{izl,st}$	R1234yf	14,23	59,52	401,1	1,632	140,5					
$S_{ul,rot}$	R1234yf	13,71	58,04	400,4	1,632	140,5					
$S_{izl,rot}$	R1234yf	7,835	40,47	393	1,642	140,5					
6	R1234yf	7,941	41,1	393,5	1,642	140,5					
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	140,5					
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	140,5					
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38					
10	Voda	20	116,8	491,3	1,491	94,38					
11	Voda	20	85,96	361,5	1,144	94,38					
12	Voda	20	59,81	252	0,8277	94,38					
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	4354					
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	4354					
15	Zrak	1	24,62	298,1	6,863	4354					
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	4354					



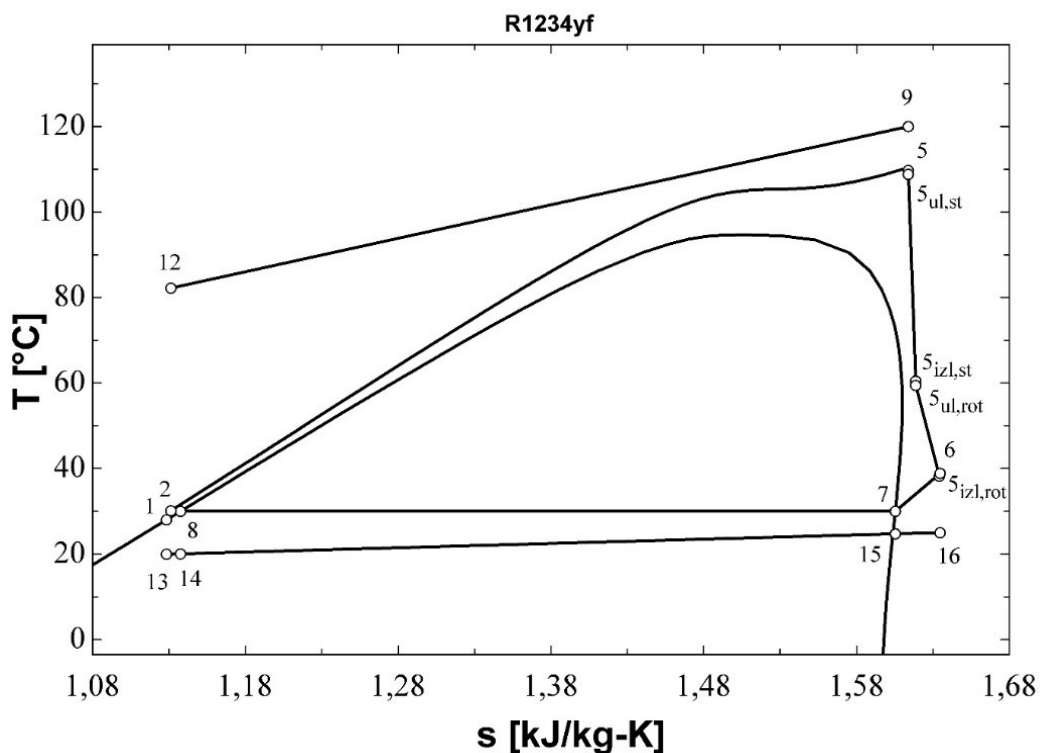
Slika 37:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 24

Tablica 25: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R1234yf (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,4968
$r_2$ [m]	0,4348
$r_3$ [m]	0,4031
$r_4$ [m]	0,3917
$r_{s5}$ [m]	0,2276
$r_{h5}$ [m]	0,08226
$r_{vol}$ [m]	0,06169
$b_2$ [m]	0,02684
$b_3$ [m]	0,02684
$b_4$ [m]	0,02684
$Z$ [m]	0,218
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0,7087
$M_3$ [-]	1,135
$M_4$ [-]	1,165
$M_5$ [-]	0,2339
$\eta_t$ [%]	79,12

Tablica 26: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R1234yf (nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	99,32	30,11	4,358	1734	7485
2	R1234yf	40,23	30,15	240,5	1,131	99,32				
5	R1234yf	40,23	109,7	409,4	1,611	99,32				
5 <sub>ul,st</sub>	R1234yf	39,51	108,6	409,2	1,611	99,32				
5 <sub>izl,st</sub>	R1234yf	18,92	67,62	399,7	1,614	99,32				
5 <sub>ul,rot</sub>	R1234yf	17,34	63,5	398,3	1,614	99,32				
5 <sub>izl,rot</sub>	R1234yf	7,835	34,51	386,6	1,621	99,32				
6	R1234yf	8,051	35,78	387,5	1,622	99,32				
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	99,32				
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	99,32				
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38				
12	Voda	20	78	328,1	1,05	94,38				
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	2959				
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	2959				
15	Zrak	1	24,81	298,3	6,863	2959				
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	2959				



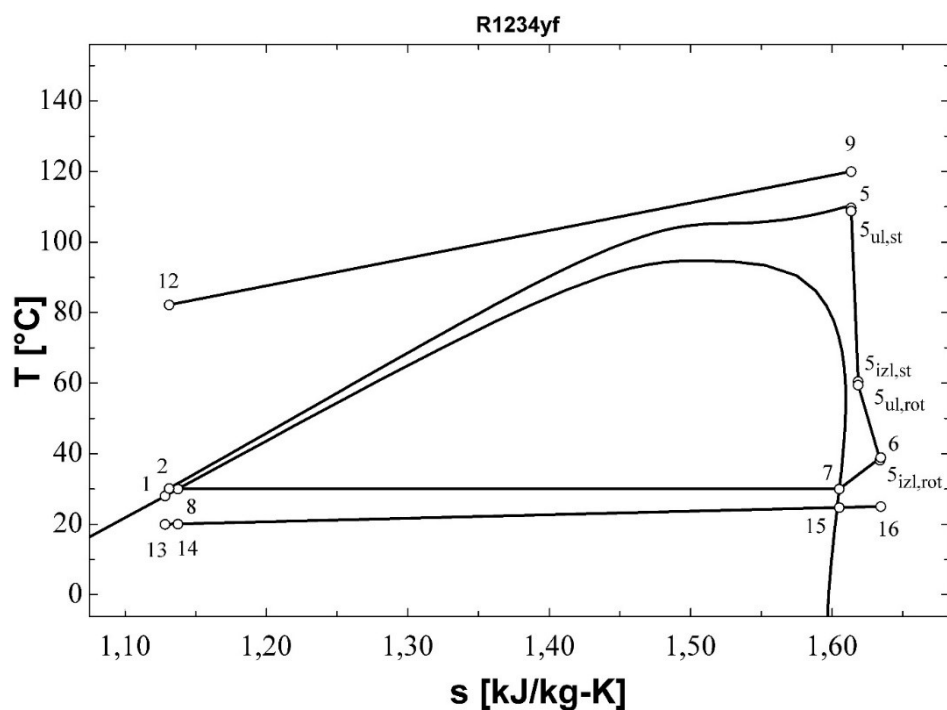
Slika 38:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 26

Tablica 27: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf  
(nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,2724
$r_2$ [m]	0,227
$r_3$ [m]	0,2048
$r_4$ [m]	0,194
$r_{s5}$ [m]	0,1508
$r_{h5}$ [m]	0,04073
$r_{vol}$ [m]	0,04504
$b_2$ [m]	0,02081
$b_3$ [m]	0,02081
$b_4$ [m]	0,02081
$Z$ [m]	0,1651
$Z_r$ [-]	14
$Z_s$ [-]	18
$M_2$ [-]	0,5052
$M_3$ [-]	1,292
$M_4$ [-]	1,346
$M_5$ [-]	0,3254
$\eta_t$ [%]	80,73

Tablica 28: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R1234yf (nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$m$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	100,6	25,93	3,751	1492	3000
2	R1234yf	40,02	30,13	240,5	1,131	100,6				
5	R1234yf	40,02	109,3	409,2	1,61	100,6				
$5_{ul,st}$	R1234yf	39,99	109,3	409,2	1,61	100,6				
$5_{izl,st}$	R1234yf	15,97	60,17	397,4	1,615	100,6				
$5_{ul,rot}$	R1234yf	15,57	59,03	397	1,615	100,6				
$5_{izl,rot}$	R1234yf	7,835	37,12	389,4	1,63	100,6				
6	R1234yf	7,952	37,82	389,9	1,631	100,6				
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	100,6				
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	100,6				
9	Voda	20	120	505	1,526	94,38				
12	Voda	20	77,5	326	1,044	94,38				
13	Zrak	1	20	293,4	6,847	3046				
14	Zrak	1	20,06	293,5	6,847	3046				
15	Zrak	1	24,73	298,2	6,863	3046				
16	Zrak	1	25	298,4	6,864	3046				



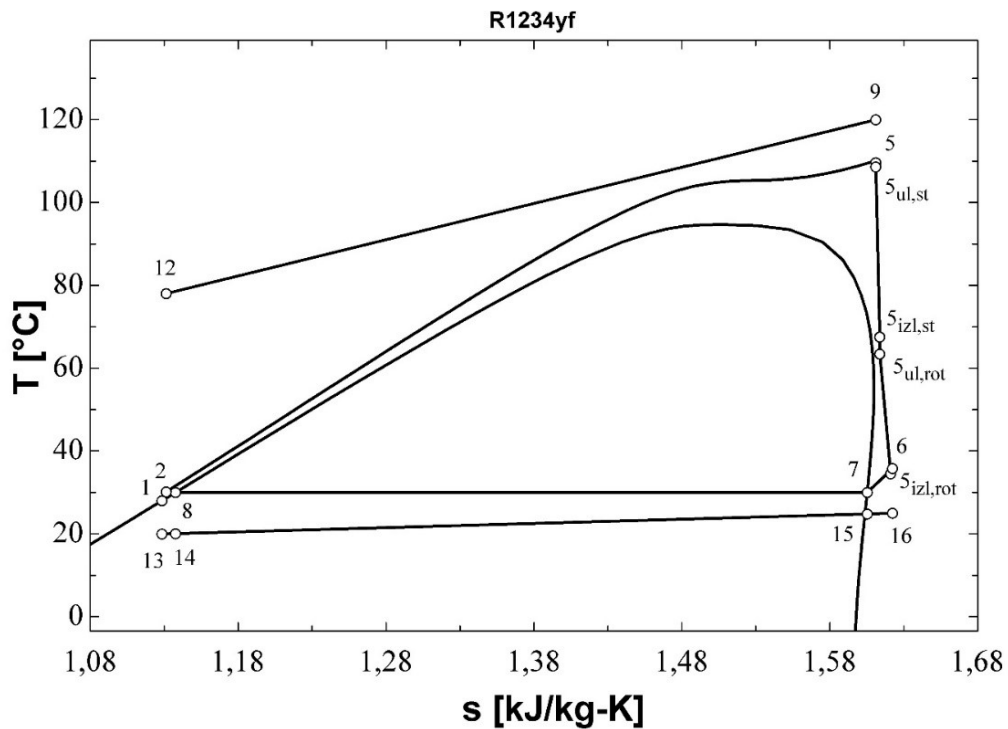
Slika 39:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 28

Tablica 29: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R1234yf (nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,4863
$r_2$ [m]	0,4418
$r_3$ [m]	0,4109
$r_4$ [m]	0,405
$r_{s5}$ [m]	0,1954
$r_{h5}$ [m]	0,08506
$r_{vol}$ [m]	0,04468
$b_2$ [m]	0,01464
$b_3$ [m]	0,01464
$b_4$ [m]	0,01464
$Z$ [m]	0,1656
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0,4745
$M_3$ [-]	1,354
$M_4$ [-]	1,369
$M_5$ [-]	0,2452
$\eta_t$ [%]	76,44

Tablica 30: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R1234yf (nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	99,32	30,11	4,358	1734	7445
2	R1234yf	40,24	30,15	240,5	1,131	99,32				
5	R1234yf	40,24	109,7	409,4	1,611	99,32				
5 <sub>ul,st</sub>	R1234yf	39,52	108,6	409,2	1,611	99,32				
5 <sub>izl,st</sub>	R1234yf	18,89	67,53	399,7	1,614	99,32				
5 <sub>ul,rot</sub>	R1234yf	17,32	63,44	398,3	1,614	99,32				
5 <sub>izl,rot</sub>	R1234yf	7,835	34,51	386,6	1,621	99,32				
6	R1234yf	8,05	35,77	387,5	1,622	99,32				
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	99,32				
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	99,32				
9	Voda	20	120	505	1,611	94,38				
12	Voda	20	78	328,1	1,131	94,38				
13	Zrak	1	20	20	1,128	2959				
14	Zrak	1	20,06	20,06	1,137	2959				
15	Zrak	1	24,81	24,81	1,605	2959				
16	Zrak	1	25	25	1,622	2959				



Slika 40:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 30

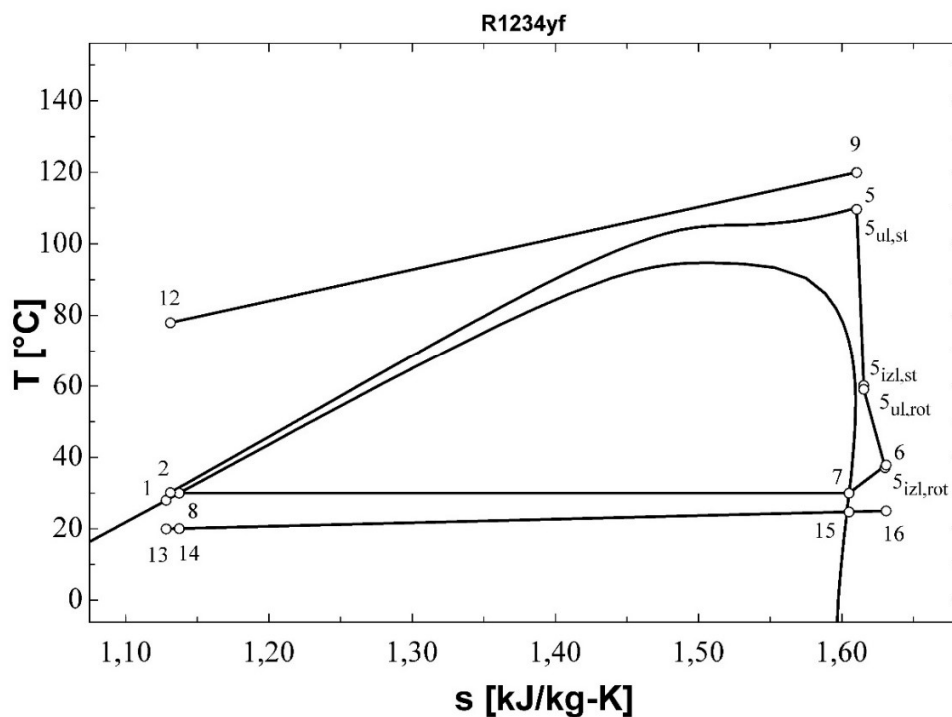


Tablica 31: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R1234yf  
(nadkrično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,2734
$r_2$ [m]	0,2278
$r_3$ [m]	0,2056
$r_4$ [m]	0,1948
$r_{s5}$ [m]	0,151
$r_{h5}$ [m]	0,04091
$r_{vol}$ [m]	0,04504
$b_2$ [m]	0,02079
$b_3$ [m]	0,02079
$b_4$ [m]	0,02079
$Z$ [m]	0,1652
$Z_r$ [-]	14
$Z_s$ [-]	18
$M_2$ [-]	0,5052
$M_3$ [-]	1,293
$M_4$ [-]	1,347
$M_5$ [-]	0,3246
$\eta_t$ [%]	80,75

Tablica 32: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R1234yf (nadkrično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$m$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$N$ [o/min]
1	R1234yf	7,835	28	237,6	1,128	99,39	25,61	3,706	1475	3000
2	R1234yf	40,3	30,16	240,6	1,131	99,39				
5	R1234yf	40,3	109,7	409,3	1,611	99,39				
$5_{ul,st}$	R1234yf	40,27	109,7	409,3	1,611	99,39				
$5_{izl,st}$	R1234yf	15,99	60,23	397,5	1,615	99,39				
$5_{ul,rot}$	R1234yf	15,59	59,1	397	1,615	99,39				
$5_{izl,rot}$	R1234yf	7,835	37,17	389,5	1,63	99,39				
6	R1234yf	7,952	37,87	390	1,631	99,39				
7	R1234yf	7,835	30	381,8	1,605	99,39				
8	R1234yf	7,835	30	239,4	1,137	99,39				
9	Voda	20	120	505	1,611	94,38				
12	Voda	20	78	328,1	1,131	94,38				
13	Zrak	1	20	293,4	1,128	3010				
14	Zrak	1	20,06	293,5	1,137	3010				
15	Zrak	1	24,73	298,2	1,605	3010				
16	Zrak	1	25	298,4	1,631	3010				



Slika 41:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 32

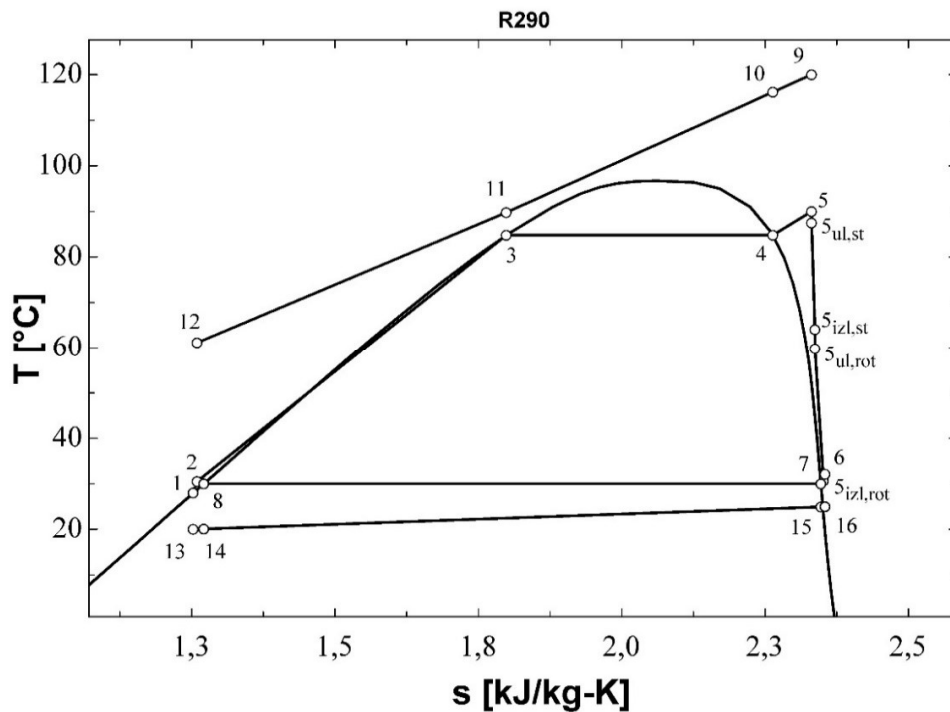
Tablica 33: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R1234yf  
(nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0,4857
$r_2$ [m]	0,4416
$r_3$ [m]	0,4107
$r_4$ [m]	0,405
$r_{s5}$ [m]	0,1945
$r_{h5}$ [m]	0,08505
$r_{vol}$ [m]	0,04427
$b_2$ [m]	0,01443
$b_3$ [m]	0,01443
$b_4$ [m]	0,01443
$Z$ [m]	0,1641
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0,4726
$M_3$ [-]	1,357
$M_4$ [-]	1,372
$M_5$ [-]	0,2452
$\eta_t$ [%]	76,36

## 2. Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R290

Tablica 34: Rezultati optimiranja  $\eta_{plant,ex}$  za R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R290	10.79	28	273.8	1.253	63.17	35.11	5.005	1986	5.211	11898
2	R290	34.22	30.51	280.6	1.26	63.17					
3	R290	34.22	84.75	459.8	1.799	63.17					
4	R290	34.22	84.75	626.3	2.264	63.17					
5	R290	34.22	89.96	650.5	2.331	63.17					
5 <sub>ul,st</sub>	R290	32.91	87.43	648.9	2.331	63.17					
5 <sub>izl,st</sub>	R290	22.1	64.05	634.4	2.337	63.17					
5 <sub>ul,rot</sub>	R290	20.43	59.74	631	2.337	63.17					
5 <sub>izl,rot</sub>	R290	10.79	30.63	606.9	2.352	63.17					
6	R290	11.06	32.11	608.9	2.354	63.17					
7	R290	10.79	30	605.5	2.347	63.17					
8	R290	10.79	30	279.3	1.271	63.17					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	116.2	488.8	1.485	94.38					
11	Voda	20	89.75	377.4	1.188	94.38					
12	Voda	20	61.12	257.5	0.8442	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4206					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4206					
15	Zrak	1	24.95	298.4	6.864	4206					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4206					



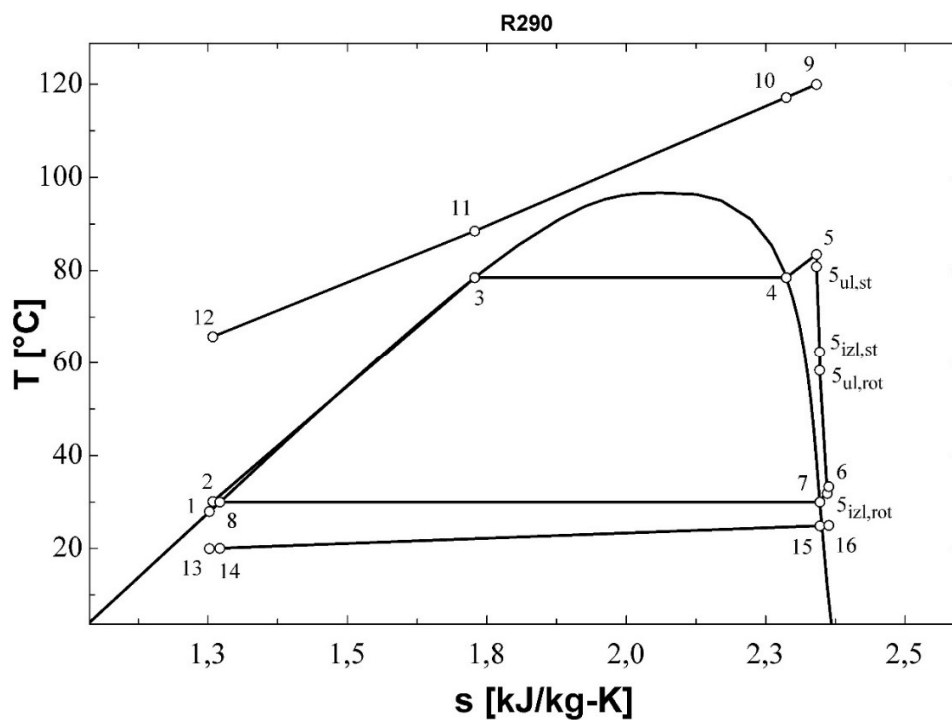
Slika 42:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 34

Tablica 35: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R290  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.253
$r_2$ [m]	0.2077
$r_3$ [m]	0.1871
$r_4$ [m]	0.1751
$r_{s5}$ [m]	0.1335
$r_{h5}$ [m]	0.03676
$r_{vol}$ [m]	0.04525
$b_2$ [m]	0.02305
$b_3$ [m]	0.02305
$b_4$ [m]	0.02305
$Z$ [m]	0.1451
$Z_r$ [-]	14
$Z_s$ [-]	18
$M_2$ [-]	0.6648
$M_3$ [-]	1.07
$M_4$ [-]	1.136
$M_5$ [-]	0.2975
$\eta_t$ [%]	80.88

Tablica 36: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R290	10.79	28	273.8	1.253	58.22	29.68	4.248	1687	5.006	11959
2	R290	30.44	30.11	279.5	1.258	58.22					
3	R290	30.44	78.47	433.9	1.729	58.22					
4	R290	30.44	78.47	630.3	2.287	58.22					
5	R290	30.44	83.48	649.5	2.341	58.22					
$S_{ul,st}$	R290	29.17	80.84	647.8	2.341	58.22					
$S_{izl,st}$	R290	20.99	62.45	635.6	2.347	58.22					
$S_{ul,rot}$	R290	19.45	58.38	632.2	2.347	58.22					
$S_{izl,rot}$	R290	10.79	31.87	609.5	2.36	58.22					
6	R290	11.05	33.3	611.4	2.363	58.22					
7	R290	10.79	30	605.5	2.347	58.22					
8	R290	10.79	30	279.3	1.271	58.22					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.2	493.2	1.496	94.38					
11	Voda	20	88.47	372	1.173	94.38					
12	Voda	20	65.75	276.9	0.9017	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	3907					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	3907					
15	Zrak	1	24.91	298.4	6.864	3907					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	3907					



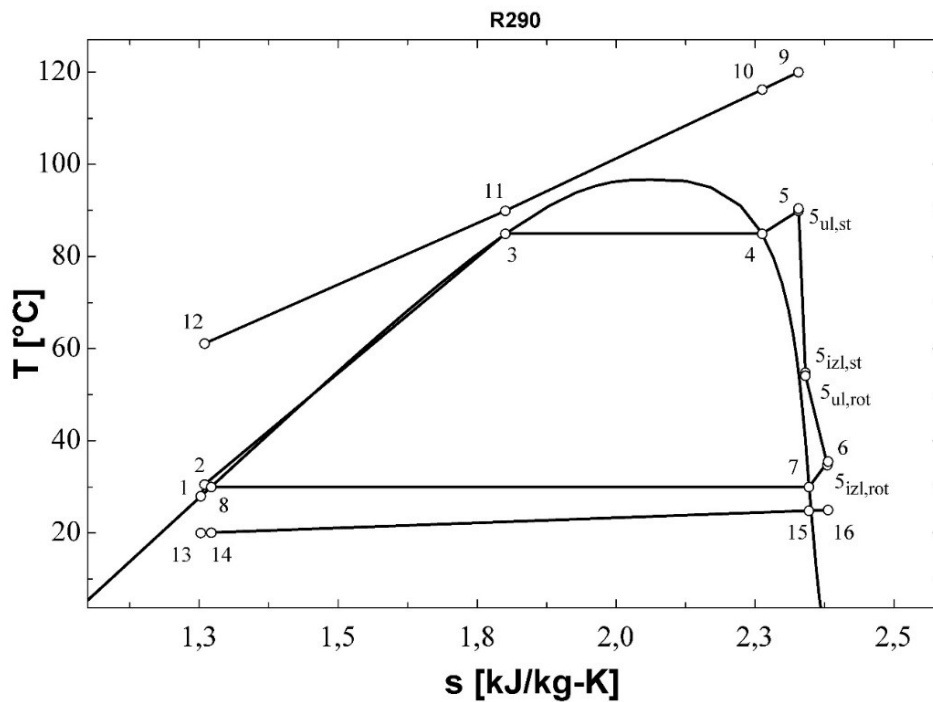
Slika 43:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 36

Tablica 37: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R290  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2498
$r_2$ [m]	0.2031
$r_3$ [m]	0.1814
$r_4$ [m]	0.1687
$r_{s5}$ [m]	0.1284
$r_{h5}$ [m]	0.03543
$r_{vol}$ [m]	0.04668
$b_2$ [m]	0.02404
$b_3$ [m]	0.02404
$b_4$ [m]	0.02404
$Z$ [m]	0.1394
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6604
$M_3$ [-]	1.003
$M_4$ [-]	1.073
$M_5$ [-]	0.292
$\eta_t$ [%]	81.46

Tablica 38: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R290	10.79	28	273.8	1.253	63.35	25.4	3.622	1437	5.001	3000
2	R290	34.33	30.52	280.6	1.26	63.35					
3	R290	34.33	84.93	460.6	1.801	63.35					
4	R290	34.33	84.93	626.1	2.263	63.35					
5	R290	34.33	89.94	649.6	2.328	63.35					
5 <sub>ul,st</sub>	R290	34.58	90.42	649.9	2.328	63.35					
5 <sub>izl,st</sub>	R290	18.45	54.81	627.7	2.34	63.35					
5 <sub>ul,rot</sub>	R290	18.22	54.15	627.2	2.34	63.35					
5 <sub>izl,rot</sub>	R290	10.79	34.73	615.6	2.38	63.35					
6	R290	10.93	35.51	616.6	2.382	63.35					
7	R290	10.79	30	605.5	2.347	63.35					
8	R290	10.79	30	279.3	1.271	63.35					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	116.3	489.2	1.486	94.38					
11	Voda	20	89.93	378.2	1.19	94.38					
12	Voda	20	61.1	257.4	0.844	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4316					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4316					
15	Zrak	1	24.84	298.3	6.864	4316					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4316					



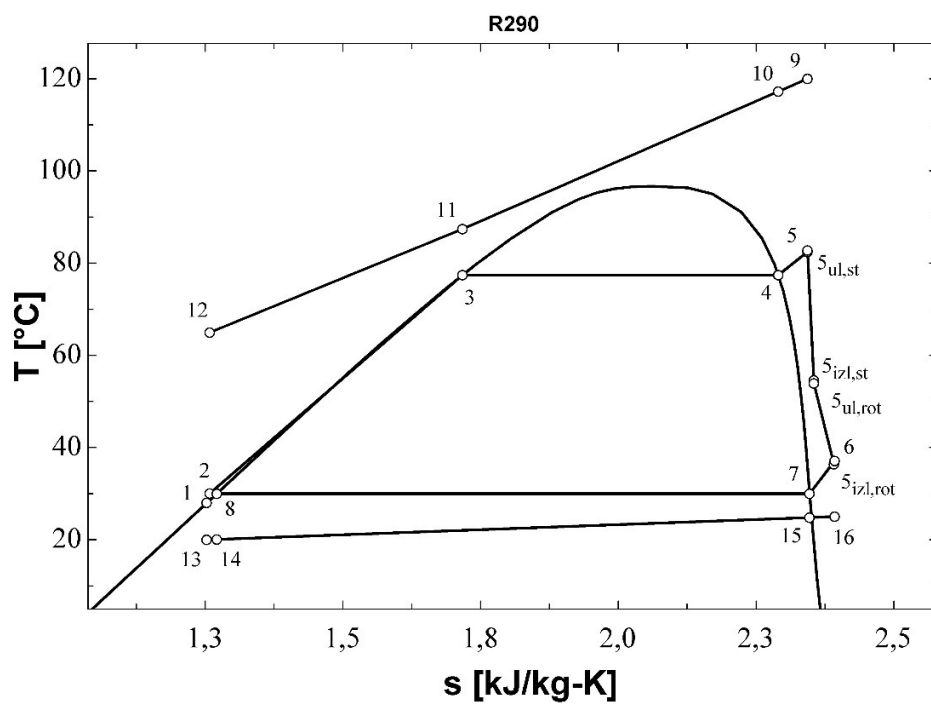
Slika 44:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 38

Tablica 39: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R290  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.619
$r_2$ [m]	0.5774
$r_3$ [m]	0.5398
$r_4$ [m]	0.5356
$r_{s5}$ [m]	0.1961
$r_{h5}$ [m]	0.1125
$r_{vol}$ [m]	0.04208
$b_2$ [m]	0.01097
$b_3$ [m]	0.01097
$b_4$ [m]	0.01097
$Z$ [m]	0.1254
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.6711
$M_3$ [-]	1.204
$M_4$ [-]	1.214
$M_5$ [-]	0.2164
$\eta_t$ [%]	71.29

Tablica 40: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R290	10.79	28	273.8	1.253	59.11	21.19	3.03	1203	5.002	3000
2	R290	29.83	30.05	279.3	1.258	59.11					
3	R290	29.83	77.41	429.8	1.717	59.11					
4	R290	29.83	77.41	630.7	2.29	59.11					
5	R290	29.83	82.41	649.3	2.343	59.11					
$S_{ul,st}$	R290	30	82.76	649.6	2.343	59.11					
$S_{izl,st}$	R290	17.72	54.55	630.6	2.355	59.11					
$S_{ul,rot}$	R290	17.5	53.92	630	2.355	59.11					
$S_{izl,rot}$	R290	10.79	36.35	619	2.391	59.11					
6	R290	10.92	37.07	620	2.392	59.11					
7	R290	10.79	30	605.5	2.347	59.11					
8	R290	10.79	30	279.3	1.271	59.11					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.2	493.4	1.496	94.38					
11	Voda	20	87.41	367.5	1.161	94.38					
12	Voda	20	64.92	273.4	0.8914	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4066					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4066					
15	Zrak	1	24.79	298.2	6.863	4066					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4066					



Slika 45:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 40

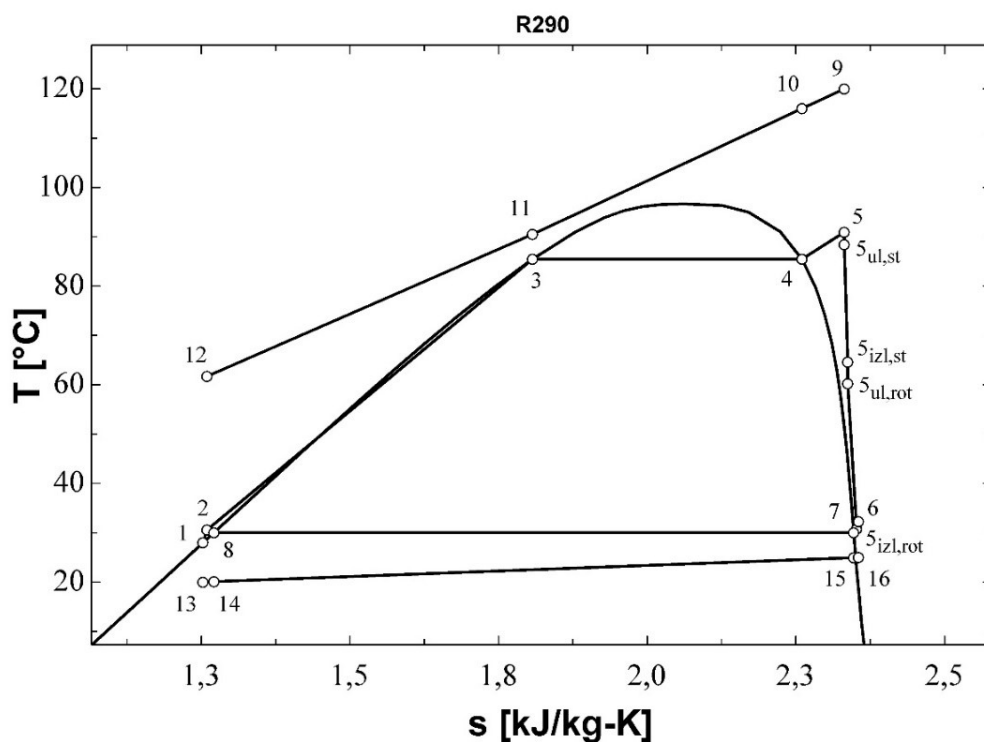
Tablica 41: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R290  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.6045
$r_2$ [m]	0.5611
$r_3$ [m]	0.5245
$r_4$ [m]	0.52
$r_{s5}$ [m]	0.1925
$r_{h5}$ [m]	0.1092
$r_{vol}$ [m]	0.04334
$b_2$ [m]	0.01159
$b_3$ [m]	0.01159
$b_4$ [m]	0.01159
$Z$ [m]	0.125
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.6923
$M_3$ [-]	1.142
$M_4$ [-]	1.152
$M_5$ [-]	0.2079
$\eta_t$ [%]	71.68



Tablica 42: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R290	10.79	28	273.8	1.253	62.48	35.11	5.007	1987	5.42	12287
2	R290	34.67	30.55	280.7	1.26	62.48					
3	R290	34.67	85.47	463	1.807	62.48					
4	R290	34.67	85.47	625.5	2.26	62.48					
5	R290	34.67	90.89	651.2	2.332	62.48					
5 <sub>ul,st</sub>	R290	33.37	88.38	649.7	2.332	62.48					
5 <sub>izl,st</sub>	R290	22.29	64.62	635	2.337	62.48					
5 <sub>ul,rot</sub>	R290	20.58	60.23	631.5	2.337	62.48					
5 <sub>izl,rot</sub>	R290	10.79	30.73	607.1	2.352	62.48					
6	R290	11.06	32.25	609.1	2.355	62.48					
7	R290	10.79	30	605.5	2.347	62.48					
8	R290	10.79	30	279.3	1.271	62.48					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	116	488	1.483	94.38					
11	Voda	20	90.47	380.4	1.197	94.38					
12	Voda	20	61.68	259.8	0.8512	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4163					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4163					
15	Zrak	1	24.95	298.4	6.864	4163					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4163					



Slika 46:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 42

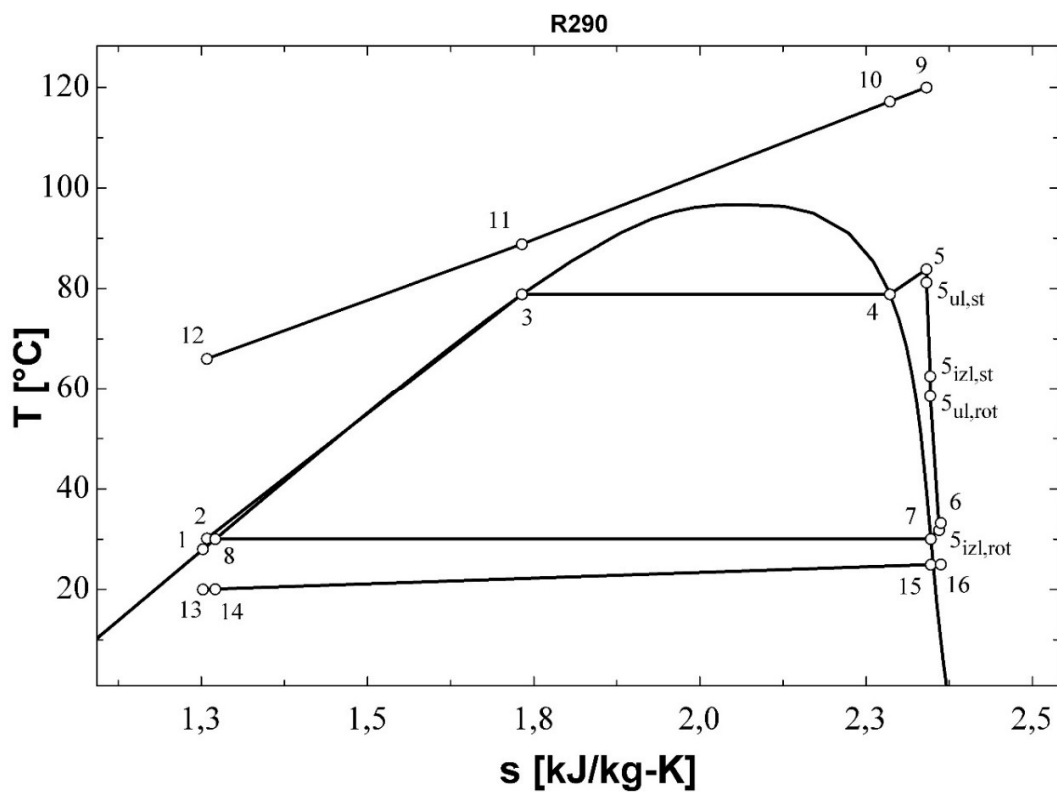
Tablica 43: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R290 (podkritično,

$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N \neq 3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2497
$r_2$ [m]	0.2045
$r_3$ [m]	0.1828
$r_4$ [m]	0.1707
$r_{s5}$ [m]	0.1307
$r_{h5}$ [m]	0.03585
$r_{vol}$ [m]	0.04519
$b_2$ [m]	0.02277
$b_3$ [m]	0.02277
$b_4$ [m]	0.02277
$Z$ [m]	0.1423
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6525
$M_3$ [-]	1.068
$M_4$ [-]	1.136
$M_5$ [-]	0.3014
$\eta_t$ [%]	81.44

Tablica 44: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R290	10.79	28	273.8	1.253	57.9	29.67	4.248	1687	5.013	12045
2	R290	30.66	30.13	279.6	1.259	57.9					
3	R290	30.66	78.85	435.4	1.733	57.9					
4	R290	30.66	78.85	630.2	2.286	57.9					
5	R290	30.66	83.87	649.6	2.341	57.9					
$S_{ul,st}$	R290	29.39	81.23	647.9	2.341	57.9					
$S_{izl,st}$	R290	21.07	62.57	635.5	2.346	57.9					
$S_{ul,rot}$	R290	19.52	58.48	632.1	2.346	57.9					
$S_{izl,rot}$	R290	10.79	31.8	609.4	2.36	57.9					
6	R290	11.05	33.23	611.3	2.363	57.9					
7	R290	10.79	30	605.5	2.347	57.9					
8	R290	10.79	30	279.3	1.271	57.9					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.2	493.1	1.496	94.38					
11	Voda	20	88.85	373.6	1.178	94.38					
12	Voda	20	66.05	278.1	0.9053	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	3884					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	3884					
15	Zrak	1	24.91	298.4	6.864	3884					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	3884					



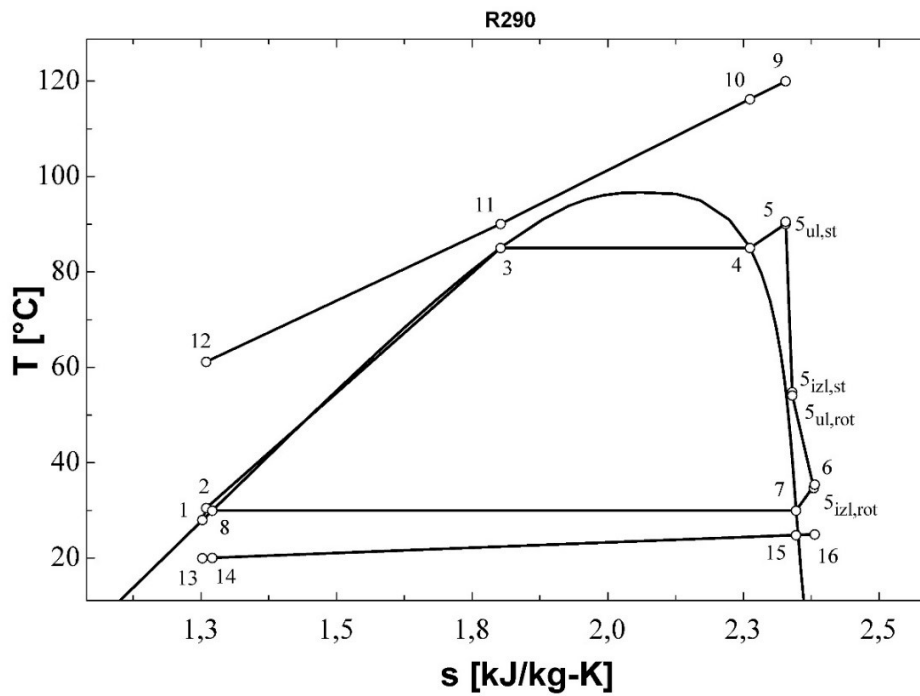
Slika 47:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 44

Tablica 45: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2485
$r_2$ [m]	0.2021
$r_3$ [m]	0.1805
$r_4$ [m]	0.1679
$r_{s5}$ [m]	0.1279
$r_{h5}$ [m]	0.03526
$r_{vol}$ [m]	0.04639
$b_2$ [m]	0.02386
$b_3$ [m]	0.02386
$b_4$ [m]	0.02386
$Z$ [m]	0.1389
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.66
$M_3$ [-]	1.007
$M_4$ [-]	1.076
$M_5$ [-]	0.2927
$\eta_t$ [%]	81.46

Tablica 46: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R290	10.79	28	273.8	1.253	63.27	25.4	3.622	1437	5	3000
2	R290	34.42	30.53	280.7	1.26	63.27					
3	R290	34.42	85.07	461.2	1.802	63.27					
4	R290	34.42	85.07	625.9	2.262	63.27					
5	R290	34.42	90.07	649.6	2.328	63.27					
5 <sub>ul,st</sub>	R290	34.67	90.56	649.9	2.328	63.27					
5 <sub>izl,st</sub>	R290	18.46	54.8	627.7	2.34	63.27					
5 <sub>ul,rot</sub>	R290	18.23	54.13	627.1	2.34	63.27					
5 <sub>izl,rot</sub>	R290	10.79	34.7	615.5	2.38	63.27					
6	R290	10.93	35.47	616.6	2.381	63.27					
7	R290	10.79	30	605.5	2.347	63.27					
8	R290	10.79	30	279.3	1.271	63.27					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	116.3	489.2	1.486	94.38					
11	Voda	20	90.07	378.7	1.192	94.38					
12	Voda	20	61.18	257.8	0.845	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4310					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4310					
15	Zrak	1	24.84	298.3	6.864	4310					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4310					



Slika 48:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 46

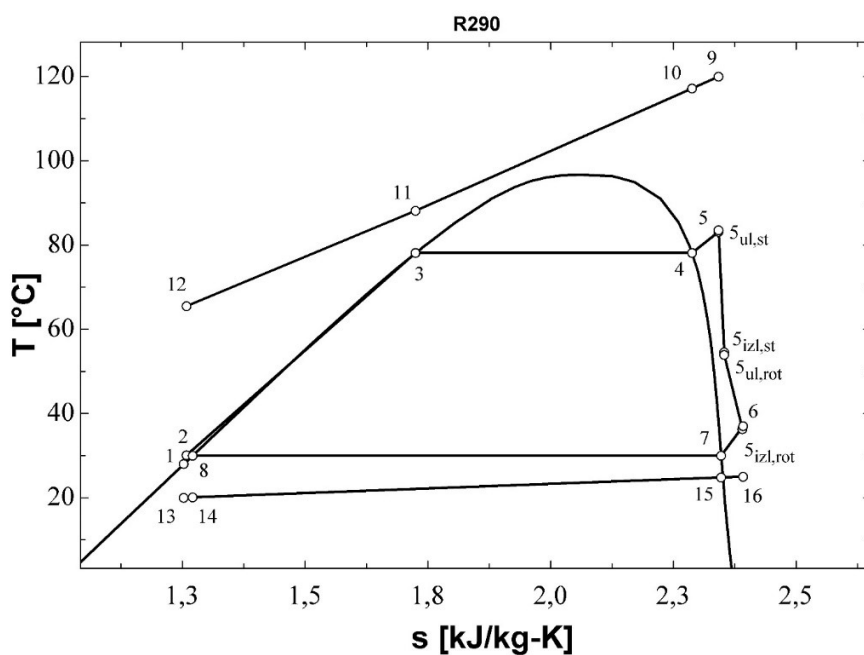
Tablica 47: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R290 (podkritično,

$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N=3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.6191
$r_2$ [m]	0.5775
$r_3$ [m]	0.5399
$r_4$ [m]	0.5357
$r_{s5}$ [m]	0.1959
$r_{h5}$ [m]	0.1125
$r_{vol}$ [m]	0.04201
$b_2$ [m]	0.01094
$b_3$ [m]	0.01094
$b_4$ [m]	0.01094
$Z$ [m]	0.1252
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.6707
$M_3$ [-]	1.206
$M_4$ [-]	1.215
$M_5$ [-]	0.2166
$\eta_t$ [%]	71.27

Tablica 48: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R290	10.79	28	273.8	1.253	58.49	21.18	3.031	1203	5.01	3000
2	R290	30.25	30.09	279.5	1.258	58.49					
3	R290	30.25	78.15	432.7	1.725	58.49					
4	R290	30.25	78.15	630.5	2.288	58.49					
5	R290	30.25	83.16	649.5	2.342	58.49					
$S_{ul,st}$	R290	30.44	83.53	649.7	2.342	58.49					
$S_{izl,st}$	R290	17.78	54.57	630.4	2.354	58.49					
$S_{ul,rot}$	R290	17.56	53.94	629.8	2.354	58.49					
$S_{izl,rot}$	R290	10.79	36.26	618.8	2.391	58.49					
6	R290	10.92	36.98	619.8	2.392	58.49					
7	R290	10.79	30	605.5	2.347	58.49					
8	R290	10.79	30	279.3	1.271	58.49					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.2	493.2	1.496	94.38					
11	Voda	20	88.15	370.6	1.17	94.38					
12	Voda	20	65.5	275.8	0.8985	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4022					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4022					
15	Zrak	1	24.79	298.2	6.863	4022					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4022					



Slika 49:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 48

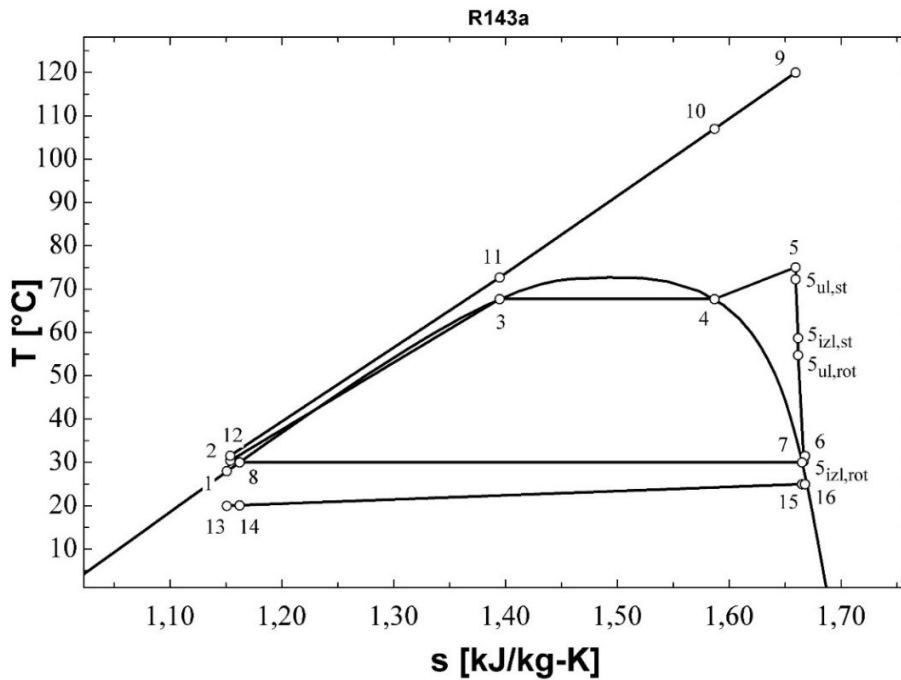
Tablica 49: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R290 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.6047
$r_2$ [m]	0.5618
$r_3$ [m]	0.5252
$r_4$ [m]	0.5209
$r_{s5}$ [m]	0.1917
$r_{h5}$ [m]	0.1094
$r_{vol}$ [m]	0.04284
$b_2$ [m]	0.01135
$b_3$ [m]	0.01135
$b_4$ [m]	0.01135
$Z$ [m]	0.1234
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.69
$M_3$ [-]	1.149
$M_4$ [-]	1.159
$M_5$ [-]	0.2088
$\eta_t$ [%]	71.54

### 3. Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R143a

Tablica 50: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R143a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	207.6	36.87	5.149	2037	7.356	5462
2	R143a	33.88	30.41	247.2	1.154	207.6					
3	R143a	33.88	67.71	325.2	1.395	207.6					
4	R143a	33.88	67.71	390.7	1.587	207.6					
5	R143a	33.88	75.06	415.7	1.659	207.6					
5 <sub>ul,st</sub>	R143a	32.36	72.32	414.8	1.659	207.6					
5 <sub>izl,st</sub>	R143a	25.45	58.74	410.9	1.662	207.6					
5 <sub>ul,rot</sub>	R143a	23.69	54.77	409.4	1.662	207.6					
5 <sub>izl,rot</sub>	R143a	14.35	30.32	400.5	1.667	207.6					
6	R143a	14.65	31.51	401.3	1.668	207.6					
7	R143a	14.35	30	400	1.665	207.6					
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	207.6					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	107	450.1	1.384	94.38					
11	Voda	20	72.71	305.9	0.9866	94.38					
12	Voda	20	31.55	134	0.4573	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	6482					
14	Zrak	1	20.11	293.5	6.847	6482					
15	Zrak	1	24.96	298.4	6.864	6482					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	6482					



Slika 50:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 50

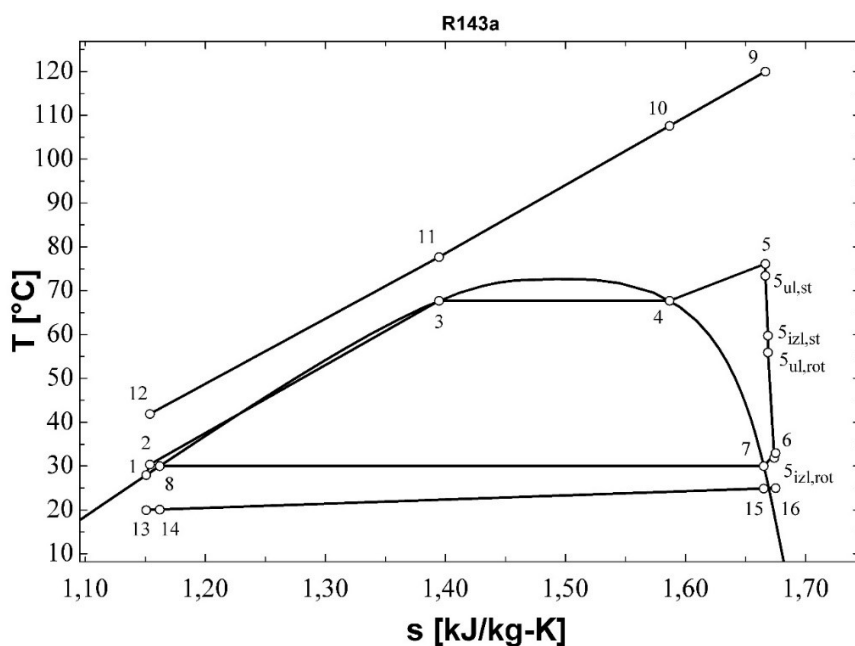
Tablica 51: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R143a  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.3517
$r_2$ [m]	0.2822
$r_3$ [m]	0.2513
$r_4$ [m]	0.2313
$r_{s5}$ [m]	0.1776
$r_{h5}$ [m]	0.04857
$r_{vol}$ [m]	0.06965
$b_2$ [m]	0.03692
$b_3$ [m]	0.03692
$b_4$ [m]	0.03692
$Z$ [m]	0.1935
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.648
$M_3$ [-]	0.9236
$M_4$ [-]	1
$M_5$ [-]	0.2851
$\eta_t$ [%]	81.4

Tablica 52: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R143a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	28	1.151	180.9	32.71	4.597	1820	8.425	5732
2	R143a	33.88	30.41	30.41	1.154	180.9					
3	R143a	33.88	67.71	67.71	1.395	180.9					
4	R143a	33.88	67.71	67.71	1.587	180.9					
5	R143a	33.88	76.13	76.13	1.666	180.9					
$5_{ul,st}$	R143a	32.37	73.42	73.42	1.666	180.9					
$5_{izl,st}$	R143a	25.35	59.77	59.77	1.669	180.9					
$5_{ul,rot}$	R143a	23.65	55.95	55.95	1.669	180.9					
$5_{izl,rot}$	R143a	14.35	31.86	31.86	1.674	180.9					
6	R143a	14.64	33.02	33.02	33.02	180.9					
7	R143a	14.35	30	30	30	180.9					
8	R143a	14.35	30	30	30	180.9					
9	Voda	20	120	120	120	94.38					
10	Voda	20	107.6	107.6	107.6	94.38					
11	Voda	20	77.71	77.71	77.71	94.38					
12	Voda	20	41.89	41.89	41.89	94.38					
13	Zrak	1	20	20	20	5726					
14	Zrak	1	20.11	20.11	20.11	5726					
15	Zrak	1	24.89	24.89	24.89	5726					
16	Zrak	1	25	25	25	5726					





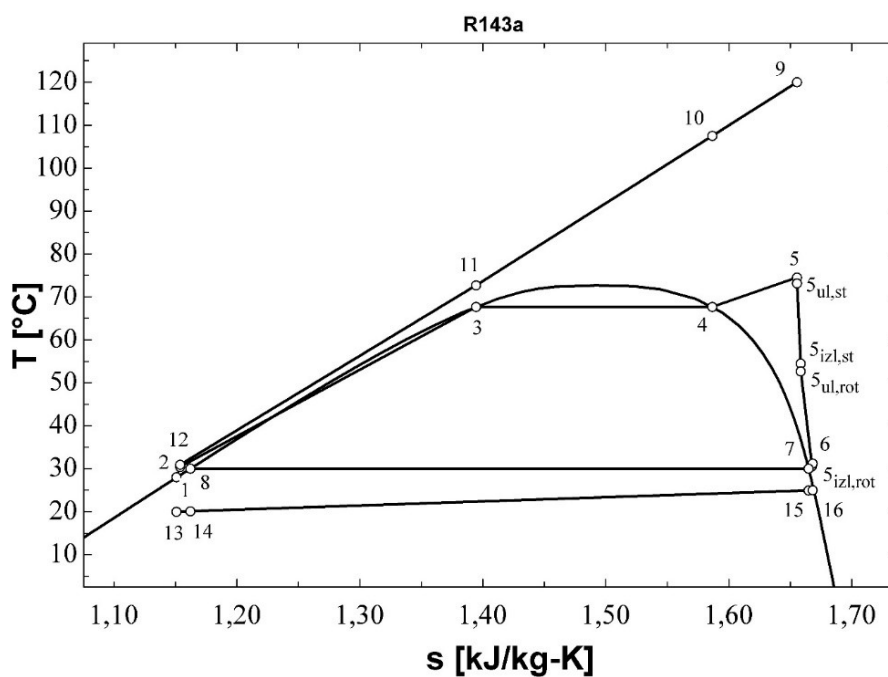
Slika 51:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 52

Tablica 53: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R143a  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.3339
$r_2$ [m]	0.2689
$r_3$ [m]	0.2399
$r_4$ [m]	0.2217
$r_{s5}$ [m]	0.168
$r_{h5}$ [m]	0.04655
$r_{vol}$ [m]	0.06484
$b_2$ [m]	0.03428
$b_3$ [m]	0.03428
$b_4$ [m]	0.03428
$Z$ [m]	0.1822
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6535
$M_3$ [-]	0.9307
$M_4$ [-]	1.004
$M_5$ [-]	0.2802
$\eta_t$ [%]	81.52

Tablica 54: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R143a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	210.6	32.3	4.509	1783	6.808	3000
2	R143a	33.88	30.41	247.2	1.154	210.6					
3	R143a	33.88	67.71	325.2	1.395	210.6					
4	R143a	33.88	67.71	390.7	1.587	210.6					
5	R143a	33.88	74.51	414.4	1.656	210.6					
5 <sub>ul,st</sub>	R143a	33.12	73.15	413.9	1.656	210.6					
5 <sub>izl,st</sub>	R143a	23.78	54.48	408.6	1.659	210.6					
5 <sub>ul,rot</sub>	R143a	23.01	52.66	407.9	1.659	210.6					
5 <sub>izl,rot</sub>	R143a	14.35	30.58	400.9	1.668	210.6					
6	R143a	14.51	31.24	401.3	1.668	210.6					
7	R143a	14.35	30	400	1.665	210.6					
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	210.6					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	107.5	452.2	1.39	94.38					
11	Voda	20	72.71	305.9	0.9866	94.38					
12	Voda	20	30.94	131.4	0.4489	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	6579					
14	Zrak	1	20.11	293.5	6.847	6579					
15	Zrak	1	24.96	298.4	6.864	6579					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	6579					



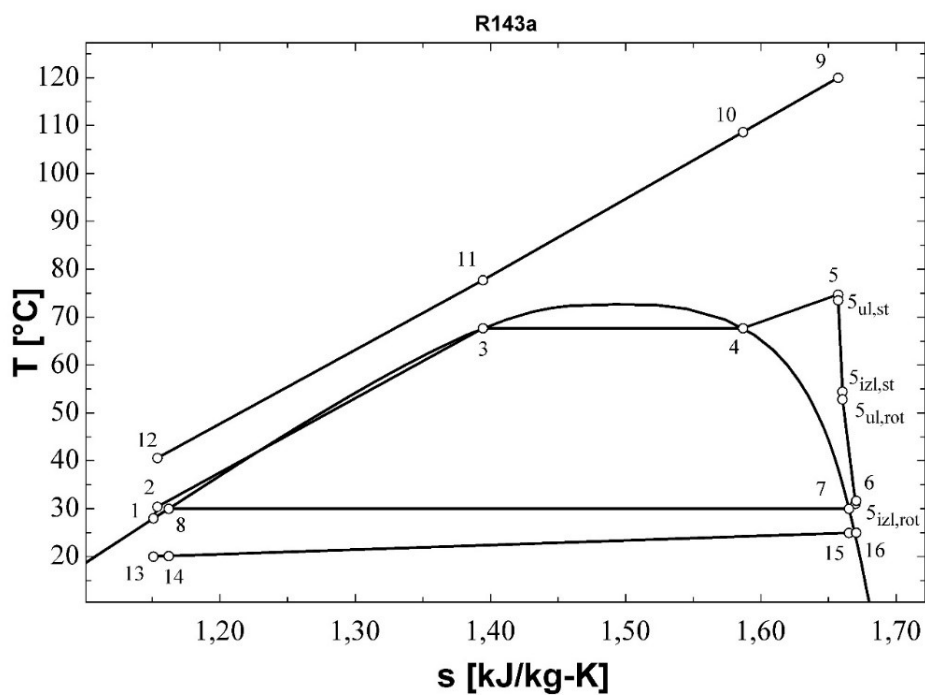
Slika 52:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 54

Tablica 55: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R143a  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.4877
$r_2$ [m]	0.4242
$r_3$ [m]	0.3931
$r_4$ [m]	0.381
$r_{s5}$ [m]	0.2214
$r_{h5}$ [m]	0.08002
$r_{vol}$ [m]	0.06362
$b_2$ [m]	0.0284
$b_3$ [m]	0.0284
$b_4$ [m]	0.0284
$Z$ [m]	0.2121
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.7161
$M_3$ [-]	1.045
$M_4$ [-]	1.076
$M_5$ [-]	0.2177
$\eta_t$ [%]	79.25

Tablica 56: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R143a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	187.5	28.11	3.946	1562	7.01	3000
2	R143a	33.88	30.41	247.2	1.154	187.5					
3	R143a	33.88	67.71	325.2	1.395	187.5					
4	R143a	33.88	67.71	390.7	1.587	187.5					
5	R143a	33.88	74.72	414.9	1.657	187.5					
$S_{ul,st}$	R143a	33.2	73.5	414.5	1.657	187.5					
$S_{izl,st}$	R143a	23.67	54.47	409	1.66	187.5					
$S_{ul,rot}$	R143a	22.96	52.81	408.3	1.66	187.5					
$S_{izl,rot}$	R143a	14.35	31.02	401.5	1.67	187.5					
6	R143a	14.51	31.66	401.9	1.671	187.5					
7	R143a	14.35	30	400	1.665	187.5					
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	187.5					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	108.7	457.1	1.402	94.38					
11	Voda	20	77.71	326.9	1.047	94.38					
12	Voda	20	40.57	171.7	0.5792	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5879					
14	Zrak	1	20.11	293.5	6.847	5879					
15	Zrak	1	24.94	298.4	6.864	5879					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5879					



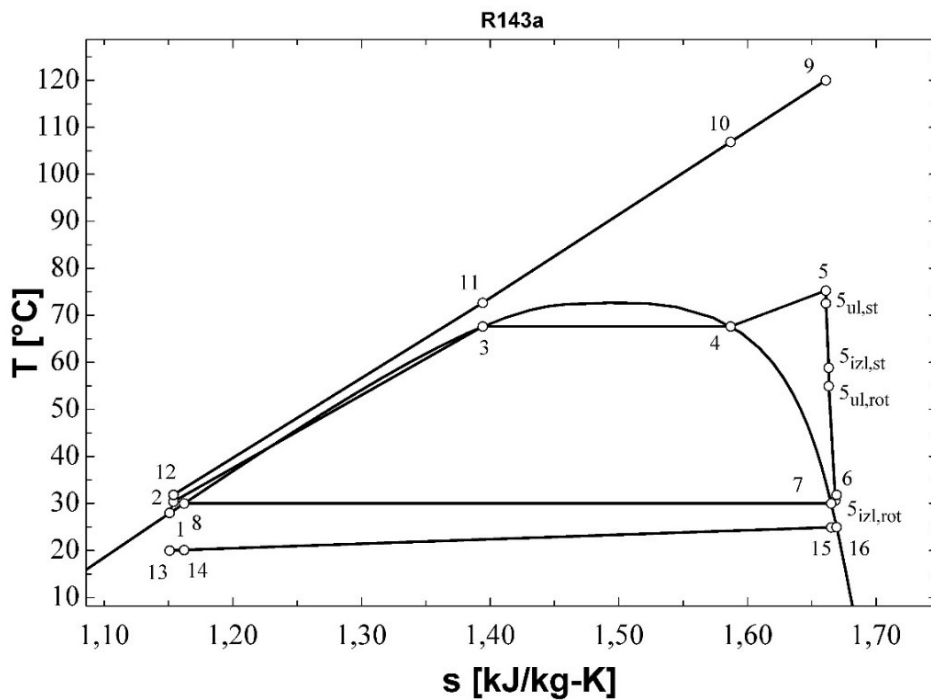
Slika 53:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 56

Tablica 57: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R143a  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.4788
$r_2$ [m]	0.4189
$r_3$ [m]	0.3884
$r_4$ [m]	0.3776
$r_{s5}$ [m]	0.2122
$r_{h5}$ [m]	0.07929
$r_{vol}$ [m]	0.05994
$b_2$ [m]	0.02591
$b_3$ [m]	0.02591
$b_4$ [m]	0.02591
$Z$ [m]	0.1994
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.7152
$M_3$ [-]	1.049
$M_4$ [-]	1.077
$M_5$ [-]	0.2143
$\eta_t$ [%]	78.94

Tablica 58: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R143a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	206.3	36.83	5.143	2034	7.581	5403
2	R143a	33.85	30.41	247.2	1.154	206.3					
3	R143a	33.85	67.67	325.1	1.394	206.3					
4	R143a	33.85	67.67	390.8	1.587	206.3					
5	R143a	33.85	75.25	416.2	1.661	206.3					
5 <sub>ul,st</sub>	R143a	32.35	72.54	415.4	1.661	206.3					
5 <sub>izl,st</sub>	R143a	25.38	58.85	411.3	1.663	206.3					
5 <sub>ul,rot</sub>	R143a	23.65	54.96	409.9	1.663	206.3					
5 <sub>izl,rot</sub>	R143a	14.35	30.67	401	1.668	206.3					
6	R143a	14.64	31.83	401.8	1.669	206.3					
7	R143a	14.35	30	400	1.665	206.3					
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	206.3					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	106.9	449.4	1.382	94.38					
11	Voda	20	72.67	305.8	0.9862	94.38					
12	Voda	20	31.84	135.2	0.4612	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	6461					
14	Zrak	1	20.11	293.5	6.847	6461					
15	Zrak	1	24.95	298.4	6.864	6461					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	6461					



Slika 54:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 58

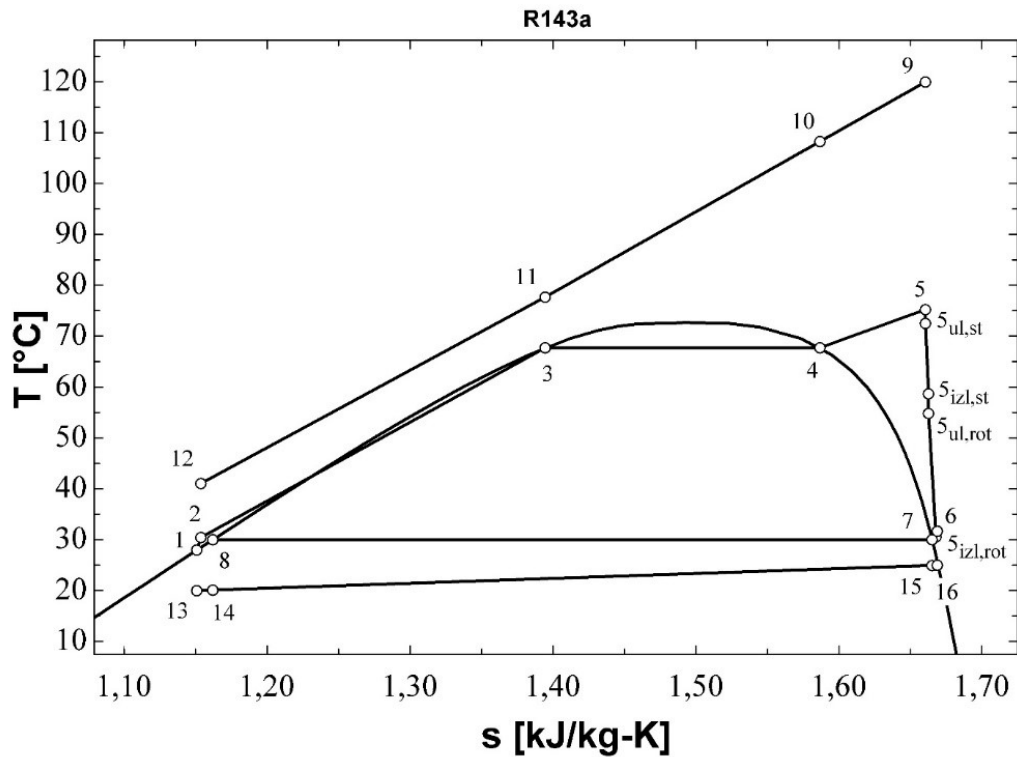
Tablica 59: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R143a (podkritično,

$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N\neq 3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.3531
$r_2$ [m]	0.2843
$r_3$ [m]	0.2535
$r_4$ [m]	0.2338
$r_{s5}$ [m]	0.1782
$r_{h5}$ [m]	0.04909
$r_{vol}$ [m]	0.06921
$b_2$ [m]	0.03665
$b_3$ [m]	0.03665
$b_4$ [m]	0.03665
$Z$ [m]	0.1937
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6513
$M_3$ [-]	0.9862
$M_4$ [-]	1.003
$M_5$ [-]	0.2823
$\eta_t$ [%]	81.48

Tablica 60: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R143a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [°C]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	185.1	32.8	4.607	1824	7.509	5653
2	R143a	33.88	30.41	247.2	1.154	185.1					
3	R143a	33.88	67.7	325.2	1.395	185.1					
4	R143a	33.88	67.7	390.7	1.587	185.1					
5	R143a	33.88	75.21	416	1.66	185.1					
$s_{ul,st}$	R143a	32.37	72.5	415.2	1.66	185.1					
$s_{izl,st}$	R143a	25.34	58.67	411.1	1.663	185.1					
$s_{ul,rot}$	R143a	23.63	54.82	409.7	1.663	185.1					
$s_{izl,rot}$	R143a	14.35	30.56	400.8	1.668	185.1					
6	R143a	14.64	31.7	401.6	1.669	185.1					
7	R143a	14.35	30	400	1.665	185.1					
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	185.1					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	108.3	455.4	1.398	94.38					
11	Voda	20	77.7	326.9	1.047	94.38					
12	Voda	20	41.06	173.7	0.5856	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5790					
14	Zrak	1	20.11	293.5	6.847	5790					
15	Zrak	1	24.95	298.4	6.864	5790					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5790					



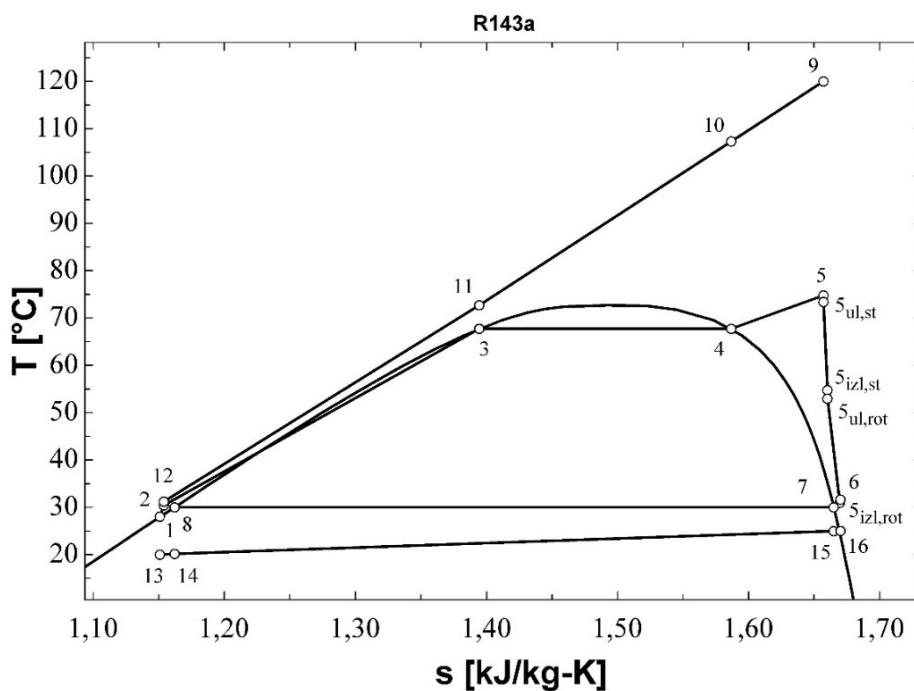
Slika 55: T-s dijagram za rezultate iz tablice 61

Tablica 61: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R143a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.3362
$r_2$ [m]	0.2707
$r_3$ [m]	0.2415
$r_4$ [m]	0.223
$r_{s5}$ [m]	0.1693
$r_{h5}$ [m]	0.04683
$r_{vol}$ [m]	0.0654
$b_2$ [m]	0.03458
$b_3$ [m]	0.03458
$b_4$ [m]	0.03458
$Z$ [m]	0.1838
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6531
$M_3$ [-]	0.9324
$M_4$ [-]	1.006
$M_5$ [-]	0.2808
$\eta_t$ [%]	81.51

Tablica 62: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R143a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	209.3	32.21	4.498	1779	7.042	3000
2	R143a	33.88	30.41	247.2	1.154	209.3					
3	R143a	33.88	67.71	325.2	1.395	209.3					
4	R143a	33.88	67.71	390.7	1.587	209.3					
5	R143a	33.88	74.75	414.9	1.657	209.3					
5 <sub>ul,st</sub>	R143a	33.13	73.4	414.5	1.657	209.3					
5 <sub>izl,st</sub>	R143a	23.79	54.77	409.1	1.66	209.3					
5 <sub>ul,rot</sub>	R143a	23.01	52.96	408.4	1.66	209.3					
5 <sub>izl,rot</sub>	R143a	14.35	30.95	401.4	1.67	209.3					
6	R143a	14.51	31.61	401.8	1.67	209.3					
7	R143a	14.35	30	400	1.665	209.3					
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	209.3					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	107.3	451.3	1.387	94.38					
11	Voda	20	72.71	305.9	0.9866	94.38					
12	Voda	20	31.21	132.5	0.4525	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	6560					
14	Zrak	1	20.11	293.5	6.847	6560					
15	Zrak	1	24.94	298.4	6.864	6560					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	6560					



Slika 56:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 62



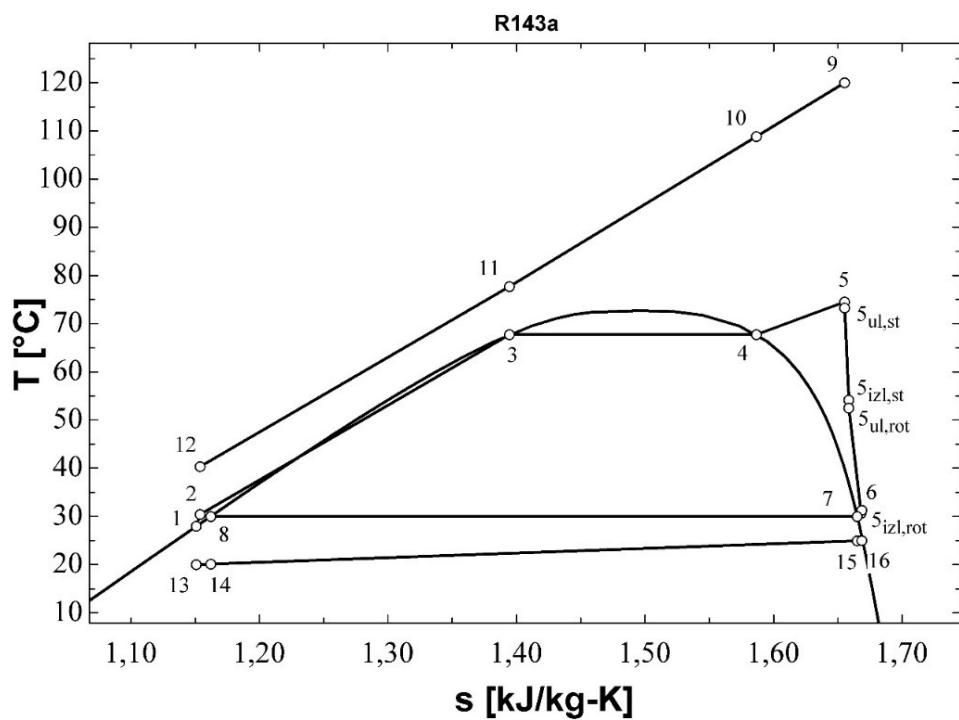
Tablica 63: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R143a (podkritično,

$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N=3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.488
$r_2$ [m]	0.4247
$r_3$ [m]	0.3936
$r_4$ [m]	0.3816
$r_{s5}$ [m]	0.2212
$r_{h5}$ [m]	0.08013
$r_{vol}$ [m]	0.06346
$b_2$ [m]	0.02825
$b_3$ [m]	0.02825
$b_4$ [m]	0.02825
$Z$ [m]	0.2115
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.7162
$M_3$ [-]	1.044
$M_4$ [-]	1.075
$M_5$ [-]	0.2174
$\eta_t$ [%]	79.23

Tablica 64: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R143a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	188.7	28.18	3.956	1566	6.778	3000
2	R143a	33.88	30.41	247.2	1.154	188.7					
3	R143a	33.88	67.71	325.2	1.395	188.7					
4	R143a	33.88	67.71	390.7	1.587	188.7					
5	R143a	33.88	74.48	414.3	1.655	188.7					
$s_{ul,st}$	R143a	33.2	73.26	413.9	1.655	188.7					
$s_{izl,st}$	R143a	23.66	54.19	408.4	1.659	188.7					
$s_{ul,rot}$	R143a	22.95	52.5	407.8	1.659	188.7					
$s_{izl,rot}$	R143a	14.35	30.66	401	1.668	188.7					
6	R143a	14.51	31.3	401.4	1.669	188.7					
7	R143a	14.35	30	400	1.665	188.7					
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	188.7					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	108.9	457.9	1.404	94.38					
11	Voda	20	77.71	326.9	1.047	94.38					
12	Voda	20	40.34	170.7	0.576	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5896					
14	Zrak	1	20.11	293.5	6.847	5896					
15	Zrak	1	24.96	298.4	6.864	5896					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5896					



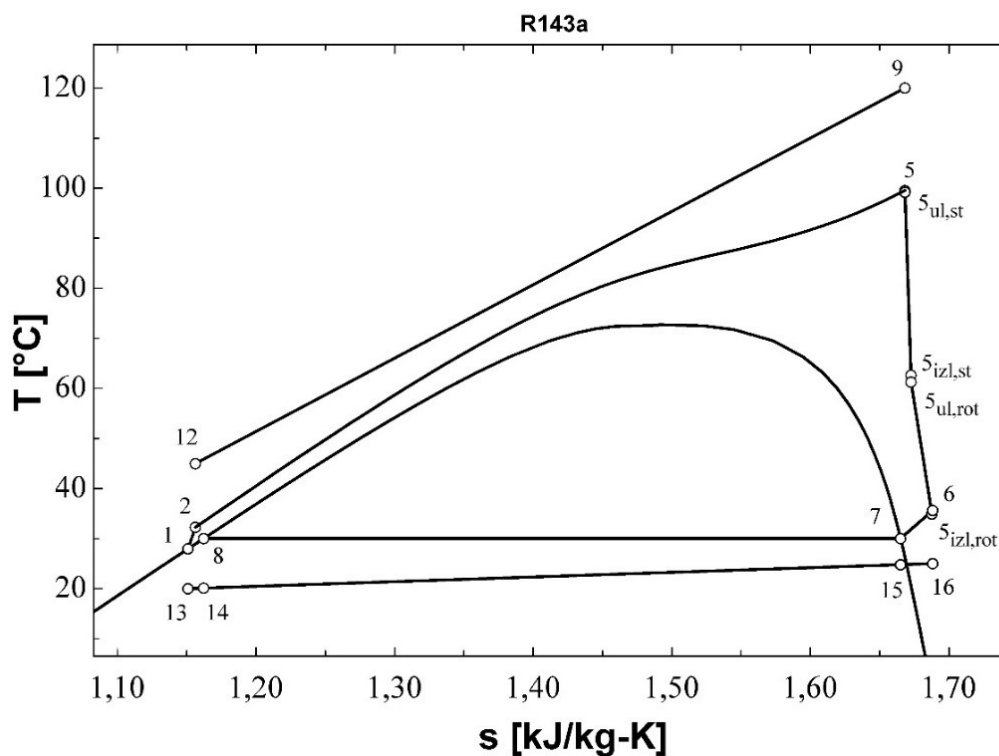
Slika 57:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 64

Tablica 65: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R143a  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.4785
$r_2$ [m]	0.4184
$r_3$ [m]	0.3879
$r_4$ [m]	0.377
$r_{35}$ [m]	0.2125
$r_{h5}$ [m]	0.07918
$r_{vol}$ [m]	0.06009
$b_2$ [m]	0.02604
$b_3$ [m]	0.02604
$b_4$ [m]	0.02604
$Z$ [m]	0.2
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.7151
$M_3$ [-]	1.049
$M_4$ [-]	1.078
$M_5$ [-]	0.2145
$\eta_t$ [%]	78.97

Tablica 66: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R143a (nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	169.8	34.95	4.922	1949	3000
2	R143a	49.71	32.25	249.6	1.156	169.8				
5	R143a	49.71	99.52	426	1.668	169.8				
5 <sub>ul,st</sub>	R143a	49.43	99.18	425.9	1.668	169.8				
5 <sub>izl,st</sub>	R143a	26.37	62.67	415.3	1.673	169.8				
5 <sub>ul,rot</sub>	R143a	25.72	61.28	414.8	1.673	169.8				
5 <sub>izl,rot</sub>	R143a	14.35	34.9	406.9	1.688	169.8				
6	R143a	14.53	35.65	407.4	1.688	169.8				
7	R143a	14.35	30	400	1.665	169.8				
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	169.8				
9	Voda	20	120	505	1.668	94.38				
12	Voda	20	45	190.2	1.156	94.38				
13	Zrak	1	20	293.4	1.151	5510				
14	Zrak	1	20.1	293.5	1.162	5510				
15	Zrak	1	24.77	298.2	1.665	5510				
16	Zrak	1	25	298.4	1.688	5510				



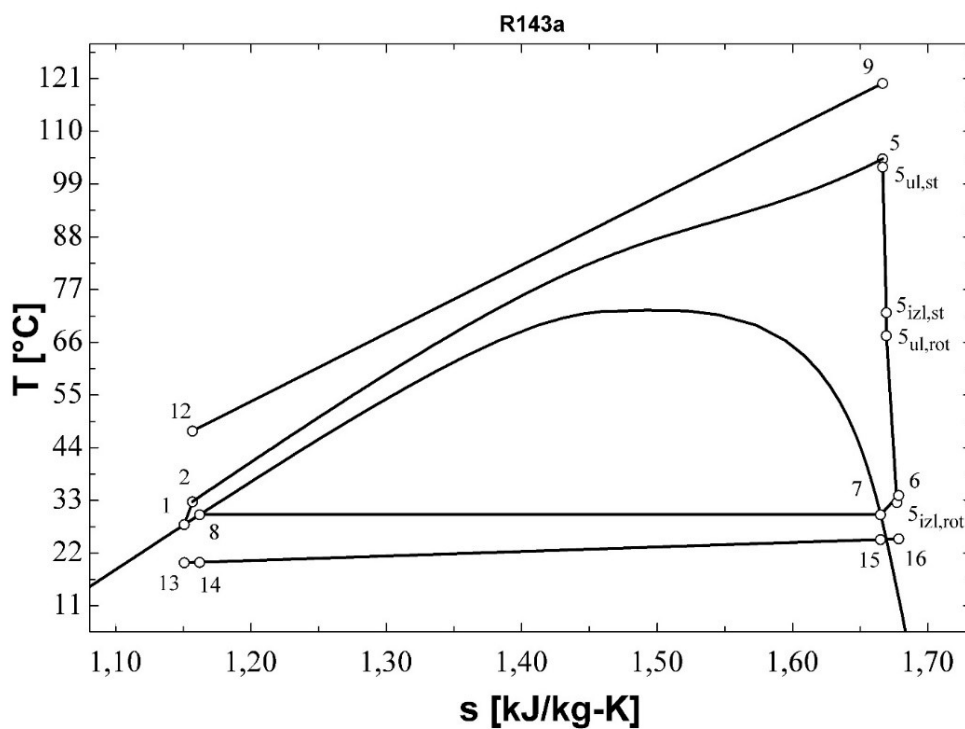
Slika 58:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 66

Tablica 67: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R143a  
(nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5029
$r_2$ [m]	0.45
$r_3$ [m]	0.4183
$r_4$ [m]	0.4112
$r_{s5}$ [m]	0.2031
$r_{h5}$ [m]	0.08634
$r_{vol}$ [m]	0.05293
$b_2$ [m]	0.01774
$b_3$ [m]	0.01774
$b_4$ [m]	0.01774
$Z$ [m]	0.1752
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.523
$M_3$ [-]	1.205
$M_4$ [-]	1.225
$M_5$ [-]	0.2274
$\eta_t$ [%]	77.4

Tablica 68: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R143a (nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [°C]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	162.7	42.31	5.968	2364	7671
2	R143a	54.06	32.75	250.2	1.157	162.7				
5	R143a	54.06	104.3	426.9	1.667	162.7				
$S_{ul,st}$	R143a	52.53	102.6	426.4	1.667	162.7				
$S_{izl,st}$	R143a	31.44	72.19	417.7	1.669	162.7				
$S_{ul,rot}$	R143a	28.95	67.39	416.1	1.669	162.7				
$S_{izl,rot}$	R143a	14.35	32.57	403.7	1.677	162.7				
6	R143a	14.72	34.04	404.7	1.678	162.7				
7	R143a	14.35	30	400	1.665	162.7				
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	162.7				
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38				
12	Voda	20	47.5	200.6	0.6704	94.38				
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5191				
14	Zrak	1	20.11	293.5	6.847	5191				
15	Zrak	1	24.86	298.3	6.864	5191				
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5191				



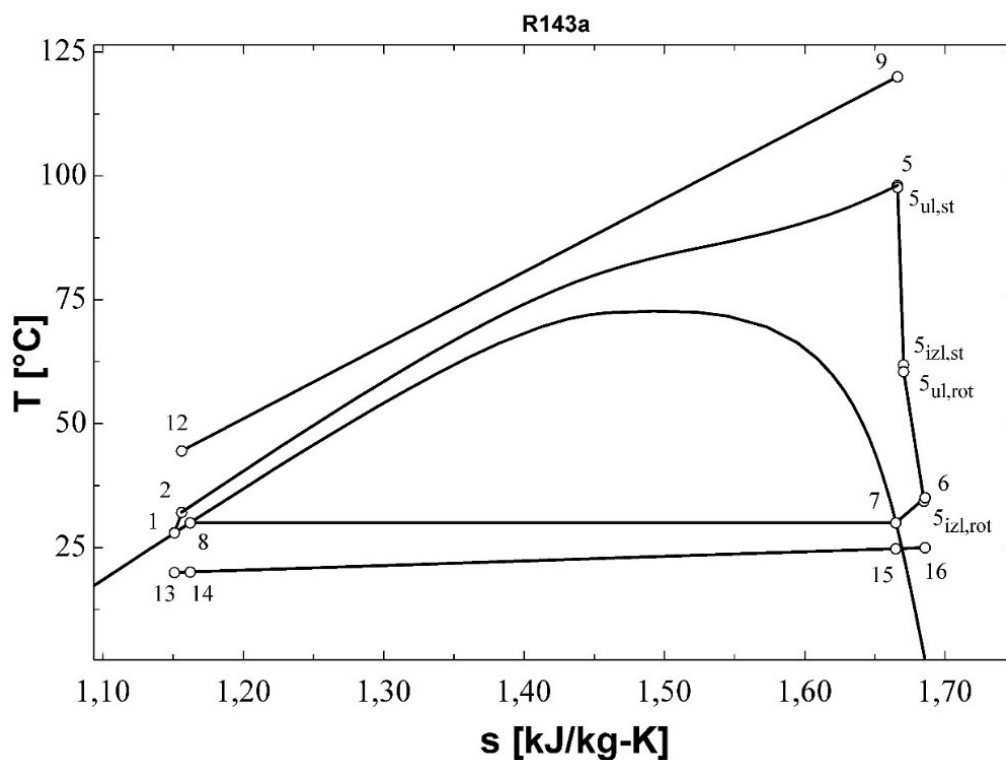
Slika 59:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 68

Tablica 69: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R143a (nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2838
$r_2$ [m]	0.2319
$r_3$ [m]	0.2074
$r_4$ [m]	0.1948
$r_{s5}$ [m]	0.1508
$r_{h5}$ [m]	0.0409
$r_{vol}$ [m]	0.05202
$b_2$ [m]	0.02374
$b_3$ [m]	0.02374
$b_4$ [m]	0.02374
$Z$ [m]	0.1649
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.5182
$M_3$ [-]	1.142
$M_4$ [-]	1.214
$M_5$ [-]	0.3141
$\eta_t$ [%]	81.48

Tablica 70: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R143a (nadkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$N$ [o/min]
1	R143a	14.35	28	244.1	1.151	170.6	34.61	4.873	1930	3000
2	R143a	48.76	32.15	249.4	1.156	170.6				
5	R143a	48.76	98.09	424.9	1.666	170.6				
5 <sub>ul,st</sub>	R143a	48.46	97.71	424.8	1.666	170.6				
5 <sub>izl,st</sub>	R143a	26.18	61.91	414.5	1.671	170.6				
5 <sub>ul,rot</sub>	R143a	25.53	60.5	413.9	1.671	170.6				
5 <sub>izl,rot</sub>	R143a	14.35	34.35	406.2	1.685	170.6				
6	R143a	14.53	35.08	406.7	1.686	170.6				
7	R143a	14.35	30	400	1.665	170.6				
8	R143a	14.35	30	247.6	1.162	170.6				
9	Voda	20	120	505	1.666	94.38				
12	Voda	20	44.5	188.1	1.156	94.38				
13	Zrak	1	20	293.4	1.151	5511				
14	Zrak	1	20.11	293.5	1.162	5511				
15	Zrak	1	24.8	298.2	1.665	5511				
16	Zrak	1	25	298.4	1.686	5511				



Slika 60:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 70

Tablica 71: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R143a (nadkritično,

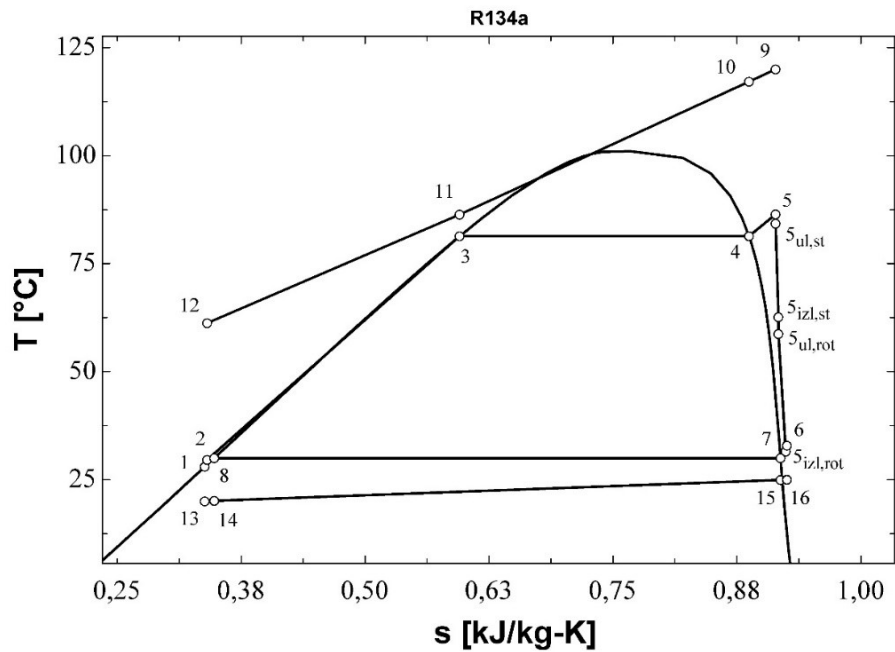
$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N=3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.501
$r_2$ [m]	0.4474
$r_3$ [m]	0.4158
$r_4$ [m]	0.4085
$r_{s5}$ [m]	0.2034
$r_{h5}$ [m]	0.08578
$r_{vol}$ [m]	0.05354
$b_2$ [m]	0.01814
$b_3$ [m]	0.01814
$b_4$ [m]	0.01814
$Z$ [m]	0.1765
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.5256
$M_3$ [-]	1.196
$M_4$ [-]	1.216
$M_5$ [-]	0.2265
$\eta_t$ [%]	77.56

#### 4. Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R134a

Tablica 72: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R134a	7.706	28	90.69	0.3383	118.4	34.73	4.952	1965	5.038	6612
2	R134a	27.14	29.6	93.01	0.3406	118.4					
3	R134a	27.14	81.38	176.9	0.5952	118.4					
4	R134a	27.14	81.38	280.4	0.8872	118.4					
5	R134a	27.14	86.42	289.9	0.9138	118.4					
5 <sub>ul,st</sub>	R134a	26.11	84.28	289.2	0.9138	118.4					
5 <sub>izl,st</sub>	R134a	16.87	62.6	281.9	0.9168	118.4					
5 <sub>ul,rot</sub>	R134a	15.52	58.7	280.2	0.9168	118.4					
5 <sub>izl,rot</sub>	R134a	7.706	31.51	268.3	0.9241	118.4					
6	R134a	7.912	32.9	269.2	0.9254	118.4					
7	R134a	7.706	30	266.7	0.9188	118.4					
8	R134a	7.706	30	93.58	0.3479	118.4					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.2	493.1	1.496	94.38					
11	Voda	20	86.38	363.2	1.149	94.38					
12	Voda	20	61.26	258.1	0.8459	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4200					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4200					
15	Zrak	1	24.93	298.4	6.864	4200					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4200					



Slika 61:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 72

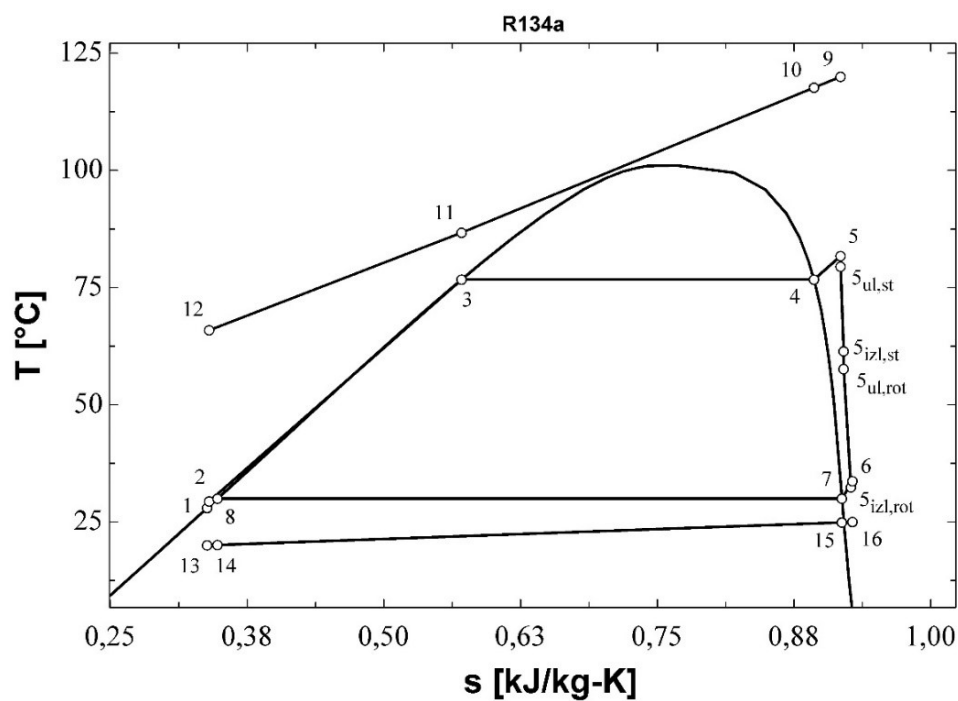


Tablica 73: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R134a  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.3228
$r_2$ [m]	0.2654
$r_3$ [m]	0.2372
$r_4$ [m]	0.2221
$r_{s5}$ [m]	0.1709
$r_{h5}$ [m]	0.04664
$r_{vol}$ [m]	0.05749
$b_2$ [m]	0.02856
$b_3$ [m]	0.02856
$b_4$ [m]	0.02856
$Z$ [m]	0.1864
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6497
$M_3$ [-]	1.089
$M_4$ [-]	1.159
$M_5$ [-]	0.3117
$\eta_t$ [%]	81.35

Tablica 74: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R134a	7.706	28	90.69	0.3383	109.2	29.73	4.256	1690	5.019	6624
2	R134a	24.56	29.39	92.7	0.3403	109.2					
3	R134a	24.56	76.72	168.1	0.5711	109.2					
4	R134a	24.56	76.72	280.8	0.8932	109.2					
5	R134a	24.56	81.74	289.4	0.9176	109.2					
$s_{ul,st}$	R134a	23.54	79.48	288.6	0.9176	109.2					
$s_{izl,st}$	R134a	16.12	61.37	282.2	0.9203	109.2					
$s_{ul,rot}$	R134a	14.86	57.64	280.5	0.9203	109.2					
$s_{izl,rot}$	R134a	7.706	32.39	269.2	0.9271	109.2					
6	R134a	7.904	33.73	270.1	0.9284	109.2					
7	R134a	7.706	30	266.7	0.9188	109.2					
8	R134a	7.706	30	93.58	0.3479	109.2					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.7	495.1	1.501	94.38					
11	Voda	20	86.72	364.7	1.153	94.38					
12	Voda	20	65.9	277.5	0.9036	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	3894					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	3894					
15	Zrak	1	24.9	298.4	6.864	3894					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	3894					



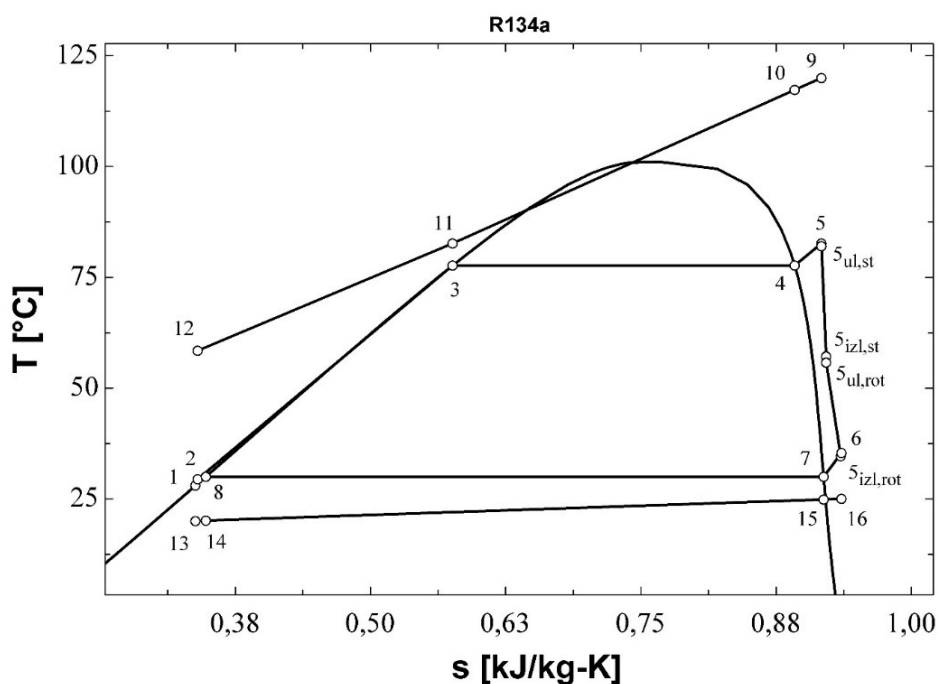
Slika 62:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 74

Tablica 75: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R134a  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.3178
$r_2$ [m]	0.2591
$r_3$ [m]	0.2314
$r_4$ [m]	0.2157
$r_{s5}$ [m]	0.1658
$r_{h5}$ [m]	0.0453
$r_{vol}$ [m]	0.05828
$b_2$ [m]	0.02941
$b_3$ [m]	0.02941
$b_4$ [m]	0.02941
$Z$ [m]	0.1808
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6532
$M_3$ [-]	1.04
$M_4$ [-]	1.112
$M_5$ [-]	0.3057
$\eta_t$ [%]	81.35

Tablica 76: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R134a	7.706	28	90.69	0.3383	124.1	29.85	4.246	1684	5	3000
2	R134a	25.07	29.43	92.76	0.3404	124.1					
3	R134a	25.07	77.66	169.9	0.5759	124.1					
4	R134a	25.07	77.66	280.8	0.8921	124.1					
5	R134a	25.07	82.66	289.5	0.9168	124.1					
5 <sub>ul,st</sub>	R134a	24.77	82.02	289.3	82.02	124.1					
5 <sub>izl,st</sub>	R134a	14.64	57.16	280.5	57.16	124.1					
5 <sub>ul,rot</sub>	R134a	14.19	55.78	279.9	55.78	124.1					
5 <sub>izl,rot</sub>	R134a	7.706	34.61	271.5	34.61	124.1					
6	R134a	7.816	35.36	272	35.36	124.1					
7	R134a	7.706	30	266.7	30	124.1					
8	R134a	7.706	30	93.58	30	124.1					
9	Voda	20	120	505	120	94.38					
10	Voda	20	117.3	493.6	117.3	94.38					
11	Voda	20	82.66	347.6	82.66	94.38					
12	Voda	20	58.45	246.3	58.45	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	20	4473					
14	Zrak	1	20.08	293.5	20.08	4473					
15	Zrak	1	24.85	298.3	24.85	4473					
16	Zrak	1	25	298.4	25	4473					



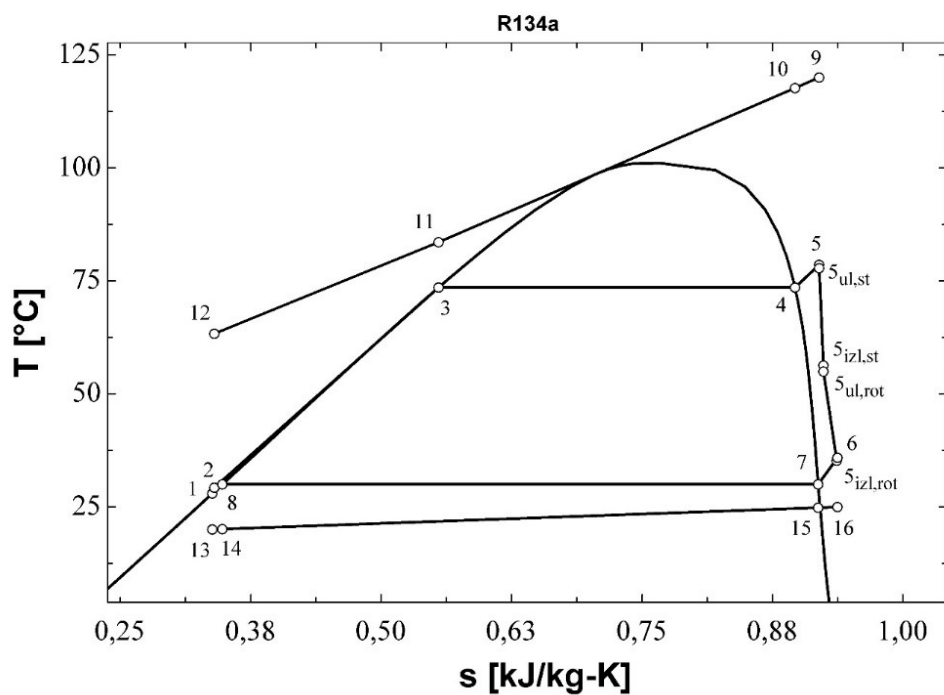
Slika 63:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 76

Tablica 77: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R134a  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5197
$r_2$ [m]	0.4627
$r_3$ [m]	0.4296
$r_4$ [m]	0.4205
$r_{s5}$ [m]	0.2234
$r_{h5}$ [m]	0.0883
$r_{vol}$ [m]	0.05672
$b_2$ [m]	0.02228
$b_3$ [m]	0.02228
$b_4$ [m]	0.02228
$Z$ [m]	0.2026
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.6971
$M_3$ [-]	1.161
$M_4$ [-]	1.186
$M_5$ [-]	0.2327
$\eta_t$ [%]	77.97

Tablica 78: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [°C]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	$N$ [o/min]
1	R134a	7.706	28	90.69	0.3383	114.7	25.43	3.632	1442	5	3000
2	R134a	22.92	29.26	92.51	0.3401	114.7					
3	R134a	22.92	73.56	162.4	0.5552	114.7					
4	R134a	22.92	73.56	280.8	0.8966	114.7					
5	R134a	22.92	78.56	288.8	0.9197	114.7					
$S_{ul,st}$	R134a	22.61	77.84	288.6	0.9197	114.7					
$S_{izl,st}$	R134a	14.13	56.32	280.7	0.9239	114.7					
$S_{ul,rot}$	R134a	13.72	55	280.1	0.9239	114.7					
$S_{izl,rot}$	R134a	7.706	35.2	272.1	0.9367	114.7					
6	R134a	7.81	35.91	272.6	0.9374	114.7					
7	R134a	7.706	30	266.7	0.9188	114.7					
8	R134a	7.706	30	93.58	0.3479	114.7					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.7	495.2	1.501	94.38					
11	Voda	20	83.56	351.4	1.116	94.38					
12	Voda	20	63.3	266.6	0.8713	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4145					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4145					
15	Zrak	1	24.84	298.3	6.864	4145					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4145					



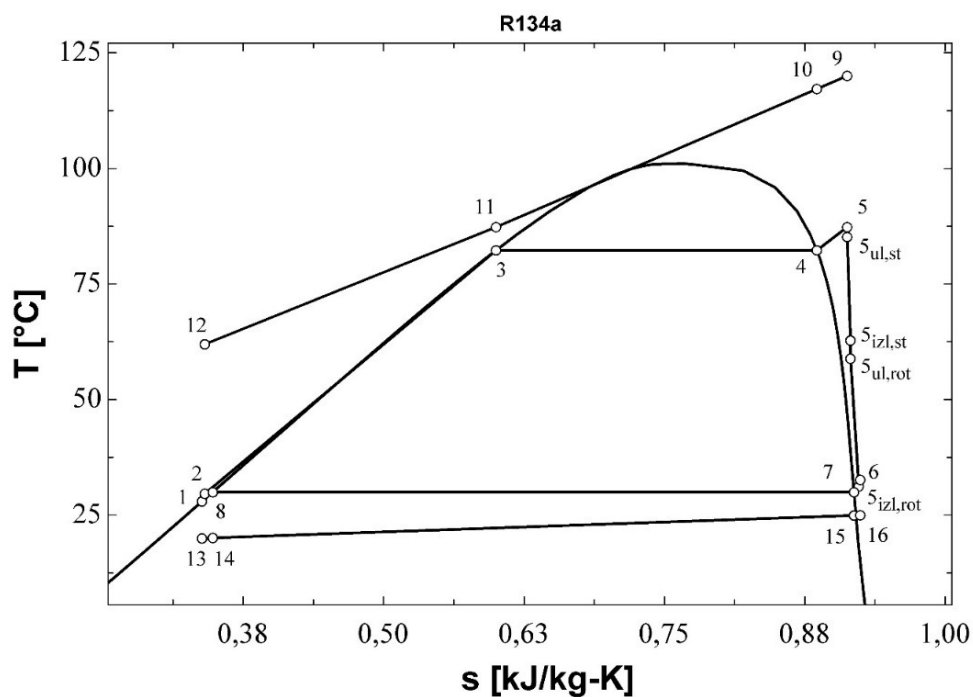
Slika 64:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 78

Tablica 79: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R134a  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5087
$r_2$ [m]	0.4516
$r_3$ [m]	0.4193
$r_4$ [m]	0.4101
$r_{s5}$ [m]	0.2177
$r_{h5}$ [m]	0.08611
$r_{vol}$ [m]	0.05686
$b_2$ [m]	0.02258
$b_3$ [m]	0.02258
$b_4$ [m]	0.02258
$Z$ [m]	0.1974
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.7048
$M_3$ [-]	1.123
$M_4$ [-]	1.148
$M_5$ [-]	0.2267
$\eta_t$ [%]	78.05

Tablica 80: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R134a	7.706	28	90.69	0.3383	117	34.71	4.952	1966	5	6703
2	R134a	27.67	29.64	93.07	0.3407	117					
3	R134a	27.67	82.29	178.7	0.6001	117					
4	R134a	27.67	82.29	280.2	0.8858	117					
5	R134a	27.67	87.29	289.9	0.9128	117					
5 <sub>ul,st</sub>	R134a	26.64	85.18	289.2	0.9128	117					
5 <sub>izl,st</sub>	R134a	17.02	62.77	281.7	0.9158	117					
5 <sub>ul,rot</sub>	R134a	15.65	58.84	280.1	0.9158	117					
5 <sub>izl,rot</sub>	R134a	7.706	31.24	268	0.9231	117					
6	R134a	7.914	32.65	268.9	0.9245	117					
7	R134a	7.706	30	266.7	0.9188	117					
8	R134a	7.706	30	93.58	0.3479	117					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.2	493	1.495	94.38					
11	Voda	20	87.29	367.1	1.16	94.38					
12	Voda	20	61.96	261	0.8546	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4146					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4146					
15	Zrak	1	24.94	298.4	6.864	4146					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4146					



Slika 65:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 80

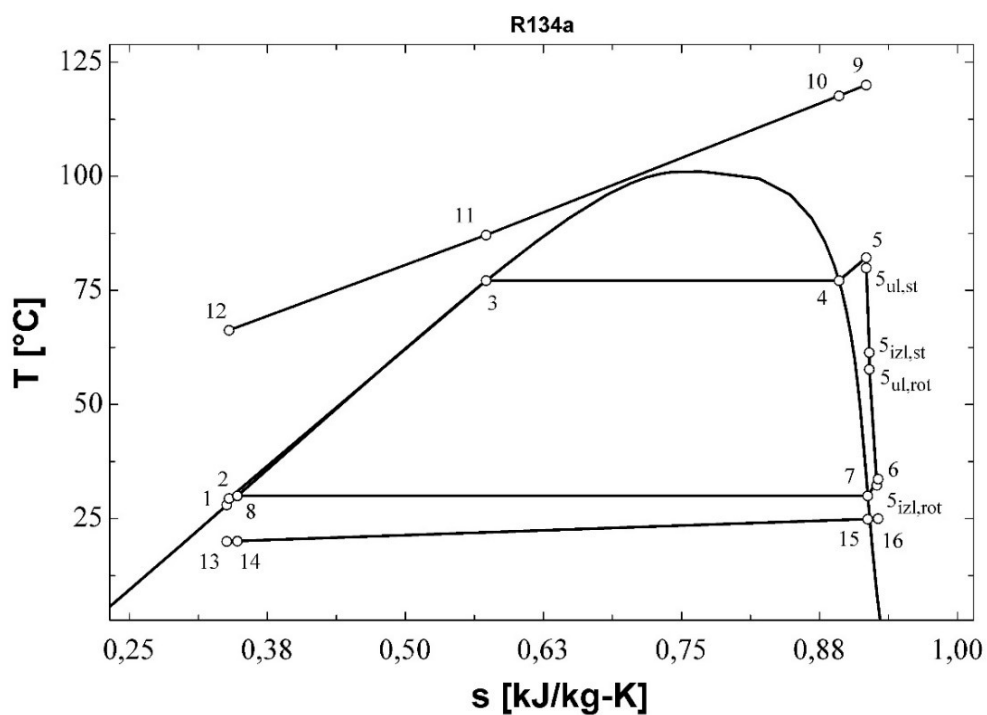
Tablica 81: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R134a (podkritično,

$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N \neq 3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.3192
$r_2$ [m]	0.2628
$r_3$ [m]	0.2349
$r_4$ [m]	0.2201
$r_{s5}$ [m]	0.1695
$r_{h5}$ [m]	0.04622
$r_{vol}$ [m]	0.05657
$b_2$ [m]	0.02803
$b_3$ [m]	0.02803
$b_4$ [m]	0.02803
$Z$ [m]	0.185
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6487
$M_3$ [-]	1.098
$M_4$ [-]	1.167
$M_5$ [-]	0.313
$\eta_t$ [%]	81.34

Tablica 82: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R134a	7.706	28	90.69	0.3383	108.5	29.73	4.257	1691	5.032	6617
2	R134a	24.79	29.41	92.73	0.3404	108.5					
3	R134a	24.79	77.15	168.9	0.5733	108.5					
4	R134a	24.79	77.15	280.8	0.8927	108.5					
5	R134a	24.79	82.18	289.5	0.9173	108.5					
$s_{ul,st}$	R134a	23.77	79.94	288.7	0.9173	108.5					
$s_{izl,st}$	R134a	16.16	61.41	282.1	0.9201	108.5					
$s_{ul,rot}$	R134a	14.9	57.7	280.5	0.9201	108.5					
$s_{izl,rot}$	R134a	7.706	32.34	269.1	0.9269	108.5					
6	R134a	7.903	33.67	270.1	0.9282	108.5					
7	R134a	7.706	30	266.7	0.9188	108.5					
8	R134a	7.706	30	93.58	0.3479	108.5					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.7	495.1	1.501	94.38					
11	Voda	20	87.15	366.4	1.158	94.38					
12	Voda	20	66.27	279	0.9081	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	3866					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	3866					
15	Zrak	1	24.91	298.4	6.864	3866					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	3866					



Slika 66:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 82

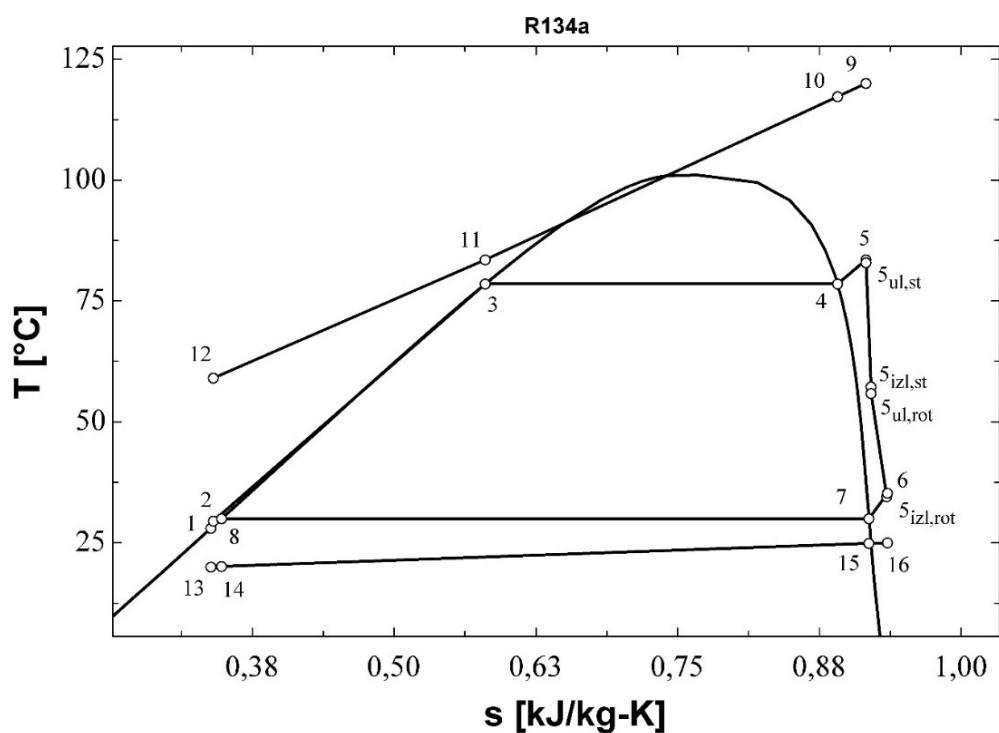
Tablica 83: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{nei}$ ; R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.3173
$r_2$ [m]	0.2592
$r_3$ [m]	0.2316
$r_4$ [m]	0.2163
$r_{s5}$ [m]	0.1656
$r_{h5}$ [m]	0.04541
$r_{vol}$ [m]	0.05771
$b_2$ [m]	0.02905
$b_3$ [m]	0.02905
$b_4$ [m]	0.02905
$Z$ [m]	0.1803
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.654
$M_3$ [-]	1.047
$M_4$ [-]	1.118
$M_5$ [-]	0.3048
$\eta_t$ [%]	81.39



Tablica 84: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	R134a	7.706	28	90.69	0.3383	122.8	29.84	4.247	1685	5	3000
2	R134a	25.53	29.47	92.82	0.3405	122.8					
3	R134a	25.53	78.53	171.5	0.5804	122.8					
4	R134a	25.53	78.53	280.7	0.8911	122.8					
5	R134a	25.53	83.53	289.6	0.9161	122.8					
5 <sub>ul,st</sub>	R134a	25.25	82.93	289.4	0.9161	122.8					
5 <sub>izl,st</sub>	R134a	14.72	57.25	280.4	0.9206	122.8					
5 <sub>ul,rot</sub>	R134a	14.28	55.88	279.8	0.9206	122.8					
5 <sub>izl,rot</sub>	R134a	7.706	34.51	271.4	0.9344	122.8					
6	R134a	7.817	35.27	271.9	0.9351	122.8					
7	R134a	7.706	30	266.7	0.9188	122.8					
8	R134a	7.706	30	93.58	0.3479	122.8					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	117.3	493.5	1.497	94.38					
11	Voda	20	83.53	351.3	1.116	94.38					
12	Voda	20	59.08	249	0.8186	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4424					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4424					
15	Zrak	1	24.85	298.3	6.864	4424					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4424					



Slika 67:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 84

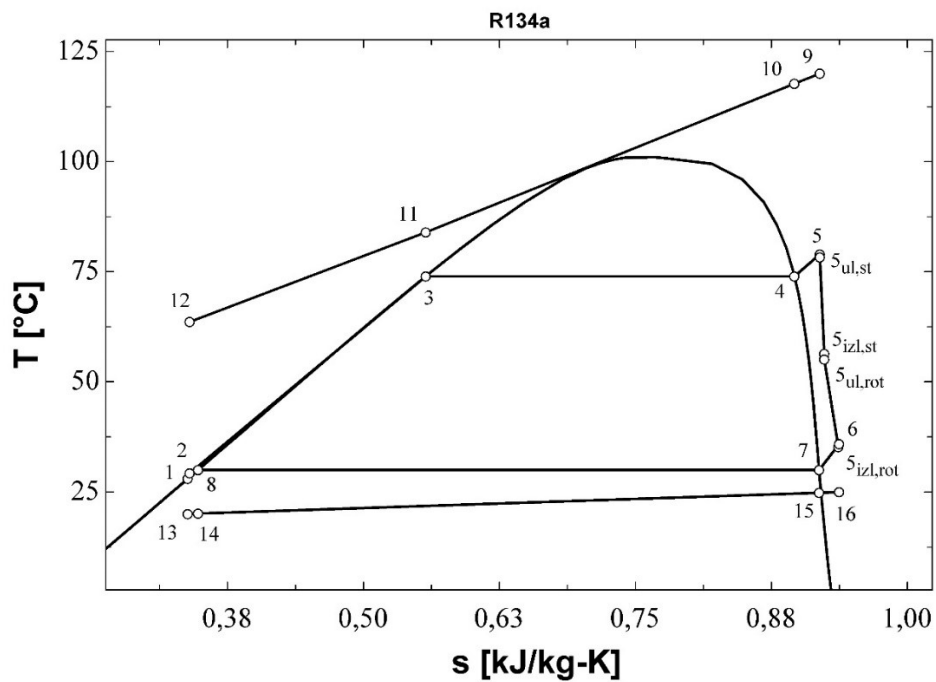
Tablica 85: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R134a (podkritično,

$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N=3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5196
$r_2$ [m]	0.4634
$r_3$ [m]	0.4303
$r_4$ [m]	0.4214
$r_{s5}$ [m]	0.2223
$r_{h5}$ [m]	0.0885
$r_{vol}$ [m]	0.05592
$b_2$ [m]	0.02176
$b_3$ [m]	0.02176
$b_4$ [m]	0.02176
$Z$ [m]	0.2006
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.695
$M_3$ [-]	1.17
$M_4$ [-]	1.194
$M_5$ [-]	0.2333
$\eta_t$ [%]	77.86

Tablica 86: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	m[kg/s]	$\eta_{\text{plant,ex}}$ [%]	$\eta_{\text{plant,en}}$ [%]	$W_{\text{net}}$ [kW]	$\Delta T_{\text{SH}}$ [°C]	N [o/min]
1	R134a	7.706	28	90.69	0.3383	114	25.43	3.633	1442	5	3000
2	R134a	23.13	29.27	92.53	0.3402	114					
3	R134a	23.13	73.98	163.1	0.5573	114					
4	R134a	23.13	73.98	280.8	0.8962	114					
5	R134a	23.13	78.98	288.9	0.9194	114					
$s_{\text{ul,st}}$	R134a	22.83	78.28	288.7	78.28	114					
$s_{\text{izl,st}}$	R134a	14.17	56.39	280.7	56.39	114					
$s_{\text{ul,rot}}$	R134a	13.76	55.07	280.1	55.07	114					
$s_{\text{izl,rot}}$	R134a	7.706	35.17	272.1	35.17	114					
6	R134a	7.811	35.89	272.6	35.89	114					
7	R134a	7.706	30	266.7	30	114					
8	R134a	7.706	30	93.58	30	114					
9	Voda	20	120	505	120	94.38					
10	Voda	20	117.7	495.2	117.7	94.38					
11	Voda	20	83.98	353.1	83.98	94.38					
12	Voda	20	63.63	268	63.63	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	20	4119					
14	Zrak	1	20.08	293.5	20.08	4119					
15	Zrak	1	24.84	298.3	24.84	4119					
16	Zrak	1	25	298.4	25	4119					



Slika 68:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 86

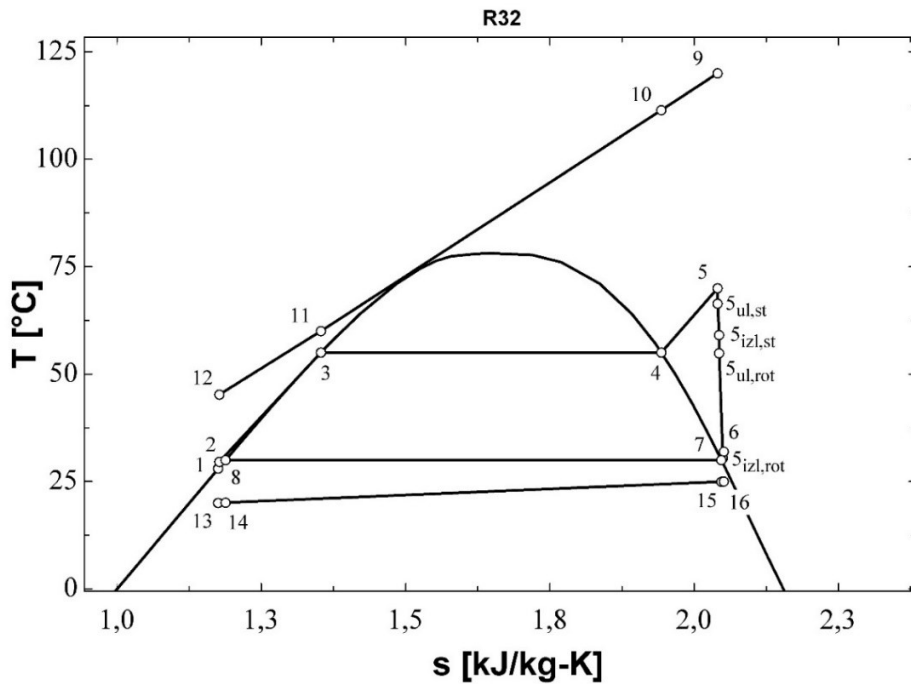
Tablica 87: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R134a (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5087
$r_2$ [m]	0.452
$r_3$ [m]	0.4197
$r_4$ [m]	0.4106
$r_{s5}$ [m]	0.2171
$r_{h5}$ [m]	0.08622
$r_{vol}$ [m]	0.05644
$b_2$ [m]	0.02229
$b_3$ [m]	0.02229
$b_4$ [m]	0.02229
$Z$ [m]	0.1963
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.7037
$M_3$ [-]	1.127
$M_4$ [-]	1.152
$M_5$ [-]	0.227
$\eta_t$ [%]	77.99

## 5. Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za R32

Tablica 88: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	ṁ[kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	N [o/min]
1	R32	19.28	28	251.3	1.175	105.1	24.16	3.403	1348	14.98	8489
2	R32	35.21	29.6	253.7	1.177	105.1					
3	R32	35.21	55.01	309.3	1.353	105.1					
4	R32	35.21	55.01	502.9	1.943	105.1					
5	R32	35.21	69.99	535.6	2.041	105.1					
5 <sub>ul,st</sub>	R32	33.51	66.41	533.7	2.041	105.1					
5 <sub>izl,st</sub>	R32	30	59.07	530.6	2.044	105.1					
5 <sub>ul,rot</sub>	R32	28.26	54.88	528.4	2.044	105.1					
5 <sub>izl,rot</sub>	R32	19.28	30.48	516.5	2.05	105.1					
6	R32	19.64	31.97	517.7	2.051	105.1					
7	R32	19.28	30	515.7	2.047	105.1					
8	R32	19.28	30	255.3	1.188	105.1					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	111.4	468.7	1.433	94.38					
11	Voda	20	60.01	252.9	0.8303	94.38					
12	Voda	20	45.22	191.1	0.6405	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5563					
14	Zrak	1	20.07	293.5	6.847	5563					
15	Zrak	1	24.96	298.4	6.864	5563					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5563					



Slika 69: T-s dijagram za rezultate iz tablice 88

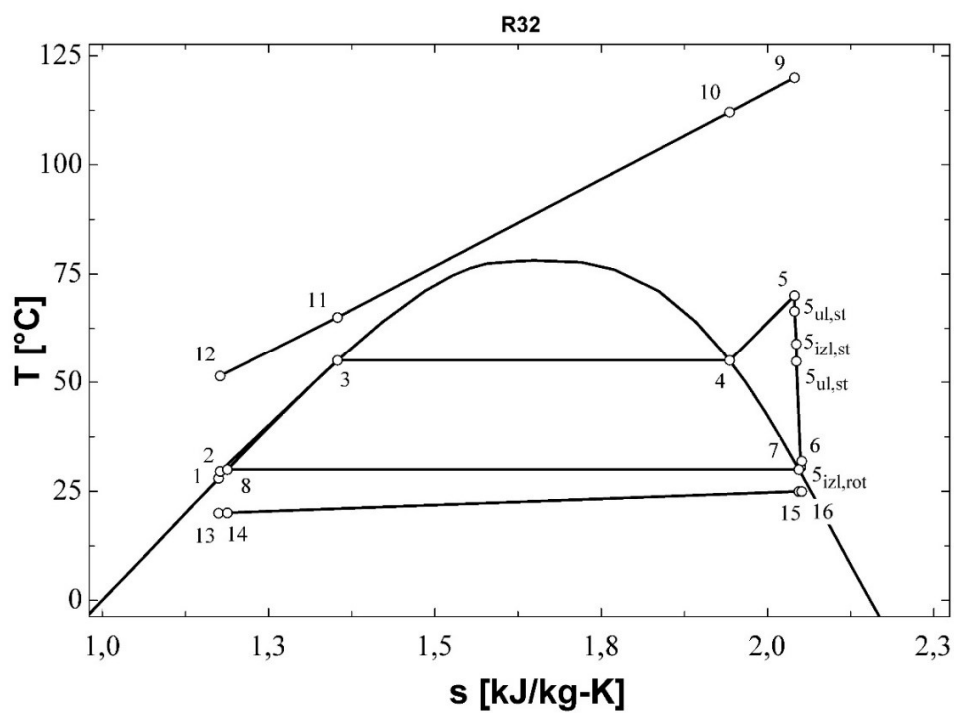
Tablica 89: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R32 (podkritično,

$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N\neq 3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2728
$r_2$ [m]	0.2127
$r_3$ [m]	0.1888
$r_4$ [m]	0.1705
$r_{s5}$ [m]	0.1265
$r_{h5}$ [m]	0.03581
$r_{vol}$ [m]	0.06
$b_2$ [m]	0.03374
$b_3$ [m]	0.03374
$b_4$ [m]	0.03374
$Z$ [m]	0.136
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.537
$M_3$ [-]	0.6625
$M_4$ [-]	0.7394
$M_5$ [-]	0.2439
$\eta_t$ [%]	81.48

Tablica 90: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	m[kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	N [o/min]
1	R32	19.28	28	251.3	1.175	96.36	22.08	3.124	1238	15	8614
2	R32	35.25	29.6	253.7	1.177	96.36					
3	R32	35.25	55.06	309.4	1.354	96.36					
4	R32	35.25	55.06	502.9	1.943	96.36					
5	R32	35.25	70.06	535.6	2.041	96.36					
$s_{ul,st}$	R32	33.54	66.48	533.7	2.041	96.36					
$s_{izl,st}$	R32	29.95	58.94	530.5	2.043	96.36					
$s_{ul,rot}$	R32	28.27	54.88	528.4	2.043	96.36					
$s_{izl,rot}$	R32	19.28	30.5	516.6	2.05	96.36					
6	R32	19.62	31.93	517.7	2.051	96.36					
7	R32	19.28	30	515.7	2.047	96.36					
8	R32	19.28	30	255.3	1.188	96.36					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	112.1	471.6	1.44	94.38					
11	Voda	20	65.06	274	0.8932	94.38					
12	Voda	20	51.48	217.2	0.7219	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5100					
14	Zrak	1	20.07	293.5	6.847	5100					
15	Zrak	1	24.96	298.4	6.864	5100					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5100					



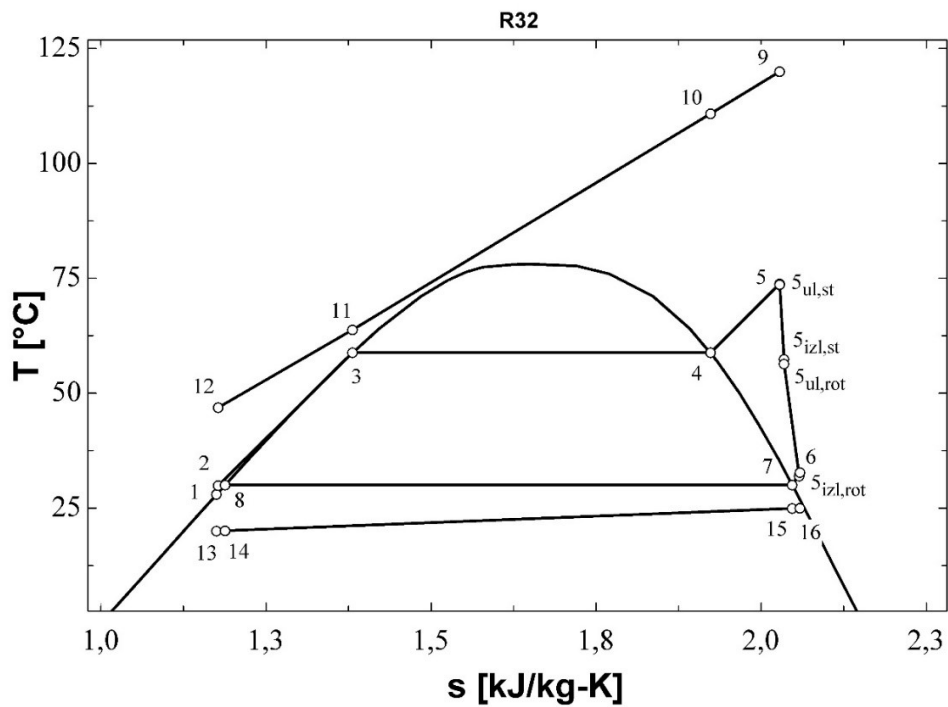
Slika 70:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 90

Tablica 91: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2642
$r_2$ [m]	0.2075
$r_3$ [m]	0.1847
$r_4$ [m]	0.1678
$r_{s5}$ [m]	0.1229
$r_{h5}$ [m]	0.03524
$r_{vol}$ [m]	0.05652
$b_2$ [m]	0.0317
$b_3$ [m]	0.0317
$b_4$ [m]	0.0317
$Z$ [m]	0.1315
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.5492
$M_3$ [-]	0.6762
$M_4$ [-]	0.7495
$M_5$ [-]	0.2382
$\eta_t$ [%]	81.61

Tablica 92: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	N [o/min]
1	R32	19.28	28	251.3	1.175	103.4	17.01	2.399	950.2	14.99	3000
2	R32	38.32	29.9	254.2	1.178	103.4					
3	R32	38.32	58.82	318.8	1.381	103.4					
4	R32	38.32	58.82	498.9	1.923	103.4					
5	R32	38.32	73.81	534.3	2.028	103.4					
5 <sub>ul,st</sub>	R32	38.22	73.63	534.2	2.028	103.4					
5 <sub>izl,st</sub>	R32	29.96	57.35	527.6	2.035	103.4					
5 <sub>ul,rot</sub>	R32	29.56	56.39	527.1	2.035	103.4					
5 <sub>izl,rot</sub>	R32	19.28	31.94	519	2.058	103.4					
6	R32	19.47	32.75	519.6	2.059	103.4					
7	R32	19.28	30	515.7	2.047	103.4					
8	R32	19.28	30	255.3	1.188	103.4					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	110.8	466.2	1.426	94.38					
11	Voda	20	63.82	268.8	0.8777	94.38					
12	Voda	20	46.88	198	0.6623	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5512					
14	Zrak	1	20.07	293.5	6.847	5512					
15	Zrak	1	24.93	298.4	6.864	5512					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5512					



Slika 71: T-s dijagram za rezultate iz tablice 92

Tablica 93: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R32 (podkritično,

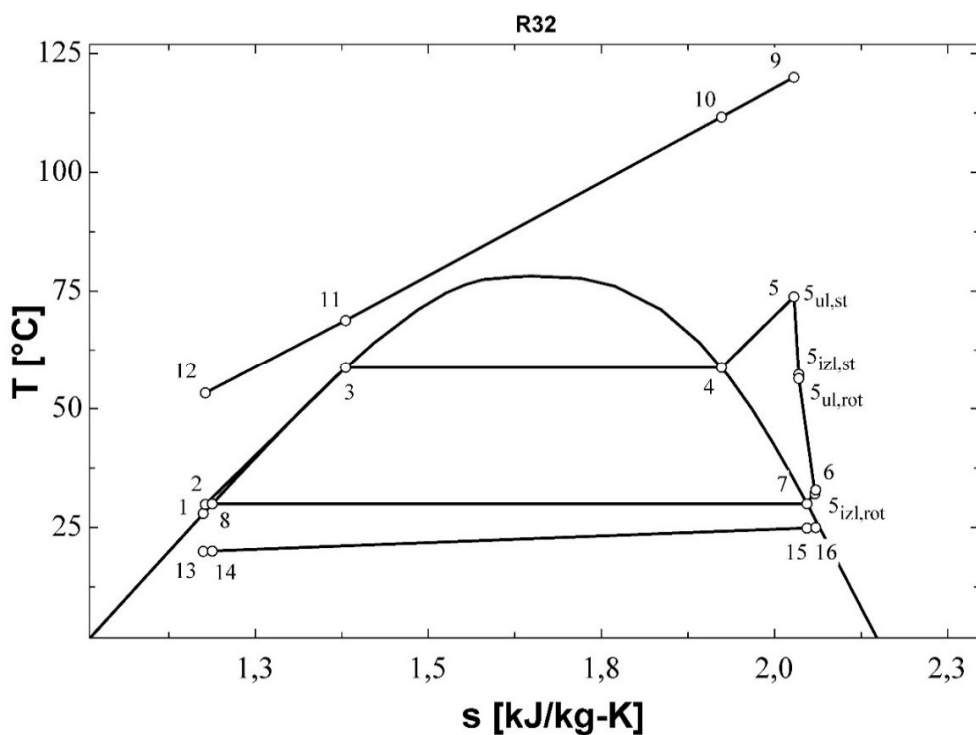
$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N=3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5184
$r_2$ [m]	0.4731
$r_3$ [m]	0.4403
$r_4$ [m]	0.4349
$r_{s5}$ [m]	0.1748
$r_{h5}$ [m]	0.09132
$r_{vol}$ [m]	0.04521
$b_2$ [m]	0.01413
$b_3$ [m]	0.01413
$b_4$ [m]	0.01413
$Z$ [m]	0.1252
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	21
$M_2$ [-]	0.7113
$M_3$ [-]	0.912
$M_4$ [-]	0.9257
$M_5$ [-]	0.1809
$\eta_t$ [%]	73.96

Tablica 94: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	m[kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	N [o/min]
1	R32	19.28	28	251.3	1.175	94.29	14.94	2.117	839.3	15	3000
2	R32	38.29	29.9	254.2	1.178	94.29					
3	R32	38.29	58.78	318.7	1.381	94.29					
4	R32	38.29	58.78	498.9	1.923	94.29					
5	R32	38.29	73.78	534.4	2.028	94.29					
$s_{ul,st}$	R32	38.28	73.77	534.4	2.028	94.29					
$s_{izl,st}$	R32	29.92	57.33	527.7	2.035	94.29					
$s_{ul,rot}$	R32	29.54	56.41	527.2	2.035	94.29					
$s_{izl,rot}$	R32	19.28	32.13	519.3	2.059	94.29					
6	R32	19.47	32.94	519.9	2.06	94.29					
7	R32	19.28	30	515.7	2.047	94.29					
8	R32	19.28	30	255.3	1.188	94.29					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	111.6	469.7	1.435	94.38					
11	Voda	20	68.78	289.5	0.9389	94.38					
12	Voda	20	53.37	225.1	0.7462	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5032					
14	Zrak	1	20.07	293.5	6.847	5032					
15	Zrak	1	24.92	298.4	6.864	5032					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5032					





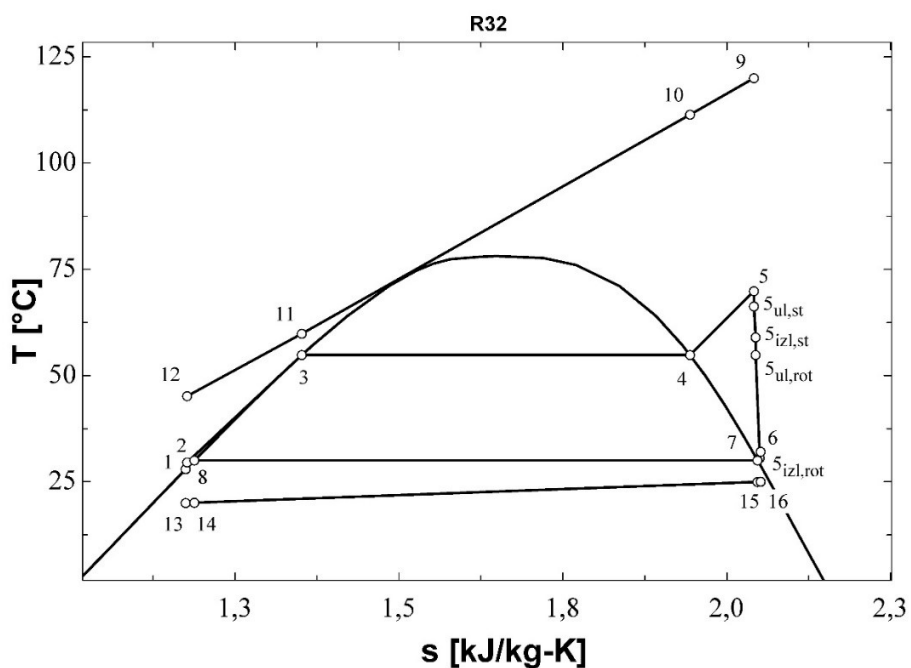
Slika 72:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 94

Tablica 95: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.511
$r_2$ [m]	0.468
$r_3$ [m]	0.4373
$r_4$ [m]	0.4322
$r_{s5}$ [m]	0.17
$r_{h5}$ [m]	0.09077
$r_{vol}$ [m]	0.04287
$b_2$ [m]	0.01302
$b_3$ [m]	0.01302
$b_4$ [m]	0.01302
$Z$ [m]	0.1188
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.7191
$M_3$ [-]	0.9192
$M_4$ [-]	0.9323
$M_5$ [-]	0.1813
$\eta_t$ [%]	72.77

Tablica 96: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	ṁ[kg/s]	$\eta_{\text{plant,ex}}$ [%]	$\eta_{\text{plant,en}}$ [%]	$W_{\text{net}}$ [kW]	$\Delta T_{\text{SH}}$ [°C]	N [o/min]
1	R32	19.28	28	251.3	1.175	105.2	24.03	3.385	1341	15	8395
2	R32	35.07	29.58	253.7	1.177	105.2					
3	R32	35.07	54.84	308.9	1.352	105.2					
4	R32	35.07	54.84	503.1	1.944	105.2					
5	R32	35.07	69.84	535.7	2.041	105.2					
5 <sub>ul,st</sub>	R32	33.38	66.27	533.8	2.041	105.2					
5 <sub>izl,st</sub>	R32	29.91	58.97	530.7	2.044	105.2					
5 <sub>ul,rot</sub>	R32	28.19	54.82	528.5	2.044	105.2					
5 <sub>izl,rot</sub>	R32	19.28	30.59	516.7	2.05	105.2					
6	R32	19.63	32.07	517.9	2.052	105.2					
7	R32	19.28	30	515.7	2.047	105.2					
8	R32	19.28	30	255.3	1.188	105.2					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	111.4	468.8	1.433	94.38					
11	Voda	20	59.84	252.1	0.8281	94.38					
12	Voda	20	45.14	190.7	0.6395	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5570					
14	Zrak	1	20.07	293.5	6.847	5570					
15	Zrak	1	24.96	298.4	6.864	5570					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5570					



Slika 73: T-s dijagram za rezultate iz tablice 96

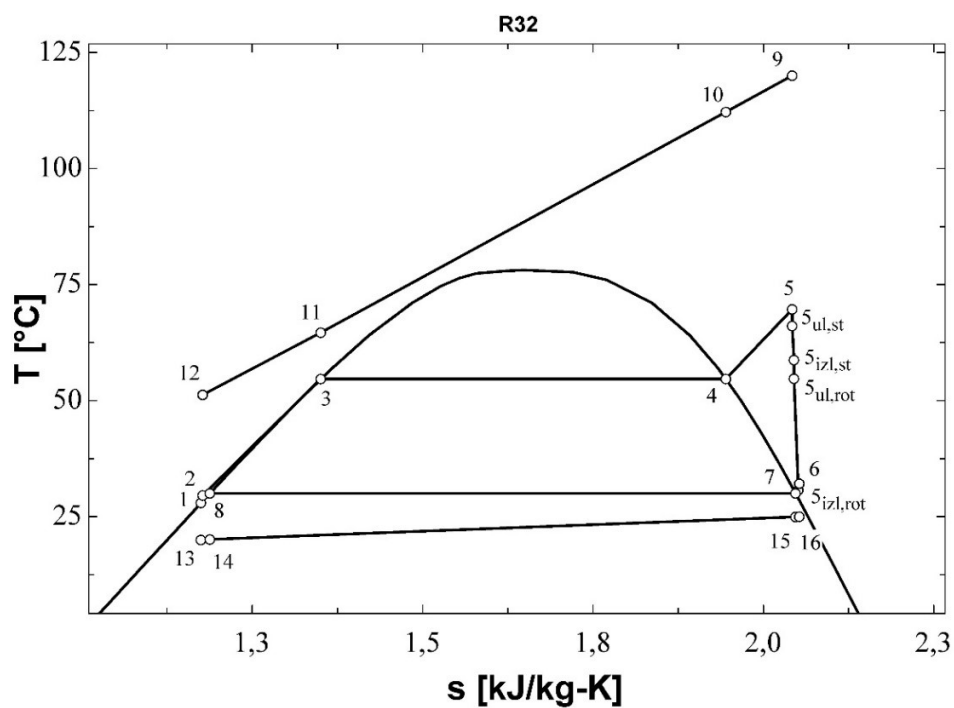
Tablica 97: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R32 (podkritično,

$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N\neq 3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2742
$r_2$ [m]	0.2141
$r_3$ [m]	0.1902
$r_4$ [m]	0.1719
$r_{s5}$ [m]	0.1271
$r_{h5}$ [m]	0.0361
$r_{vol}$ [m]	0.06002
$b_2$ [m]	0.03376
$b_3$ [m]	0.03376
$b_4$ [m]	0.03376
$Z$ [m]	0.1365
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.5382
$M_3$ [-]	0.6631
$M_4$ [-]	0.7391
$M_5$ [-]	0.242
$\eta_t$ [%]	81.51

Tablica 98: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	N [o/min]
1	R32	19.28	28	251.3	1.175	96.59	21.8	3.084	1222	15	8507
2	R32	34.93	29.57	253.7	1.177	96.59					
3	R32	34.93	54.66	308.5	1.351	96.59					
4	R32	34.93	54.66	503.3	1.945	96.59					
5	R32	34.93	69.66	535.7	2.042	96.59					
$S_{ul,st}$	R32	33.25	66.11	533.9	2.042	96.59					
$S_{izl,st}$	R32	29.76	58.74	530.7	2.045	96.59					
$S_{ul,rot}$	R32	28.1	54.73	528.6	2.045	96.59					
$S_{izl,rot}$	R32	19.28	30.72	516.9	2.051	96.59					
6	R32	19.62	32.13	518	2.053	96.59					
7	R32	19.28	30	515.7	2.047	96.59					
8	R32	19.28	30	255.3	1.188	96.59					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	112.2	471.8	1.441	94.38					
11	Voda	20	64.66	272.3	0.8882	94.38					
12	Voda	20	51.27	216.4	0.7192	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5119					
14	Zrak	1	20.07	293.5	6.847	5119					
15	Zrak	1	24.96	298.4	6.864	5119					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5119					



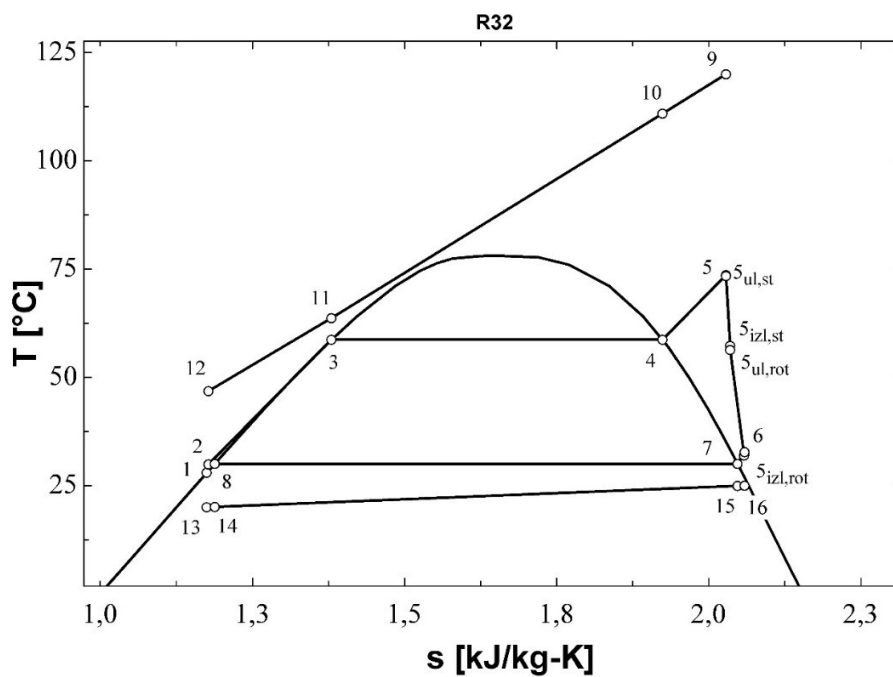
Slika 74:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 98

Tablica 99: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.266
$r_2$ [m]	0.2089
$r_3$ [m]	0.1859
$r_4$ [m]	0.1688
$r_{s5}$ [m]	0.1235
$r_{h5}$ [m]	0.03546
$r_{vol}$ [m]	0.05703
$b_2$ [m]	0.03203
$b_3$ [m]	0.03203
$b_4$ [m]	0.03203
$Z$ [m]	0.1321
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.5462
$M_3$ [-]	0.671
$M_4$ [-]	0.7441
$M_5$ [-]	0.2367
$\eta_t$ [%]	81.26

Tablica 100: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	N [o/min]
1	R32	19.28	28	251.3	1.175	103.5	16.95	2.39	946.7	14.93	3000
2	R32	38.21	29.89	254.2	1.178	103.5					
3	R32	38.21	58.69	318.5	1.38	103.5					
4	R32	38.21	58.69	499	1.924	103.5					
5	R32	38.21	73.62	534.3	2.028	103.5					
5 <sub>ul,st</sub>	R32	38.11	73.42	534.2	2.028	103.5					
5 <sub>izl,st</sub>	R32	29.93	57.28	527.6	2.035	103.5					
5 <sub>ul,rot</sub>	R32	29.52	56.33	527.1	2.035	103.5					
5 <sub>izl,rot</sub>	R32	19.28	31.93	519	2.058	103.5					
6	R32	19.47	32.74	519.6	2.059	103.5					
7	R32	19.28	30	515.7	2.047	103.5					
8	R32	19.28	30	255.3	1.188	103.5					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	110.9	466.4	1.427	94.38					
11	Voda	20	63.69	268.2	0.8761	94.38					
12	Voda	20	46.82	197.7	0.6614	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	5518					
14	Zrak	1	20.07	293.5	6.847	5518					
15	Zrak	1	24.93	298.4	6.864	5518					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	5518					



Slika 75: T-s dijagram za rezultate iz tablice 100

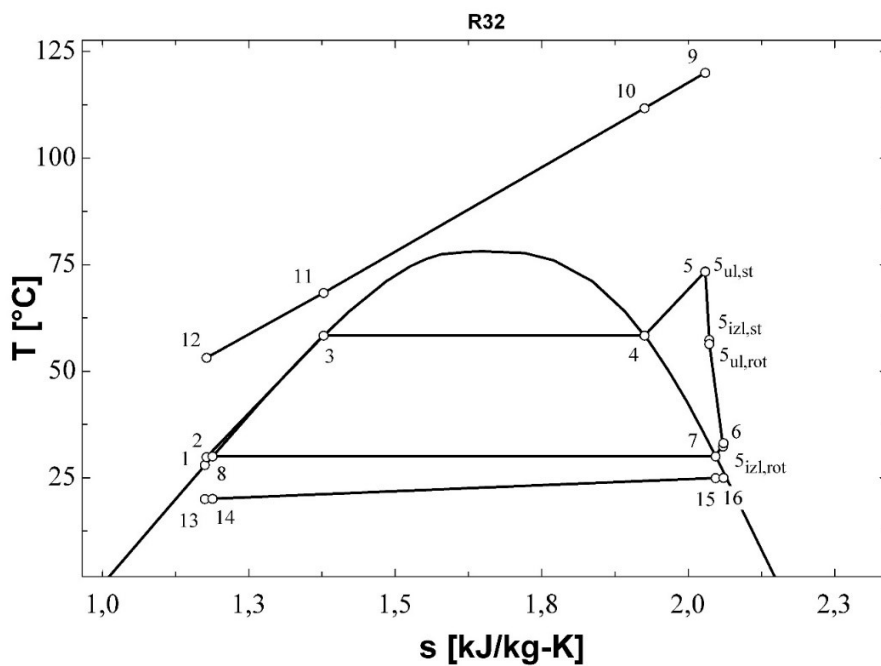
Tablica 101: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R32 (podkritično,

$$\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}, N=3000)$$

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5181
$r_2$ [m]	0.4727
$r_3$ [m]	0.4399
$r_4$ [m]	0.4344
$r_{s5}$ [m]	0.1749
$r_{h5}$ [m]	0.09123
$r_{vol}$ [m]	0.0453
$b_2$ [m]	0.0142
$b_3$ [m]	0.0142
$b_4$ [m]	0.0142
$Z$ [m]	0.1255
$Z_r$ [-]	16
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.7112
$M_3$ [-]	0.9103
$M_4$ [-]	0.9241
$M_5$ [-]	0.1807
$\eta_t$ [%]	73.99

Tablica 102: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	N [o/min]
1	R32	19.28	28	251.3	1.175	94.5	14.78	2.094	830.3	15	3000
2	R32	37.95	29.87	254.2	1.178	94.5					
3	R32	37.95	58.38	317.7	1.378	94.5					
4	R32	37.95	58.38	499.4	1.926	94.5					
5	R32	37.95	73.38	534.5	2.029	94.5					
$S_{ul,st}$	R32	37.93	73.33	534.5	2.029	94.5					
$S_{izl,st}$	R32	29.82	57.32	528	2.036	94.5					
$S_{ul,rot}$	R32	29.43	56.4	527.5	2.036	94.5					
$S_{izl,rot}$	R32	19.28	32.32	519.6	2.06	94.5					
6	R32	19.47	33.13	520.2	33.13	94.5					
7	R32	19.28	30	515.7	30	94.5					
8	R32	19.28	30	255.3	30	94.5					
9	Voda	20	120	505	120	94.38					
10	Voda	20	111.7	469.9	111.7	94.38					
11	Voda	20	68.38	287.8	68.38	94.38					
12	Voda	20	53.17	224.3	53.17	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	20	5049					
14	Zrak	1	20.07	293.5	20.07	5049					
15	Zrak	1	24.92	298.4	24.92	5049					
16	Zrak	1	25	298.4	25	5049					



Slika 76:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 102

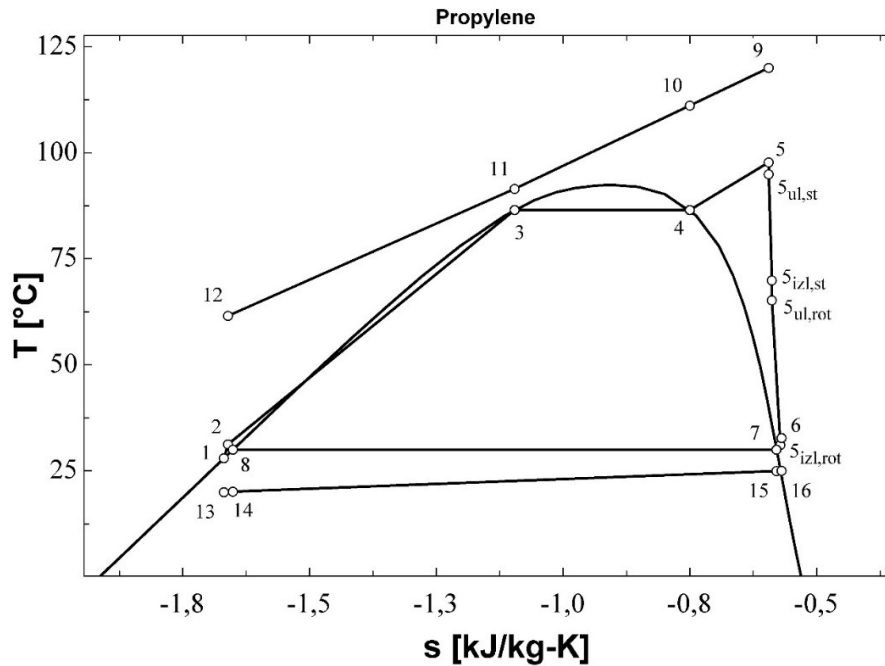
Tablica 103: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; R32 (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5104
$r_2$ [m]	0.4671
$r_3$ [m]	0.4364
$r_4$ [m]	0.4313
$r_{s5}$ [m]	0.1704
$r_{h5}$ [m]	0.09056
$r_{vol}$ [m]	0.04314
$b_2$ [m]	0.0132
$b_3$ [m]	0.0132
$b_4$ [m]	0.0132
$Z$ [m]	0.1197
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.719
$M_3$ [-]	0.914
$M_4$ [-]	0.9271
$M_5$ [-]	0.1805
$\eta_t$ [%]	72.86

## 6. Tablice i dijagrami rezultata optimiranja za propilen

Tablica 104: Rezultati optimiranja  $\eta_{plant,ex}$  za Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	Propilen	13.07	28	-364.1	-1.669	62.65	35.84	5.112	2029	11.21	13218
2	Propilen	41.99	31.27	-355.9	-1.661	62.65					
3	Propilen	41.99	86.53	-166.6	-1.096	62.65					
4	Propilen	41.99	86.53	-42.22	-0.7499	62.65					
5	Propilen	41.99	97.74	14.42	-0.5945	62.65					
5 <sub>ul,st</sub>	Propilen	40.31	94.95	12.67	-0.5945	62.65					
5 <sub>izl,st</sub>	Propilen	27.22	69.91	-2.6	-0.5884	62.65					
5 <sub>ul,rot</sub>	Propilen	25.21	65.21	-6.094	-0.5884	62.65					
5 <sub>izl,rot</sub>	Propilen	13.07	31.09	-31.57	-0.5719	62.65					
6	Propilen	13.4	32.77	-29.53	-0.569	62.65					
7	Propilen	13.07	30	-33.76	-0.5791	62.65					
8	Propilen	13.07	30	-358.7	-1.651	62.65					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	111.1	467.4	1.429	94.38					
11	Voda	20	91.53	384.9	1.209	94.38					
12	Voda	20	61.55	259.3	0.8495	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4165					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4165					
15	Zrak	1	24.94	298.4	6.864	4165					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4165					



Slika 77:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 104

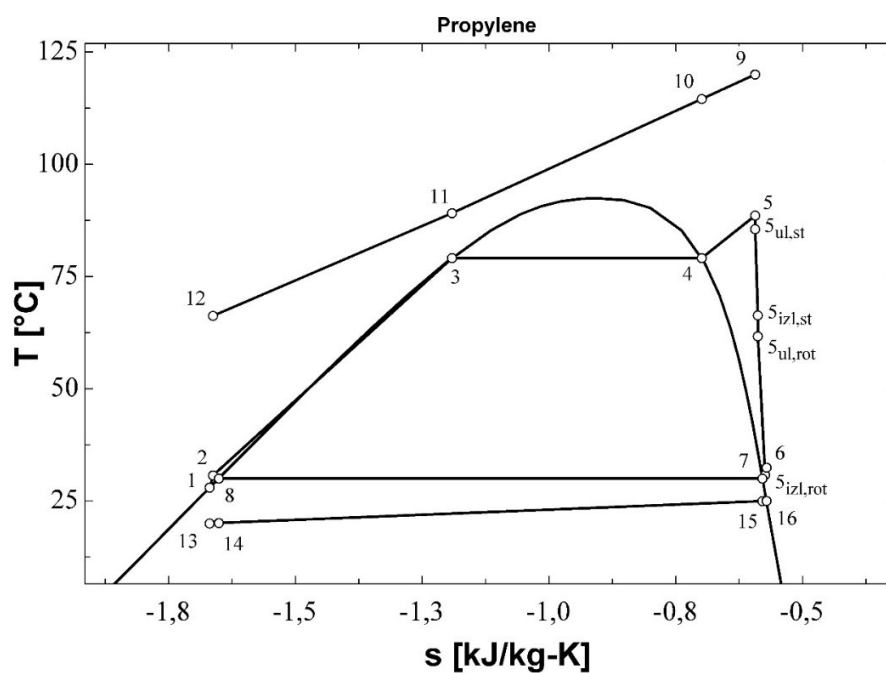


Tablica 105: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2321
$r_2$ [m]	0.1914
$r_3$ [m]	0.1726
$r_4$ [m]	0.1621
$r_{s5}$ [m]	0.1218
$r_{h5}$ [m]	0.03405
$r_{vol}$ [m]	0.04063
$b_2$ [m]	0.02048
$b_3$ [m]	0.02048
$b_4$ [m]	0.02048
$Z$ [m]	0.1317
$Z_r$ [-]	14
$Z_s$ [-]	18
$M_2$ [-]	0.6622
$M_3$ [-]	1.064
$M_4$ [-]	1.131
$M_5$ [-]	0.2942
$\eta_t$ [%]	80.89

Tablica 106: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	Propilen	13.07	28	-364.1	-1.669	58.33	29.73	4.256	1690	9.483	13411
2	Propilen	36.66	30.68	-357.4	-1.662	58.33					
3	Propilen	36.66	79.1	-202.1	-1.191	58.33					
4	Propilen	36.66	79.1	-28.55	-0.6985	58.33					
5	Propilen	36.66	88.58	8.856	-0.5936	58.33					
$S_{ul,st}$	Propilen	35.03	85.53	6.858	-0.5936	58.33					
$S_{izl,st}$	Propilen	25.66	66.34	-5.151	-0.588	58.33					
$S_{ul,rot}$	Propilen	23.77	61.7	-8.667	-0.588	58.33					
$S_{izl,rot}$	Propilen	13.07	30.79	-32.18	-0.5739	58.33					
6	Propilen	13.39	32.44	-30.18	32.44	58.33					
7	Propilen	13.07	30	-33.76	30	58.33					
8	Propilen	13.07	30	-358.7	30	58.33					
9	Voda	20	120	505	120	94.38					
10	Voda	20	114.5	481.9	114.5	94.38					
11	Voda	20	89.1	374.6	89.1	94.38					
12	Voda	20	66.21	278.8	66.21	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	20	3871					
14	Zrak	1	20.08	293.5	20.08	3871					
15	Zrak	1	24.95	298.4	24.95	3871					
16	Zrak	1	25	298.4	25	3871					



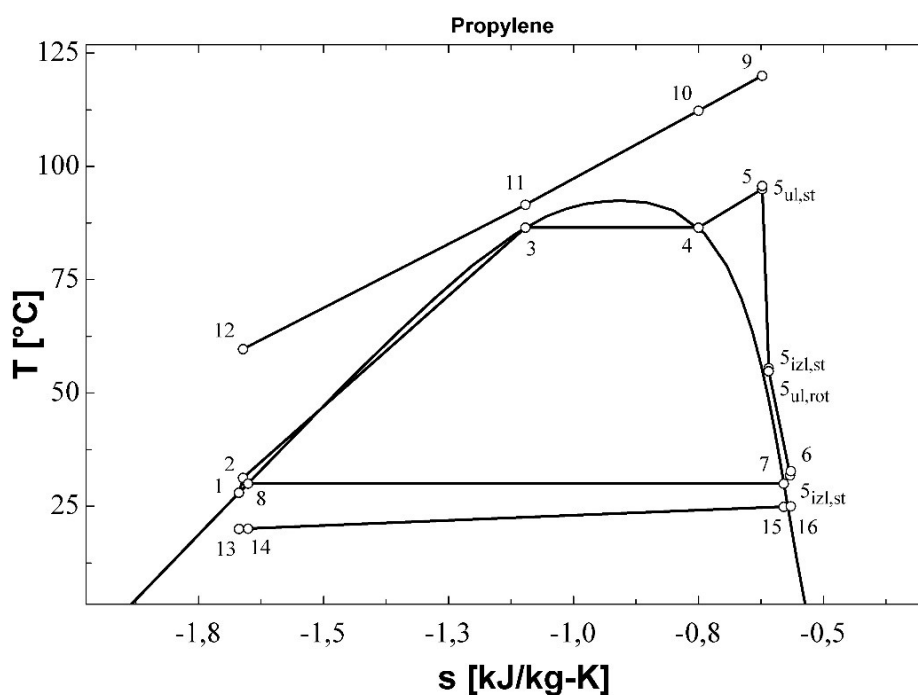
Slika 78: T-s dijagram za rezultate iz tablice 106

Tablica 107: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2275
$r_2$ [m]	0.1847
$r_3$ [m]	0.1649
$r_4$ [m]	0.1532
$r_{s5}$ [m]	0.1166
$r_{h5}$ [m]	0.03218
$r_{vol}$ [m]	0.04272
$b_2$ [m]	0.02201
$b_3$ [m]	0.02201
$b_4$ [m]	0.02201
$Z$ [m]	0.1267
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6549
$M_3$ [-]	0.9821
$M_4$ [-]	1.055
$M_5$ [-]	0.2919
$\eta_t$ [%]	81.4

Tablica 108: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	p[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [°C]	N [o/min]
1	Propilen	13.07	28	-364.1	-1.669	66.45	25.2	3.588	1424	8.474	3000
2	Propilen	41.99	31.27	-355.9	-1.661	66.45					
3	Propilen	41.99	86.53	-166.6	-1.096	66.45					
4	Propilen	41.99	86.53	-42.22	-0.7499	66.45					
5	Propilen	41.99	95.01	4.07	-0.6225	66.45					
5 <sub>ul,st</sub>	Propilen	42.4	95.71	4.476	-0.6225	66.45					
5 <sub>izl,st</sub>	Propilen	22.46	55.51	-18.43	-0.6097	66.45					
5 <sub>ul,rot</sub>	Propilen	22.19	54.81	-18.95	-0.6097	66.45					
5 <sub>izl,rot</sub>	Propilen	13.07	31.86	-30.03	-0.5668	66.45					
6	Propilen	13.25	32.76	-28.93	-0.5653	66.45					
7	Propilen	13.07	30	-33.76	-0.5791	66.45					
8	Propilen	13.07	30	-358.7	-1.651	66.45					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	112.3	472.5	1.442	94.38					
11	Voda	20	91.53	384.9	1.209	94.38					
12	Voda	20	59.72	251.7	0.8266	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4426					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4426					
15	Zrak	1	24.93	298.4	6.864	4426					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4426					



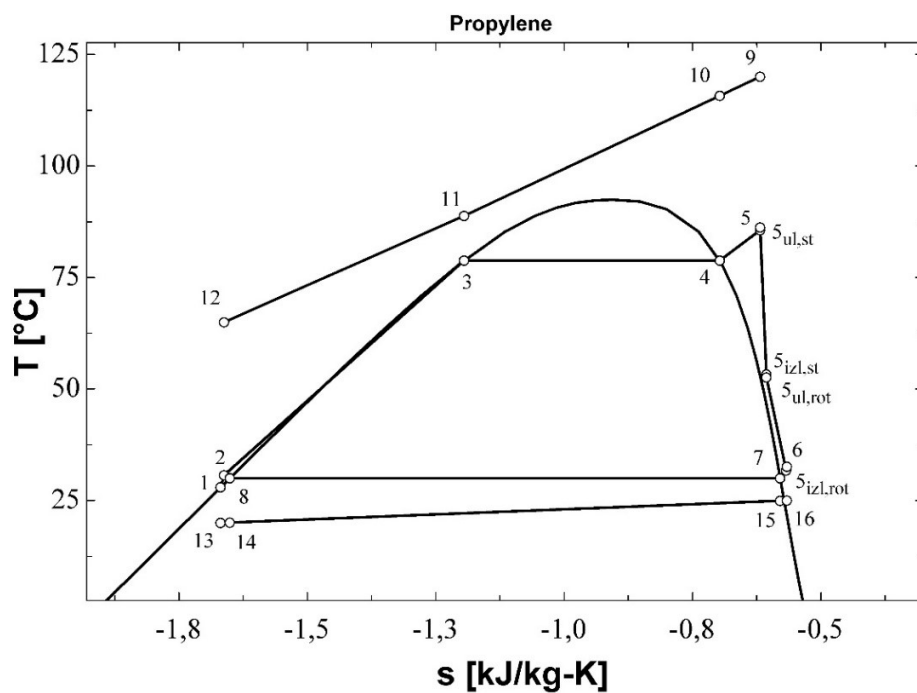
Slika 79:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 108

Tablica 109: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.6145
$r_2$ [m]	0.5759
$r_3$ [m]	0.5385
$r_4$ [m]	0.5349
$r_{s5}$ [m]	0.1863
$r_{h5}$ [m]	0.1123
$r_{vol}$ [m]	0.03864
$b_2$ [m]	0.009347
$b_3$ [m]	0.009347
$b_4$ [m]	0.009347
$Z$ [m]	0.1109
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.6645
$M_3$ [-]	1.213
$M_4$ [-]	1.222
$M_5$ [-]	0.218
$\eta_t$ [%]	70

Tablica 110: Rezultati optimiziranja  $\eta_{plant,ex}$  za Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	Propilen	13.07	28	-364.1	-1.669	61.71	20.46	2.926	1162	6.825	3000
2	Propilen	36.45	30.66	-357.5	-1.662	61.71					
3	Propilen	36.45	78.78	-203.4	-1.195	61.71					
4	Propilen	36.45	78.78	-28.2	-0.6969	61.71					
5	Propilen	36.45	85.61	-0.2109	-0.6181	61.71					
$S_{ul,st}$	Propilen	36.76	86.19	0.1467	-0.6181	61.71					
$S_{izl,st}$	Propilen	21.47	53.3	-19.32	-0.6062	61.71					
$S_{ul,rot}$	Propilen	21.23	52.63	-19.83	-0.6062	61.71					
$S_{izl,rot}$	Propilen	13.07	31.77	-30.21	-0.5674	61.71					
6	Propilen	13.23	32.59	-29.21	-0.566	61.71					
7	Propilen	13.07	30	-33.76	-0.5791	61.71					
8	Propilen	13.07	30	-358.7	-1.651	61.71					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	115.7	486.9	1.48	94.38					
11	Voda	20	88.78	373.3	1.177	94.38					
12	Voda	20	64.96	273.6	0.892	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4071					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4071					
15	Zrak	1	24.93	298.4	6.864	4071					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4071					



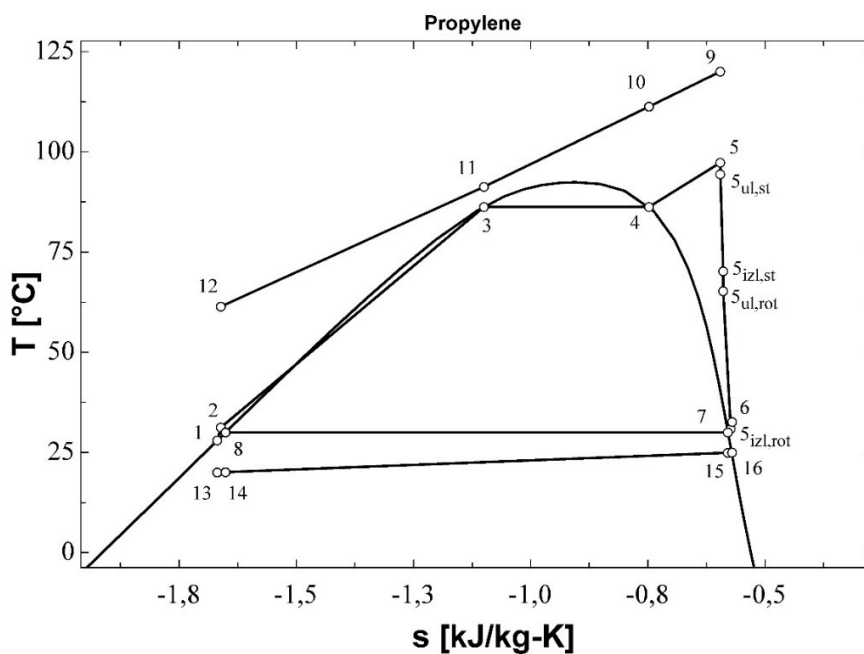
Slika 80:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 110

Tablica 111: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $\eta_{plant,ex}$ ; Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5939
$r_2$ [m]	0.5545
$r_3$ [m]	0.5185
$r_4$ [m]	0.5147
$r_{s5}$ [m]	0.1814
$r_{h5}$ [m]	0.1081
$r_{vol}$ [m]	0.03955
$b_2$ [m]	0.009846
$b_3$ [m]	0.009846
$b_4$ [m]	0.009846
$Z$ [m]	0.1099
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.6844
$M_3$ [-]	1.15
$M_4$ [-]	1.159
$M_5$ [-]	0.2087
$\eta_t$ [%]	70.48

Tablica 112: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	Propilen	13.07	28	-364.1	-1.669	62.9	35.85	5.112	2029	11.04	13704
2	Propilen	41.78	31.25	-355.9	-1.661	62.9					
3	Propilen	41.78	86.26	-168.1	-1.1	62.9					
4	Propilen	41.78	86.26	-41.45	-0.7473	62.9					
5	Propilen	41.78	97.31	13.85	-0.5955	62.9					
5 <sub>ul,st</sub>	Propilen	40.04	94.38	12.02	-0.5955	62.9					
5 <sub>izl,st</sub>	Propilen	27.41	70.22	-2.633	-0.5894	62.9					
5 <sub>ul,rot</sub>	Propilen	25.29	65.27	-6.29	-0.5894	62.9					
5 <sub>izl,rot</sub>	Propilen	13.07	30.86	-32.03	-0.5734	62.9					
6	Propilen	13.41	32.61	-29.91	-0.5704	62.9					
7	Propilen	13.07	30	-33.76	-0.5791	62.9					
8	Propilen	13.07	30	-358.7	-1.651	62.9					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	111.3	468.2	1.431	94.38					
11	Voda	20	91.26	383.7	1.206	94.38					
12	Voda	20	61.39	258.6	0.8475	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4178					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4178					
15	Zrak	1	24.94	298.4	6.864	4178					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4178					



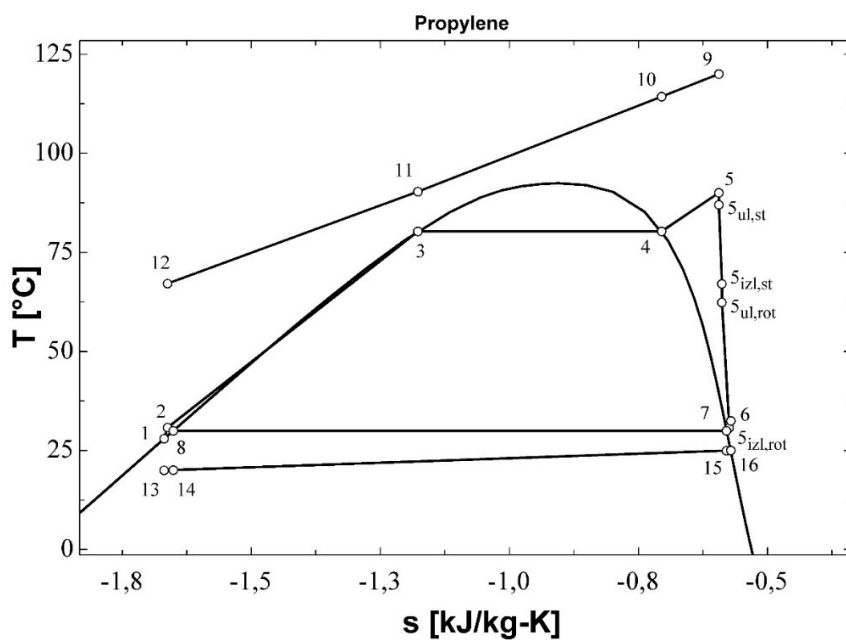
Slika 81:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 112

Tablica 113: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; Propilen  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2279
$r_2$ [m]	0.1867
$r_3$ [m]	0.168
$r_4$ [m]	0.1571
$r_{s5}$ [m]	0.1204
$r_{h5}$ [m]	0.03299
$r_{vol}$ [m]	0.0411
$b_2$ [m]	0.02086
$b_3$ [m]	0.02086
$b_4$ [m]	0.02086
$Z$ [m]	0.1311
$Z_r$ [-]	14
$Z_s$ [-]	18
$M_2$ [-]	0.6579
$M_3$ [-]	1.049
$M_4$ [-]	1.12
$M_5$ [-]	0.3006
$\eta_t$ [%]	80.75

Tablica 114: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N \neq 3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	Propilen	13.07	28	-364.1	-1.669	57.21	29.72	4.259	1692	9.75	13758
2	Propilen	37.49	30.78	-357.2	-1.662	57.21					
3	Propilen	37.49	80.31	-196.9	-1.177	57.21					
4	Propilen	37.49	80.31	-30.03	-0.705	57.21					
5	Propilen	37.49	90.06	9.731	-0.5939	57.21					
$\dot{s}_{ul,st}$	Propilen	35.84	87.03	7.761	-0.5939	57.21					
$\dot{s}_{izl,st}$	Propilen	25.98	67.06	-4.668	-0.5883	57.21					
$\dot{s}_{ul,rot}$	Propilen	24.04	62.35	-8.225	-0.5883	57.21					
$\dot{s}_{izl,rot}$	Propilen	13.07	30.8	-32.16	-0.5738	57.21					
6	Propilen	13.4	32.48	-33.76	-0.571	57.21					
7	Propilen	13.07	30	-358.7	-0.5791	57.21					
8	Propilen	13.07	30	505	-1.651	57.21					
9	Voda	20	120	480.9	1.526	94.38					
10	Voda	20	114.3	379.7	1.464	94.38					
11	Voda	20	90.31	282.7	1.195	94.38					
12	Voda	20	67.16	293.4	0.919	94.38					
13	Zrak	1	20	293.5	6.847	3797					
14	Zrak	1	20.08	298.4	6.847	3797					
15	Zrak	1	24.95	298.4	6.864	3797					
16	Zrak	1	25		6.864	3797					



Slika 82:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 114

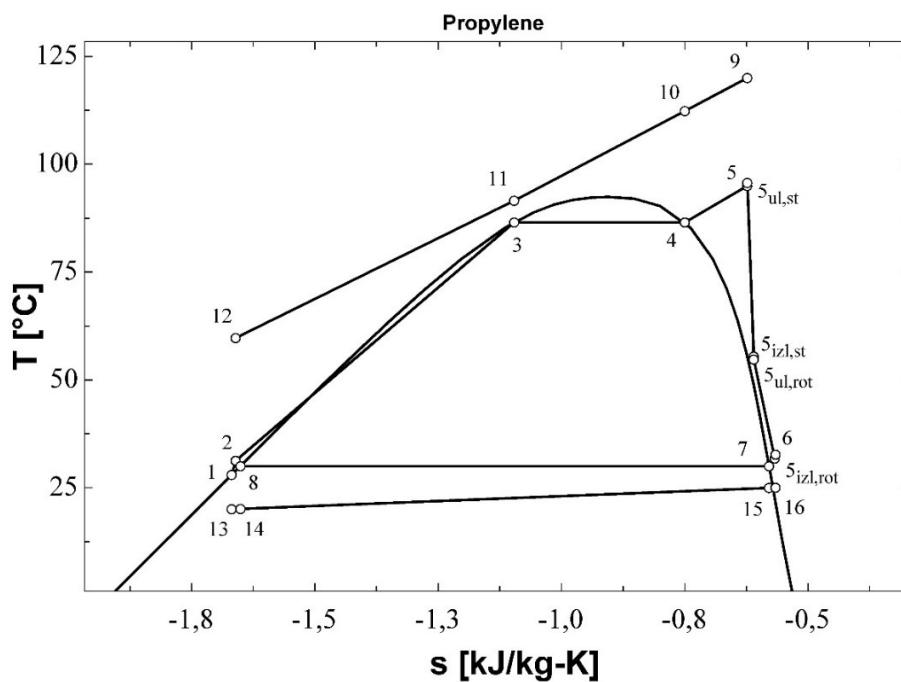
Tablica 115: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N\neq 3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.2235
$r_2$ [m]	0.1816
$r_3$ [m]	0.1621
$r_4$ [m]	0.1507
$r_{s5}$ [m]	0.115
$r_{h5}$ [m]	0.03165
$r_{vol}$ [m]	0.04185
$b_2$ [m]	0.02147
$b_3$ [m]	0.02147
$b_4$ [m]	0.02147
$Z$ [m]	0.1251
$Z_r$ [-]	13
$Z_s$ [-]	17
$M_2$ [-]	0.6536
$M_3$ [-]	0.9918
$M_4$ [-]	1.065
$M_5$ [-]	0.2943
$\eta_t$ [%]	81.38



Tablica 116: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	Propilen	13.07	28	-364.1	-1.669	66.53	25.21	3.59	1424	8.423	3000
2	Propilen	41.99	31.27	-355.9	-1.661	66.53					
3	Propilen	41.99	86.53	-166.6	-1.096	66.53					
4	Propilen	41.99	86.53	-42.22	-0.7499	66.53					
5	Propilen	41.99	94.96	3.864	-0.6231	66.53					
5 <sub>ul,st</sub>	Propilen	42.4	95.65	4.27	-0.6231	66.53					
5 <sub>izl,st</sub>	Propilen	22.46	55.43	-18.61	-0.6102	66.53					
5 <sub>ul,rot</sub>	Propilen	22.19	54.74	-19.14	-0.6102	66.53					
5 <sub>izl,rot</sub>	Propilen	13.07	31.76	-30.22	-0.5675	66.53					
6	Propilen	13.25	32.67	-29.12	-0.5659	66.53					
7	Propilen	13.07	30	-33.76	-0.5791	66.53					
8	Propilen	13.07	30	-358.7	-1.651	66.53					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	112.3	472.6	1.443	94.38					
11	Voda	20	91.53	384.9	1.209	94.38					
12	Voda	20	59.68	251.5	0.8262	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	4429					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	4429					
15	Zrak	1	24.93	298.4	6.864	4429					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	4429					



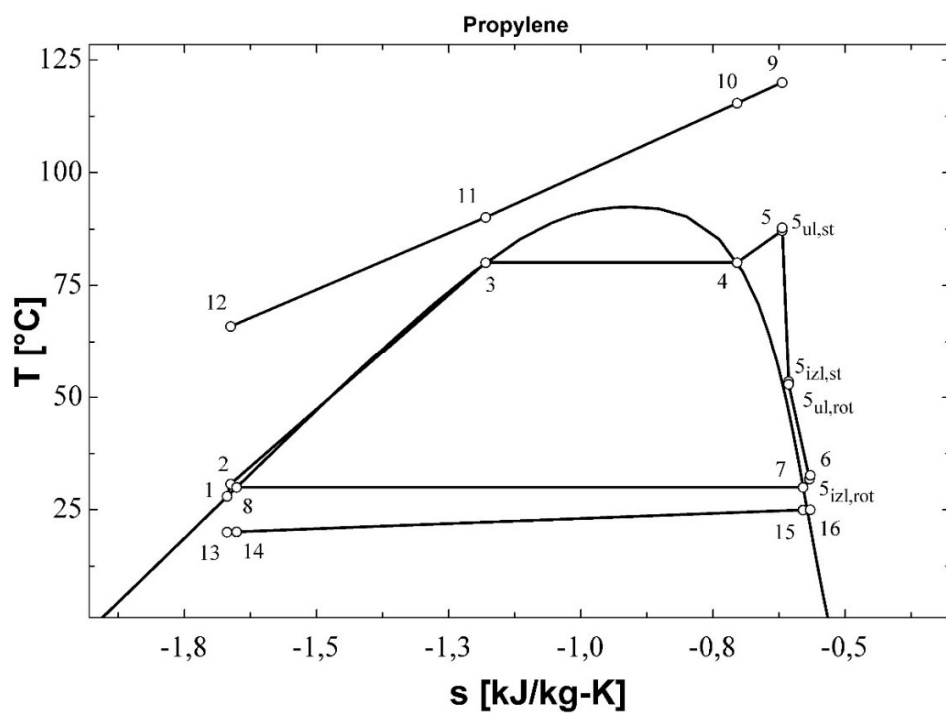
Slika 83:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 116

Tablica 117: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; Propilen  
(podkritično,  $\Delta T_{pp}=5^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.6144
$r_2$ [m]	0.5758
$r_3$ [m]	0.5384
$r_4$ [m]	0.5348
$r_{s5}$ [m]	0.1863
$r_{h5}$ [m]	0.1123
$r_{vol}$ [m]	0.03865
$b_2$ [m]	0.009357
$b_3$ [m]	0.009357
$b_4$ [m]	0.009357
$Z$ [m]	0.111
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.6644
$M_3$ [-]	1.213
$M_4$ [-]	1.222
$M_5$ [-]	0.218
$\eta_t$ [%]	70.01

Tablica 118: Rezultati optimiziranja  $W_{net}$  za Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^{\circ}\text{C}$ ,  $N=3000$ )

karakteristična točka	radni fluid	$p$ [bar]	$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\eta_{plant,ex}$ [%]	$\eta_{plant,en}$ [%]	$W_{net}$ [kW]	$\Delta T_{SH}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$N$ [o/min]
1	Propilen	13.07	28	-364.1	-1.669	60.02	20.45	2.927	1162	7.106	3000
2	Propilen	37.35	30.76	-357.2	-1.662	60.02					
3	Propilen	37.35	80.1	-197.8	-1.18	60.02					
4	Propilen	37.35	80.1	-29.76	-0.7039	60.02					
5	Propilen	37.35	87.21	0.5542	-0.6188	60.02					
$\dot{s}_{ul,st}$	Propilen	37.69	87.84	0.9366	-0.6188	60.02					
$\dot{s}_{izl,st}$	Propilen	21.59	53.55	-19.24	-0.6067	60.02					
$\dot{s}_{ul,rot}$	Propilen	21.35	52.89	-19.74	-0.6067	60.02					
$\dot{s}_{izl,rot}$	Propilen	13.07	31.82	-30.09	-0.567	60.02					
6	Propilen	13.23	32.67	-29.07	-0.5656	60.02					
7	Propilen	13.07	30	-33.76	-0.5791	60.02					
8	Propilen	13.07	30	-358.7	-1.651	60.02					
9	Voda	20	120	505	1.526	94.38					
10	Voda	20	115.5	485.8	1.477	94.38					
11	Voda	20	90.1	378.9	1.192	94.38					
12	Voda	20	65.93	277.6	0.9039	94.38					
13	Zrak	1	20	293.4	6.847	3996					
14	Zrak	1	20.08	293.5	6.847	3996					
15	Zrak	1	24.93	298.4	6.864	3996					
16	Zrak	1	25	298.4	6.864	3996					



Slika 84:  $T$ - $s$  dijagram za rezultate iz tablice 118

Tablica 119: Bitne geometrijske i pogonske veličine turbine; Optimiziranje  $W_{net}$ ; Propilen (podkritično,  $\Delta T_{pp}=10^\circ\text{C}$ ,  $N=3000$ )

Veličina	Iznos
$r_1$ [m]	0.5949
$r_2$ [m]	0.5563
$r_3$ [m]	0.5202
$r_4$ [m]	0.5166
$r_{s5}$ [m]	0.1801
$r_{h5}$ [m]	0.1085
$r_{vol}$ [m]	0.03875
$b_2$ [m]	0.009481
$b_3$ [m]	0.009481
$b_4$ [m]	0.009481
$Z$ [m]	0.1074
$Z_r$ [-]	17
$Z_s$ [-]	22
$M_2$ [-]	0.6805
$M_3$ [-]	1.162
$M_4$ [-]	1.171
$M_5$ [-]	0.2104
$\eta_t$ [%]	70.19