

**REPUBLIKA E SHQIPËRISË
UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS
FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE
DEPARTAMENTI I ENERGJITIKËS**

DISERTACION

PËR MARRJEN E GRADËS SHKENCORE

DOKTOR

**TEMA: “NDIKIMI I PARAMETRAVE GJEOMETRIKË TË
KARKASËS SPIRALE NË PERFORMANCËN E
VENTILATORËVE CENTRIFUGALË”**

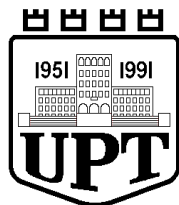
DISERTANTI

M.Sc. Ing. Ardit GJETA

UDHËHEQËSI SHKENCOR

Prof. Asoc. Altin DORRI

Tiranë, 2020



**REPUBLIKA E SHQIPERISË
UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS
FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE
DEPARTAMENTI I ENERGJITIKËS**

DISERTACION

Paraqitur nga

M.Sc. Ing. Ardit GJETA

PËR MARRJEN E GRADËS SHKENCORE

DOKTOR

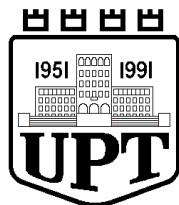
NË FUSHËN E INXHINIERISË MEKANIKE

TEMA: “NDIKIMI I PARAMETRAVE GJEOMETRIKË TË
KARKASËS SPIRALE NË PERFORMANCËN E
VENTILATORËVE CENTRIFUGALË”

UDHËHEQËSI SHKENCOR

Prof. Asoc. Altin DORRI

Tiranë, 2020



**REPUBLIKA E SHQIPËRISË
UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS
FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE
DEPARTAMENTI I ENERGJITIKËS**

DISERTACION

**I PARAQITUR NGA M.Sc. Ing Ardit GJETA
PËR MARRJEN E GRADËS SHKENCORE**

DOKTOR

**TEMA: “NDIKIMI I PARAMETRAVE GJEOMETRIKË TË
KARKASËS SPIRALE NË PERFORMANCËN E
VENTILATORËVE CENTRIFUGALË”**

UDHËHEQËS SHKENCOR: Prof. Asoc. Altin DORRI

Mbrohet më datë 23 / 10/ 2020, përpara jurisë:

- | | | |
|------------|-----------------------------|-----------|
| 1. Kryetar | Prof. Dr. Andonaq LONDO | (Oponent) |
| 2. Anëtar | Prof. Asoc. Majlinda ALCANI | |
| 3. Anëtar | Prof. Dr. Astrit BARDHI | |
| 4. Anëtar | Prof. Asoc. Arben DUSHI | (Oponent) |
| 5. Anëtar | Prof. Asoc. Kristofor LAPA | |

Tiranë, 2020

DEKLARATË MBI ORIGINALITETIN

Unë, i nënshkruari Ardit GJETA deklaroj me përgjegjësi të plotë se i gjithë informacioni në këtë dokument është marrë dhe paraqitur në përputhje të plotë me rregullat akademike dhe sjelljen etike në zbatim të:

- VKM nr. 593, dt. 18.08.2011 “Për disa ndryshime dhe shtesa në Vendimin nr. 864, dt. 05.12.2007 të Këshillit të Ministrave “Për hapjen e programeve të studimeve të doktoraturës në institucionet publike të arsimit të lartë dhe përcaktimin e kushteve që duhet të plotësojë kandidati për marrjen e diplomës për gradën shkencore “Doktor” të ndryshuar,
- Ligji Nr. 35/2016 “Për të drejtat e autorit dhe të drejta të lidhura me të”
- VKM nr. 112, dt. 23.02.2018, “Për përcaktimin e kritereve dhe fitimin e gradës shkencore “Doktor” dhe të standardeve shtetërore për fitimin e titujve akademike “Profesor i Asociuar” dhe “Profesor” dhe në urdhrin e Ministrit të Arsimit dhe Shkencës, nr. 105, dt. 23.03.2012 “Për miratimin e rregullores për Etikën në veprimtarinë kërkimore dhe botuese”.

Unë, gjithashtu deklaroj se, bazuar në këto kërkesa dhe rregulla, të gjitha të dhënat të marra nga burime të ndryshme janë cituar nëpërmjet referencave, si p.sh tabelat, figurat dhe frazat në tekst, të cilat janë riprodhuar prej ndonjë burimi tjetër, duke përfshirë edhe internetin dhe nuk janë origjinale në këtë punim.

Kjo tezë nuk është dorëzuar në asnjë universitet apo institucion tjetër për dhënien e gradës shkencore doktor.

Emër, mbiemër Ardit GJETA

Firma _____

MIRËNJOHJE

Së pari, shpreh mirënjohje për prindërit e mi, për dashurinë dhe mbështetjen e tyre të vazhdueshme.

Shpreh mirënjohje për udhëheqësin tim shkencor Prof. Asoc. Altin Dorri dhe për Prof. Dr. Andonag Londo, për mundësinë e kryerjes të një periudhe mobiliteti për rreth 1 vit, në Institutin e Fluideve dhe Termoteknikës në Universitetin e Siegen-it, Gjermani, në kuadër të programit Erasmus+.

Pjesa eksperimentale e prezantuar në këtë punim doktorature u realizua në Institutin e Fluideve dhe Termoteknikës në Universitetin e Siegen-it, Gjermani. Mirënjohje për të gjithë anëtarët e institutit dhe në veçanti për Prof. Dr. Thomas Carolus, Christine Krause dhe Dipl. Ing. Bernd Homrighausen, për krijimin e kushteve për realizimin me sukses të mobilitetit.

Shpreh mirënjohje për të gjithë anëtarët e departamentit të Energjisë në Fakultetin e Inxhinierisë Mekanike në Universitetin Politeknik të Tiranës, të cilët më kanë mbështetur dhe inkurajuar, si kolegun e tyre më të ri në departament, për vazhdimin e studimeve të doktoraturës.

Gjithashtu shpreh mirënjohje për Prof. Dr. Angjelin Shtjefni, për suportin e dhënë gjatë fazës së regjistrimit në programin e doktoraturës në Fakultetin e Inxhinierisë Mekanike.

Një falenderim i përzemërt shkon për Prof. Asoc. Miranda Kullolli, si personi që ka ndikuar më shumë në rritjen dhe arritjet e mia akademike.

Së fundmi falenderoj familjen time, bashkëshorten Rianën dhe djalin tim Drinin.

*Sinqerisht,
Ardit GJETA*

PËRMBAJTJA

Lista e figurave	v
Lista e tabelave	viii
Lista e shkurtimeve	ix
Hyrje.....	x
Abstract.....	xii
Abstrakt	xiii
Përmbledhje.....	xiv
 KAPITULLI I.....	 1
Koncepte themelore të rrjedhjes së fluideve	1
1.1 Hyrje.....	1
1.2 Ligjet e ruajtjes	2
1.3 Ligji i ruajtjes së masës.....	3
1.4 Ligji i ruajtjes së momentit	3
1.5 Modelet matematike të thjeshtëzuara.....	4
1.6 Rrjedhja e pangjeshme.....	5
1.7 Efekti i ngjeshmërisë tek ajri	5
1.8 Rrjedhja e qëndrueshme (njëtrajtshme) dhe rrjedhja jo e qëndrueshme (jo e njëtrajtshme) .	8
1.9 Rrjedhja një, dy dhe tre-përmasore	9
1.10 Analiza diferenciale e rrjedhjes së fluidit.....	10
1.10.1 Rasti i veçantë i ekuacionit të vazhdueshmërisë.....	10
1.10.2 Ekuacioni diferencial i momentit linear	11
1.10.3 Përdorimi i teoremës së divergjencës	11
1.10.4 Zbatimi i ligjit të dytë të Njutonit.....	12
1.10.5 Ekuacionet e Navier-Stokes-it	12
1.10.6 Ekuacionet e vazhdueshmërisë dhe Navier-Stokes-it në sistemin kartezyan	16
1.10.7 Ekuacionet e vazhdueshmërisë dhe Navier-Stokes-it në sistemin koordinativ cilindrik	16
 KAPITULLI II.....	 17
Karkasa spirale	17
2.1 Hyrje.....	17
2.2 Ndërtimi i karkasës spirale	17
2.2.1 Muret anësore paralele me gjerësi të njëjtë ($B = b_2$)	18
2.2.2 Muret anësore paralele me gjerësi të ndryshme ($B \neq b_2$)	19
2.2.3 Metoda e spirales së Arkimedit	21
2.2.4 Metoda e shpejtësisë mesatare.....	22
2.2.5 Metoda e katrorëve të strukturuar	22

2.2.6	Metoda e katrorëve të pastrukturuar	23
2.3	Ndikimi i fërkimit tek karkasat	24
2.4	Humbjet në karkasë	26
2.5	Performanca e karkasës spirale	27
2.6	Rritja e performancës së karkasës	29
2.7	Performanca teorike e difuzorit	30
2.8	Koeficienti i rikuperimit të presionit në difuzor	32
KAPITULLI III		33
Hyrje në fluidodinamikën kompjuterike CFD.....		33
3.1	Natyra e problemeve në dinamikën e fluideve	33
3.2	Çfarë është CFD - Fluidodinamika kompjuterike (numerike).....	34
3.3	Përparësitë dhe kufizimet e metodave numerike.....	34
3.4	Komponentët e metodave të zgjidhjeve numerike	35
3.4.1	Modeli matematik	35
3.4.2	Metoda e diskretizimit.....	36
3.4.3	Sistemi bazë koordinativ	36
3.4.4	Rrjetëzimi numerik.....	36
3.5	Metodat e diskretizimit	39
3.5.1	Metoda e diferencave të fundëm (MDF)	39
3.5.2	Metoda e vëllimeve të fundëm (MVF)	40
3.5.3	Metoda e elementeve të fundëm (MEF)	41
3.6	Metoda e zgjidhjes.....	41
3.7	Kriteri i konvergjencës	41
3.8	Hyrje në programin kompjuterik CFD OpenFOAM.....	42
3.9	Përparësitë e software-it OpenFOAM.....	43
3.10	Struktura e OpenFOAM	43
3.10.1	Folderi “kohë”.....	44
3.10.2	Folderi “sistem”	44
3.10.3	Folderi “konstant”	44
3.11	Faza I – Faza para zgjidhjes numerike	45
3.11.1	Karakteristika fizike të fluidit.....	45
3.11.2	Kushtet fillestare dhe kufitare	45
3.11.3	Gjenerimi i gjeometrisë së karkasës spirale nëpërmjet programit Matlab	46
3.11.4	Gjeometria dhe rrjetëzimi.....	48
3.12	Faza II - Zgjidhja e rrjedhjes turbulente.....	49
3.12.1	Modeli i turbulencës k-omega SST	50
3.12.2	Të dhënat fillestare të turbulencës	50
3.12.3	Kriteri i konvergjencës	51

3.12.4	Modelimi në afërsi të murit.....	51
3.12.5	Kushti i mos rrëshqitjes.....	52
3.12.6	Momenti i funksionit të murit	53
3.12.7	Përshkrimi i algoritmit “SIMPLE”.....	53
3.12.8	Skema e funksionimit “SIMPLE”	54
3.12.9	Kontrolli i simulimit numerik.....	55
3.12.10	Kontrolli i kohës	55
3.12.11	Shkrimi i rezultateve	55
3.12.12	Faza III - Përpunimi i Rezultateve nëpërmjet programit Matlab	55
KAPITULLI IV		56
4.1	REZULTATET NGA SIMULIMET NUMERIKE – Pjesa I	56
4.1.1	Hyrje	56
4.1.2	Ndikimi i ndryshimit të këndit të spirales logaritmike.....	57
4.1.3	Ndikimi i ndryshimit të këndit të gjuhës së karkasës.....	59
4.1.4	Ndikimi i rrezes së gjuhës së karkasës.....	62
4.1.5	Ndikimi i profilit të shpejtësisë në hyrje të karkasës	65
4.1.6	Ndikimi i pozicionit të rotorit në brendësi të karkasës.....	67
4.1.7	Ndikimi i tubit të shkarkimit në dalje të karkasës.....	69
4.1.8	Ndikimi i formës reale të rotorit të ventilatorit centrifugal	70
4.2	PJESA EKSPERIMENTALE.....	73
4.2.1	Verifikimi i zgjidhjeve numerike nëpërmjet eksperimenteve	73
4.2.2	Procedura e realizimit të eksperimenteve	73
4.2.3	Parametrat eksperimentale.....	78
4.2.4	Krahasimi i zgjidhjeve numerike dhe eksperimenteve.....	79
4.2.5	Mirënjohje.....	81
4.3	REZULTATET NGA SIMULIMET NUMERIKE – Pjesa II.....	82
4.3.1	Ndikimi i rrezes së gjuhës së karkasës.....	82
4.3.2	Ndikimi i këndit të gjuhës së karkasës.....	83
4.3.3	Ndikimi i këndit të spirales logaritmike.....	86
4.3.4	Ndikimi i hapësirës së sigurisë në performancën e karkasës spirale	87
4.4	REZULTATET NGA SIMULIMET NUMERIKE – Pjesa III	89
4.4.1	Rendimenti total i karkasës.....	89
4.4.2	Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë	90
4.4.3	Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë	91
4.4.4	Raporti i energjive kinetike në dalje/hyrje të karkasës	92
4.5	PËRFUNDIME DHE REKOMANDIME.....	93

KAPITULLI V	97
NDËRTIMI I NDËRFAQES GRAFIKE TË PËRDORUESIT	97
5.1 Hyrje.....	97
5.2 Skema e funksionimit Matlab – OpenFOAM	98
5.3 Ndërfaqja Grafike e Përdoruesit Matlab për projektimin e karkasës spirale	101
5.3.1 Kontrolli i konvergjencës	103
5.3.2 Përcaktimi i presionit statik në hyrje të karkasës	104
5.3.3 Përcaktimi i presionit dinamik në dalje të karkasës	104
5.3.4 Kontrolli i distancës të qelizës në afërsi të murit	105
5.3.5 Regjistrimi i të gjitha parametrave të zgjidhjes.....	105
5.3.6 Përcaktimi i koeficientit të humbjeve të presionit total.....	106
5.3.7 Përcaktimi i koeficientit të rikuperimit të presionit statik	106
5.3.8 Përcaktimi i rendimentit të karkasës spirale	106
5.4 Rezultatet nga simulimet numerike (CFD)	106
5.4.1 Përfundime	108
 PËRFUNDIME DHE PUNA NË TË ARDHMEN	109
 ANEKS I - Rregullore “Ecodesign” për ventilatorët centrifugale Nr 327/2011 [1].	111
ANEKS II - Kodi Matlab, Skedarët e gjeneruar.....	120
ANEKS III - Procedura e kryerjes së eksperimenteve	155
 LITERATURA	160

Lista e figurave

Figura 1. 1 Zvogëlimi i densitetit të ajrit me ndryshimin e temperaturës. (Eck 1973)[5]	6
Figura 1. 2 Ndryshimi i shpejtësisë së zërit në funksion të presionit (Eck 1973)[5].....	8
Figura 1. 3 Krahassimi i a) rrjedhjes jo të njëtrajtshme të kapur në një foto të çastit, b) e njëjta rrjedhje e kapur në një kohë të gjatë ekspozimi (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].	9
Figura 1. 4 Zhvillimi i shpejtësisë, rrjedhja është dy përmasore dhe bëhet një përmasore kur profili i shpejtësisë zhvillohet plotësisht (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].....	10
Figura 1. 5 Komponentët pozitive të tenzorit të sforcimeve (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].	11
Figura 1. 6 Presioni hidrostatik që vepron në fluidin në qetësi (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].	13
Figura 2. 1 Vija e rrjedhjes në dalje të rotorit të ventilatorit centrifugal (Carolus 2013)[7]	17
Figura 2. 2 Karkasa spirale me muret anësore paralele ($B = b_2$) (Eck 1973[5]; Carolus 2013[7])....	18
Figura 2. 3 Karkasa spirale me muret anësore paralele ($B \neq b_2$) (Eck 1973; Carolus 2013)[5][7]....	19
Figura 2. 4 Parametrat gjeometrike të karkasës spirale (Carolus 2013)[7]	20
Figura 2. 5 Karkasa sipas spirales logaritmike dhe spirales së Arkimedit	22
Figura 2. 6 Ndërtimi i karkasës me metodën e katrorëve të strukturuar (Lv et al. 2012)[10]	23
Figura 2. 7 Ndërtimi i karkasës me metodën e katrorëve të pastrukturuar (Lv et al. 2012)[10]	24
Figura 2. 8 Difuzori në formë konike (Eck 1973)[5].....	25
Figura 2. 9 Përmirësimi i karkasës spirale duke i shtuar difuzor në pjesën fundore (Eck 1973)[5]	29
Figura 2. 10 Pjesa fundore e difuzorit me lopatat drejtuese (Eck 1973)[5]	30
Figura 2. 11 Sipërfaqja e kontrollit për një difuzor me shkarkim të lirë (Eck 1973)[5].....	31
Figura 3.1 Shembull i një rrjete të strukturuar (2D), jo ortogonale (Ferziger dhe Perić 2002).....	37
Figura 3.2 Shembull i një rrjetëzimi (2D) të strukturuar në blloqe me shtresa të cilat përputhen me njëra tjetrën (Ferziger dhe Perić 2002).....	38
Figura 3.3 Shembull i një rrjetëzimi (2D) të strukturuar në blloqe me shtresa të cilat nuk përputhen me njëra tjetrën (Ferziger dhe Perić 2002).....	38
Figura 3.4 Shembull i rrjetëzimit të pa strukturuar (2D) (Ferziger dhe Perić 2002).....	39
Figura 3.5 Rrjetëzimi kartezi (2D) në metodën e diferencave të fundëm (Carolus 2013).....	39
Figura 3.6 Vëllimi i kontrollin në sistemin 2D Kartezian (Carolus 2013).....	40
Figura 3.7 Struktura e përgjithshme e programit CFD OpenFOAM (OpenFOAM 2016)[23]	42
Figura 3.8 Skedarët e nevojshëm për simulimin e rrjedhjes në karkasë (OpenFOAM 2016).....	44
Figura 3.9 Pamja 3 dimensionale e ventilatorit centrifugal	46
Figura 3.10 Paraqitja e profilin të spirales logaritmike dhe parametrat gjeometrikë të saj	47
Figura 3.11 Paraqitja 3D e gjeometrisë së plotë të karkasës.....	47
Figura 3.12 Pamja 3 dimensionale e diskretizimit të fushës së rrjedhjes në brendësi të karkasës	48
Figura 3.13 Rrjedhja e fluidit mbi një sipërfaqe stacionare ndalon në sipërfaqe për shkak të kushtit të mos rrëshqitjes. (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].	53
Figura 4.1 Forma të ndryshme të karkasës në funksion të këndit të spirales logaritmike	57
Figura 4.2 Krahassimi i rendimentit total të karkasës për vlera të ndryshme të këndit të spirales logaritmike në funksion të shkallës së gjerësisë	57
Figura 4.3 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë për kënde të ndryshme të spirales në funksion të shkallës së gjerësisë.....	58
Figura 4.4 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë për kënde të ndryshme të spirales në funksion të shkallës së gjerësisë.....	58
Figura 4.5 Raporti i energjisë kinetike në dalje dhe hyrje të karkasës.....	59
Figura 4.6 Paraqitja skematike për vlera të ndryshme të këndit të fillimit të gjuhës së karkasës.....	60
Figura 4.7 Rendimenti total i karkasës për vlera të ndryshme të raportit të gjerësisë në funksion të këndit të gjuhës φ_z	60
Figura 4.8 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të këndit të gjuhës së karkasës	61

Figura 4.9 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të këndit të gjuhës së karkasës	61
Figura 4.10 Raporti i energjive kinetike në dalje dhe hyrje të karkasës	62
Figura 4.11 Paraqitja skematike e vlerave të rrezes së kurbaturës të gjuhës së karkasës.....	62
Figura 4.12 Rendimenti total i karkasës në funksion të rrezes së gjuhës së karkasës	63
Figura 4.13 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të rrezes së gjuhës së karkasës ..	63
Figura 4.14 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të rrezes së gjuhës së karkasës	64
Figura 4.15 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë për rreze të ndryshme të gjuhës së karkasës në funksion të këndit të spirales logaritmike	64
Figura 4.16 Shkalla e energjisë kinetike në dalje dhe në hyrje në funksion të këndet të spirales logaritmike.....	65
Figura 4.17 Profili i shpejtësisë nga rezultatet e CFD të rotorit dhe vlerat mesatare të tyre [2].	65
Figura 4.18 Krahasimi i rendimentit total të karkasës me shpejtësitë konstante (vijat e plota) dhe shpejtësitë jo uniforme (vijat e ndërprera)	66
Figura 4.19 Krahasimi i koeficientit të rikuperimit të presionit statik në karkasë me shpejtësitë konstante (vijat e plota) dhe shpejtësitë jo uniforme (vijat e ndërprera).....	66
Figura 4.20 Krahasimi i koeficientit të humbjeve totale të presionit në karkasë me shpejtësitë konstante (vijat e plota) dhe shpejtësitë jo uniforme (vijat e ndërprera).....	67
Figura 4.21 Krahasimi i profilit të shpejtësisë në rastin e komponentëve konstante dhe sipas profilit real	67
Figura 4.22 Paraqitja skematike e pozicionit relativ rotor/karkasë	68
Figura 4.23 Rendimenti total i karkasës për pozicion të ndryshme të rotorit	68
Figura 4.24 Paraqitja skematike e gjatësisë së tubit të shkarkimit.....	69
Figura 4.25 Rendimenti total i karkasës për gjatësi të ndryshme të tubit të shkarkimit.....	69
Figura 4.26 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të gjatësisë së tubit të shkarkimit	70
Figura 4.27 Krahasimi i formës gjeometrike të thjeshtësuar dhe gjeometrisë reale të rotorit	70
Figura 4.28 Rendimenti i karkasës për gjeometri të thjeshtësuar dhe gjeometri reale të rotorit	71
Figura 4.29 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë për gjeometri të thjeshtësuar dhe gjeometri reale të rotorit.....	71
Figura 4.30 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë për gjeometri të thjeshtësuar dhe gjeometri reale të rotorit.....	72
Figura 4.31 Stenda laboratorike për matjen e karakteristikave të ventilatorit, Universiteti i Siegen-it	73
Figura 4.32 Bango prova në përputhje me standardin EN ISO 5801 [7]	74
Figura 4.33 Stenda laboratorike, EN ISO 5801 [7]	74
Figura 4.34 Bango prova për matjen e karakteristikave të ventilatorit në Universitetin e Siegen-it	75
Figura 4.35 Pamja e hundëzës nga pjesa e brendshme e stendës laboratorike	76
Figura 4.36 Rotori i ventilatorit centrifugal bashkë me hundëzën në hyrje	76
Figura 4.37 Kontrolli i vendosjes së rotorit dhe hundëzës në hyrje nëpërmjet një kamere teleskopike	76
Figura 4.38 Pamja e elektromotorit që vë në lëvizje rotorin centrifugal.....	77
Figura 4.39 Pllaka e të dhënave teknike kryesore të elektromotorit	77
Figura 4.40 Rotori i ventilatorit centrifugal në lidhjen me elektromotorin.....	77
Figura 4.41 Paneli i kontrollit të elektromotorit	77
Figura 4.42 Pamje e plotë e njësisë eksperimentale	77
Figura 4.43 Masë sigurie gjatë zhvillimit të eksperimenteve	77
Figura 4.44 Krahasimi i rezultateve nga eksperimentet dhe simulimet numerike për rotorin dhe ventilatorin.....	79
Figura 4.45 Krahasimi i rezultateve nga eksperimentet dhe simulimet numerike për rotorin dhe ventilatorin.....	79
Figura 4.46 Krahasimi i rendimentit statik - të përgjithshme nga eksperimentet dhe simulimet numerike për rotorin dhe ventilatorin	80
Figura 4.47 Rendimenti volumetrik i rotorit centrifugal	80
Figura 4.48 Krahasimi final i rendimentit nga rezultatet e simulimeve numerike dhe eksperimenteve	81
Figura 4.49 Krahasimi final i fuqisë dhe momentit përdredhës nga rezultatet e simulimeve numerike dhe eksperimenteve.....	81
Figura 4.50 Efekti i rrezes së gjuhës së karkasës në efencën totale të karkasës.....	82

Figura 4.51 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të rrezes së gjuhës së karkasës ..	83
Figura 4.52 Rendimenti total i karkasës në funksion të koeficientit të prurjes	84
Figura 4.53 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik funksion të koeficientit të prurjes	85
Figura 4.54 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të koeficientit të prurjes.....	85
Figura 4.55 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të koeficientit të prurjes.....	86
Figura 4.56 Raporti i energjive kinetike në dalje dhe në hyrje të karkasës në funksion të koeficientit të prurjes	87
Figura 4.57 Rendimenti total i karkasës spirale në funksion të hapësirës së sigurisë	87
Figura 4.58 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të hapësirës së sigurisë	88
Figura 4.59 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasën spirale në funksion të hapësirës së sigurisë.....	88
Figura 4.60 Rendimenti maksimal i karkasës në funksion të koeficientit të prurjes	89
Figura 4.61 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të koeficientit të prurjes	90
Figura 4.62 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të koeficientit të prurjes	91
Figura 4.63 Raporti i energjive kinetike në dalje/hyrje të karkasës si funksion të koeficientit të prurjes	92
Figura 4.64 Krahësimi i fushave të shpejtësive midis metodave të ndërtimit të karkasave	96
Figure 5. 1 Skema e funksionimit Matlab – OpenFOAM	98
Figure 5. 2 Grafika e përdoruesit për projektimin e karkasës spirale	101
Figure 5.3 Kontrolli i konvergjencës së zgjidhjes	103
Figure 5. 4 Fusha e presionit në hyrje të karkasës (dalje të rotorit)	104
Figure 5. 5 Fusha e shpejtësive në dalje të karkasës.....	104
Figure 5. 6 Fusha e vektorëve të shpejtësisë në brendësi të karkasës spirale dhe vlerat e presionit pas zgjidhjes së rrjedhjes në karkasë	106
Figure 5. 7 Rendimenti i karkasës spirale në funksion të koeficientit të prurjes.....	107
Figure 5. 8 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë në funksion të koeficientit të prurjes	107
Figure 5. 9 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë në funksion të koeficientit të prurjes	108
Figura 6.1 Nivelet ndërkombëtare të rendimentit dhe viti i aplikimit të secilit nivel [1]	114
Figura 6.2 Vlerat minimale të kërkuara për rendimentin e ventilatorit në funksion të fuqisë [1]	114
Figura 6.3 Elementet e sistemit të një ventilatori [1].....	117
Figura 6.4 Varësia e vlerës minimale të rendimentit të kërkuar nga ventilatorët për fuqi nga 0.125 deri në 10kW.....	119
Figura 6.5 Varësia e vlerës minimale të rendimentit të kërkuar nga ventilatorët për fuqi nga 10 deri në 500kW	119
Figura 6.5 Kalibrimi i pajisjeve matëse të presionit përpara fillimit të eksperimentit	155
Figura 6.6 Vlerat e matura të presionit, numrit të rotullimeve, momentit përdredhës gjatë një eksperimenti.....	155
Figura 6.7 Të dhënat teknike dhe gjeometrike të ventilatorit dhe karkasës	156
Figura 6.8 Ndërtimi i karakteristikës së ventilatorit	156
Figura 6.9 Ndërtimi i karakteristikës prurje-ngarkesë (referuar presionit statik-total)	157
Figura 6.10 Ndërtimi i karakteristikës prurje-ngarkesë (referuar presionit total)	157
Figura 6.11 Ndërtimi i karakteristikës të ventilatorit me dhe pa karkasë	158
Figura 6.12 Përmbledhja e rezultateve të eksperimentit.....	158
Figura 6.13 Përmbledhja e rezultateve të eksperimentit në formë grafike.....	159

Lista e tabelave

Tabela Nr. 1 Ndryshimi i densitetit në përqindje, në funksion të shpejtësisë së rrjedhjes së ajrit (Eck 1973)[5].	7
Tabela Nr. 2 Parametrat gjeometrike të karkasave të ventilatorëve me lopata të kthyera mbrapa (Carolus 2013[7]; Bommes 2003[26]; Lehfeldt et al. 2014[27]).	20
Tabela Nr. 3 Parametrat gjeometrike të karkasave të ventilatorëve me lopata të kthyera para (Carolus 2013[7]; Bommes 2003[26]; Lehfeldt et al. 2014[27]).	21
Tabela Nr. 4 Kushtet kufitare dhe fillestare të përdorura në simulimet në programin OpenFOAM. ...	45
Tabela Nr. 5 Koeficientët e modelit të turbulencës k-omegaSST.....	50
Tabela Nr. 6 Përmbledhje e parametrave të kontrollit të simulimit.....	55
Tabela Nr. 7 Vlerat nominale minimale të rendimentit (%) për nivelin e dytë të rendimentit IE2 (50 Hz) [1]	115
Tabela Nr. 8 Vlerat nominale minimale të rendimentit (%) për nivelin e tretë të rendimentit IE3 (50 Hz) [1]	115
Tabela Nr. 9 Kërkesat minimale të rendimentit të energjisë për ventilatorët që nga 1 janari 2015 [1]	118

Lista e shkurtimeve

EU	Bashkimi Evropian
CFD	Computational Fluid Dynamics (Fluidodinamika kompjuterike)
RANS	Reynolds Averaged Navier Stokes (Ekuacioni i Navier-Stokes-it i mesatarizuar sipas Reynolds-it)
MDF	Metoda e diferencave të Fundëm
MVF	Metoda e Vëllimeve të Fundëm
MEF	Metoda e Elementeve të Fundëm
SST	Shear Stress Transport (Model turbulence)
SIMPLE	Semi Implicit Methods Pressure Linked Equations (Metodat gjysmë implicite të ekuacioneve të lidhura me presionin)
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning (Sistemet e ngrohje, ventilim dhe kondicionimit)
ErP	Energy related Products (Produktet e lidhura me energjinë)
VSD	Variable Speed Drive (Motorë me shpejtësi të ndryshueshme)
FMEG	Fan Motor Efficiency Grade (Niveli i efikasitetit të motorëve të ventilatorëve)
OpenFOAM	Open Field Operation And Manipulation (Programi CFD)
NGP	Ndërfaqe Grafike e Përdoruesit

Hyrje

Në kuadër të reduktimit të përdorimit të energjisë elektrike nga konsumatorët e ndryshëm energjetik dhe zvogëlimit të emetimit të dioksidit të karbonit, në vendet e Europës janë ndërmarrë disa masa me karakter detyrues me qëllim mbrojtjen e mjedisit. Në Mars të vitit 2007, liderët e BE angazhuan Europën për ta transformuar veten në një ekonomi mjaft të efektshme për energji e cila kontribuon me një emetim në nivele të ulta të dioksidit të karbonit në mjedisin rrethues. Për të nisur procesin, krerët e shteteve dhe qeverive të BE-së vendosën një sërë objektivash të rëndësishme për klimën dhe energjinë që do të përmbushen deri në vitin 2020. Në 30 Mars të vitit 2011 u miratua dhe filloi implementimin direktiva 2009/125/EC e parlamentit European referuar kërkesave “*Ecodesign*” për ventilatorët të cilët vihen në punë nga motorët elektrik me fuqi nga 125W deri në 500kW.

Ventilatorët industrialë janë një ndër makinat punuese të cilat po i nënshtrohen kërkesave të përmirësimit të rendimentit të caktuara nga Komunitetit European (EU). Studimet paraprake kanë treguar se ventilatorët të cilët vihen në punë nga motorë me fuqi nga 125W deri në 500kW kanë përhapjen me të madhe në tregun evropian. Totali i energjisë elektrike të konsumuar nga ventilatorët të vënë në punë nga elektromotorë me fuqi nga 125W deri në 500kW është 344 TWh/vit, duke arritur në 560 TWh/vit në vitin 2020 nëse trendi i tregut evropian vazhdon me të njëjtat ritme. Përfitimet nga përmirësimi i rendimentit me anë të projektimit është në vlerën 34 TWh/vit e cila korrespondon në 16 milion ton CO_2 të emetuar në vit duke filluar nga viti 2020 [1]. Kjo është e njëvlershme me energjinë totale të konsumuar nga afërsisht 8 milion banesa rezidenciale.

Rendimenti aktual i ventilatorëve varet nga kërkesat për fuqi (ventilatorët me fuqi të lartë janë përgjithësisht me eficientë sesa ata me fuqi më të vogël) dhe nga tipi i tij. Duke zëvendësuar një model me rendiment më të vogël me një model me rendiment më të lartë, mund të kursehet rreth 20% e kostos së operimit përgjatë periudhës 15 vjeçare të jetëgjatësisë të tij. Si rrjedhojë, ventilatorët me fuqi hyrëse elektrike midis 125W dhe 500 kW përfaqësojnë një produkt për të cilin duhet të krijohen kërkesat për “*Ecodesign*¹”. Kërkesat “*Ecodesign*” për ventilatorët centrifugale janë të detyrueshme për të gjithë prodhuesit dhe shitësit të cilët duan të shesin produktet e tyre në Bashkimin European (EU). Këto kërkesa japin informacione tekniko-ekonomike të detajuara mbi produktin.

Ventilatori centrifugal bën pjesë në grupin e makinave punuese me përdorim të gjerë.

¹ Direktiva “*Ecodesign*” (2005/32/EC) për produktet konsumatore të energjisë (EuP)
Direktiva “*Ecodesign*” (2009/125/EC) për produktet të lidhura me energjinë (ErP)

Rotori si elementi kryesor i ventilatorit centrifugal shndërron energjinë e jashtme mekanike në energji të presionit dhe energji kinetike të fluidit punues. Për këtë arsye, shumë studime janë fokusuar në projektimin e rotorit dhe vetëm një pjesë e vogël e studimeve u dedikohet dhe karkasës spirale (volutës). Fluidi merr energji nga rotorin dhe rrjedh përgjatë karkasës. Karkasa spirale në ventilatorët centrifugal ka për detyrë mbledhjen dhe drejtimin e rrjedhjes së rrymës së ajrit në atë mënyrë që humbjet të jenë sa më minimale dhe të kemi shndërrim të energjisë kinetike në presion statik. Në karkasën spirale të ventilatorit, ajri humbet shpejtësinë krahasuar me shpejtësinë në dalje nga rotorin, prandaj i kushtohet rëndësi e veçantë vlerësimit të parametrave influencues në këtë drejtim. Presioni statik i gjeneruar në karkasë i mbivendoset presionit statik të përfutur nga rotorin. Teknikisht është një proces i rikuperimit të presionit duke ngadalësuar shpejtësinë e rrjedhjes por në funksion të rrethanave kjo mund të bëhet shkak për humbje të mëdha. Kërkimet mbi karkasën kanë marrë pak vëmendje, por në mënyrë që të përmirësohet performanca e ventilatorit, është e domosdoshme të realizohen studime mbi ndikimin e karkasës spirale. Aktualisht, zvogëlimi i humbjeve të energjisë është në varësi të karakteristikës së karkasës. Kështu që, projektimi i duhur i karkasës së ventilatorit i kushtohet një rëndësi e veçantë pasi ka ndikim të drejtpërdrejtë në performancën e ventilatorit centrifugal. Në rastet e ventilatorëve me një shkallë, sidomos në aspiratorët e ajrit, karkasa spirale përdoret si një pajisje drejtuese e rrymës së ajrit. Kjo formë e drejtimit të rrymës është kaq e thjeshtë në ndërtim dhe efikase në operim, saqë do të ishte e vështirë të rekomandojmë një alternative tjetër. Për këtë arsye është e nevojshme të përshkruajmë mënyrën e projektimit të karkasës spirale.

Ky studim ka për qëllim të analizojë ndikimin e parametrave gjeometrikë të karkasës spirale si dhe evidentimin dhe rekomandimin e parametrave optimale të karkasës që bëjnë të mundur përmirësimin e performancës së ventilatorit centrifugal.

Për të arritur këtë qëllim do të përdoren simulimet numerike të rrjedhjes tre-përmasore në brendësi të karkasës spirale, duke përdorur programin CFD pa pagesë OpenFOAM. Fillimisht do të ndërtohet modeli matematik i rrjedhjes turbulente dhe më pas me anë të programit Matlab, do të ndërtohet algoritmi për procesin e automatizimit, komandimit, kontrollit dhe përpunimit të rezultateve të përfutura nga simulimet numerike.

Vlerësimi i performancës së ventilatorit centrifugal do të mbështetet në rezultatet e analizës numerike të karkasës spirale nën efektin e kombinuar të 3 parametrave vlerësues të marrë në konsideratë: rendimenti total, koeficienti i rikuperimit të presionit statik si dhe koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë.

Abstract

European regulations put into force standards for energy-efficiency of fans, with increasing requirements in the near future. Many studies concerning centrifugal fans have investigated the impeller but only to a smaller extend the spiral casing (volute). The volute may take up a substantial part of the fan's hydraulic loss. Hence, appropriate design of the fan volute has significant meaning to centrifugal fan performance.

Following a current and nearly finished study [2], [3], on aerodynamic optimization of centrifugal fan impellers using CFD-trained meta-models, where a method for optimization of impellers of the whole class of centrifugal fans has been developed, an extension to the volute is envisaged. For that, a parametric study of volutes is carried out which should lead to advanced best practice recommendations for the volute design.

Starting points are optimal impellers for the whole range of specific speeds. The detailed flow field at the impeller's outlet from preceding RANS simulations is used as boundary and initial conditions for a RANS of the flow in the volutes.

An automatized loop with RANS and data post-processing is set up using Matlab, for allowing a large number of parameter variations.

Since the number of geometric parameters of the spiral casing is considerable, an algorithm is built through the Matlab program to continuously obtain the results from numerical simulations (CFD) and identify the optimal values.

The effect of volute angle, volute width (as a ratio of the rotor outlet width), and geometrical parameters related to the tongue and axial position of the rotor, are reviewed for the impact they may have had on total pressure loss coefficient, static pressure recovery coefficient and efficiency.

Keywords: CFD, OpenFOAM, spiral casing, volute, centrifugal fan, pressure loss, pressure recovery, efficiency.

Abstrakt

Rregullatoret Europiane kanë përcaktuar standardet për eficientësi e energjisë të ventilatorëve, duke rritur kërkesat teknike të projektimit të tyre në të ardhmen e afërt. Shumë studime të lidhura me ventilatorët centrifugale janë përqendruar kryesisht në studimin e rotorit por vetëm një pjesë e vogël e këtyre studimeve trajtojnë edhe karkasën spirale. Karkasa spirale zë një pjesë të konsiderueshme të humbjeve hidraulike të ventilatorit. Kështu, një projektim sa me efikas i karkasës spirale të ventilatorit do të ndikojë në performancën totale të ventilatorit.

Kohët e fundit është realizuar një studim, mbi optimizimin e performancës aerodinamike të rotorit të ventilatorit centrifugal duke përdorur analizën numerike [2], [3]. Në këtë studim është arritur optimizimi i parametrave gjeometrike të rotorëve të një game të gjerë të ventilatorëve centrifugale.

Studimi jonë do të fokusohet në ndikimin e parametrave gjeometrikë në projektimin e karkasave spirale, përcaktimi dhe rekomandimi i parametrave me të përshtatshme për funksionimin e saj.

Si pikë referimi janë pikat e funksionimit të rotorëve të optimizuar për të gjithë gamën e shpejtësive specifike. Rrjedhja e detajuar nga dalja e rotorit të marra në simulimet numerike (RANS) të mëparshme janë përdorur si kushte kufitare dhe fillestare të rrjedhjes në karkasën spirale.

Megjithatë numri i parametrave gjeometrike të karkasës spirale është i konsiderueshëm, është ndërtuar një algoritëm nëpërmjet programit Matlab, që në mënyrë të vazhdueshme të merren rezultatet nga simulimet numerike (CFD) dhe të evidentohen vlerat optimale.

Efekti i këndit të karkasës, gjerësisë së karkasës (si raport i gjerësisë në dalje të rotorit), parametrave gjeometrikë të gjuhës së karkasës si edhe pozicionit të rotorit janë shqyrtuar mbi ndikimin që mund të kenë referuar humbjeve totale të presionit, rikuperimit të presionit statik si dhe rendimentit të karkasës.

Fjalët kyçe: CFD, OpenFOAM, karkasa spirale, voluta, ventilatori centrifugal, humbjet dhe rikuperimi i presionit, rendimenti.

Përmbledhje

Në kapitullin e parë trajtohen konceptet themelore të rrjedhjes së fluideve, si ligji i ruajtjes së masës, ligji i ruajtjes së momentit, rasti i rrjedhjes së pangjeshme, rrjedhja e qëndrueshme (njëtrajtshme) ose jo, rrjedhja një, dy dhe tre-përmasore si edhe analiza diferenciale e rrjedhjes së fluideve, me bashkësinë e ekuacioneve të rrjedhjes së fluidit të përmbledhura në ekuacionet e Navier-Stokes-it.

Në kapitullin e dytë trajtohet metodologjia e ndërtimit të formës së karkasës. Në rastin më të përgjithshëm forma e karkasës do të jetë sipas një spiraleje logaritmike, por janë trajtuar gjithashtu disa mënyra alternative të ndërtimit të saj. Janë paraqitur parametrat gjeometrikë të karkasës, si dhe literatura me rekomandimet përkatëse. Në fund të kapitullit janë trajtuar humbjet në karkasë, parametrat për vlerësimin dhe mënyrat e rritjes së performancës.

Meqenëse studimi fokusohet në simulimet numerike (CFD), në kapitullin e tretë janë trajtuar metodat e zgjidhjeve numerike, metodat e diskretizimit të fushës së zgjidhjes si edhe zgjidhësit e rrjedhjeve turbulente. Studimi fokusohet në metodën e vëllimeve të fundëm, meqenëse programi CFD që është përdorur në këtë studim, bazohet pikërisht këtë metodë. Është përshkruar programi OpenFOAM, përparësitë dhe disavantazhet e përdorimit, struktura si edhe fazat e zgjidhjes numerike. Në fazën e parë trajtohen karakteristikat e fluidit, kushtet fillestare dhe kufitare, modeli i turbulencës si dhe procesi i rrjetëzimit. Në fazën e dytë trajtohet zgjedhja e modelit të turbulencës si dhe zgjidhja e rrjedhjes në brendësi të karkasës. Faza e tretë ka të bëjë me përpunimin e rezultateve të marra nga simulimet numerike. Në këtë kapitull pasqyrohet edhe risia e këtij studimi, i cili ka të bëjë me automatizimin e procesit të zgjidhjes dhe përpunimit të rezultateve duke përdorur një ndërthurje midis programit Matlab dhe OpenFOAM. Përdorimi i programit është konkretizuar me një shembull.

Në kapitullin e katërt jepen: rezultatet nga simulimet numerike, kontrolli i këtyre rezultateve nëpërmjet eksperimenteve dhe vlerat e parametrave gjeometrikë të rekomanduar të karkasës në funksion të mënyrës së përdorimit të ventilatorit centrifugal. Për shkak të numrit të lartë të parametrave variabël gjatë projektimit të karkasës, studimi u zhvillua i ndarë në tre grupe simulimesh kryesore. Në grupin e parë të simulimeve numerike, kemi pranuar një formë të thjeshtësuar të gjeometrisë së rotorit. Nga përfundimet e grupit të parë të simulimeve është arritur të evidentohen parametrat gjeometrike të karkasës të cilat nuk shfaqin interes për studimin. Në këtë mënyrë është arritur të zvogëlohet diapazoni i vlerave të parametrave gjeometrike. Për të siguruar vërtetësinë e përfundimeve nga simulimet numerike të grupit të

parë, janë zhvilluar eksperimente me modele reale të rotorit dhe karkasës. Është shpjeguar e gjithë procedura e realizimit të eksperimenteve dhe nga krahasimi i rezultateve, kemi dalë në përfundimin se modeli i zgjedhur për të simuluar rrjedhjen turbulente në karkasë është i duhuri dhe se rezultatet **përputhen** plotësisht. Më tej vazhdohet me grupin e dytë të simulimeve. Fokusi kryesor në këtë grup është studimi i efektit të hapësirës së sigurisë (s_z). Kjo është hapësira që krijohet nga distanca fizike midis rotorit, si pjesë e lëvizshme dhe karkasës spirale si element statik. Rendimenti i karkasës spirale varet edhe nga forma gjeometrike e gjuhës, kjo e fundit është funksion i 3 parametrave gjeometrikë (këndi i spirales logaritmike α , rrezja r_z dhe këndi i gjuhës φ_z), të cilët në rastin tonë janë marrë së bashku në konsideratë. Në këtë mënyrë vlerësohet vlera optimale e hapësirës së sigurisë.

Në grupin e tretë të simulimeve janë trajtuar disa metoda alternative të ndërtimit të karkasës spirale. Në funksion të përdorimit të ventilatorit centrifugal jepen rekomandime për metodën më të përshtatshme të ndërtimit të karkasës si dhe parametrat gjeometrikë më të volitëshme. Në kapitullin e pestë është trajtuar ndërtimi i një ndërfaqeje grafike të përdoruesit nëpërmjet programit Matlab (GUI). Puna disa vjeçare mbi këtë studim, u fokusua gjithashtu tek ideja e automatizimit të procesit të simulimeve numerike, pasi nevoja ishte e tillë, meqenëse studimi kishte si qëllim ndikimin e parametrave gjeometrikë dhe ndryshimi manual i tyre do të ishte pothuajse e pamundur. Në përfundim, çdo proces i nevojshëm për të kryer simulimet numerike u automatizua dhe u krijuan kushtet e ndërtimit të një programi të mirëfilltë të simulimeve numerike, por tashmë në formën e përgjithshme të programeve komerciale, ("black-box"). Ndërfaqja grafike jep mundësinë edhe inxhinierëve/studentëve të cilët nuk kanë njohuri të thelluar në fluidodinamikën kompjuterike, të realizojnë simulime numerike.

Në aneksin I jepet baza ligjore mbi kërkesat për rritjen e rendimentit të përdorimit të ventilatorëve centrifugale, i cili është motivi dhe arsyeja e kryerjes së këtij studimi. Në aneksin II, jepet gjuha e programimit Matlab e nevojshme për të realizuar procesin e simulimeve numerike në mënyrë të automatizuar si dhe skedarët e nevojshëm të përdorur për simulimet numerike. Ky informacion mund të shërbejë për studiuesit e tjerë që do shfaqin interes mbi simulimet numerike të cilat fokusohen në programe CFD pa pagesë. Përparësia e përdorimit të programit Matlab si program ndihmës për simulimet, lidhet edhe me mënyrën e funksionit të programit OpenFOAM, i cili është i shkruar në gjuhën e programimit C++. Nëpërmjet Matlab-it, mund të gjenerohen skedarët e nevojshëm në mënyrë që të jenë të gatshëm për tu manipuluar dhe përdorur nga OpenFOAM. Në aneksin III, jepet procedura e kryerjes së eksperimenteve, program në pronësi të Universitetit të Siegen-it, Gjermani.

KAPITULLI I

Koncepte themelore të rrjedhjes së fluideve

1.1 Hyrje

Fluidi përkufizohet si një substancë e vazhdueshme (lëng ose gaz), në gjendje amorfe, molekulat e të cilave lëvizin lirshëm pas njëri-tjetrit dhe që kanë tendencën të marrin formën e enës ku ndodhen. Duke i'u referuar mënyrës së ndërtimit molekular ato nuk shfaqin rezistencë nga veprimi i forcave të jashtme, qoftë edhe një forcë elementare shkakton një deformim në grimcën e fluidit. Edhe pse ka një dallim thelbësor midis lëngjeve dhe gazeve, të dy këto fluide i nënshtrohen të njëjtit ligj të lëvizjes. Në shumë raste fluidi mund të konsiderohet si i vazhdueshëm. Rrjedhja e fluidit shkaktohet nga veprimi i forcave të jashtme të cilat përfshijnë: diferencat e presionit, forca e gravitetit, momenti dhe forcat sipërfaqësore të jashtme. Këto forca mund të klasifikohen në dy grupe (Ferziger dhe Perić 2002)::

- Forca sipërfaqësore, p.sh. Forca e erës, presioni dhe forca prerëse e krijuar nga lëvizja relative e fluidit me një sipërfaqe muri.
- Forcat e masës, p.sh. forcat nga graviteti dhe forcat e momentit, etj.

Edhe pse të gjitha fluidet kanë sjellje të njëjtë nën ushtrimin e forcave, karakteristika mikroskopike e tyre është e ndryshme. Këto karakteristika duhet të njihen mirë nëse kërkohet të studiohet lëvizja e tyre. Karakteristikat fizike më të rëndësishme të fluideve të thjeshta janë densiteti dhe viskoziteti. Këto karakteristika janë funksion i parametrave termodinamike si temperatura (T) dhe presioni (p). Shpejtësia e rrjedhjes ndikon në parametrat e fluidit në disa mënyra. Në shpejtësi të ulta, inercia e fluidit mund të neglizhohet dhe në këtë rast kemi rrjedhje “rërshqitëse”. Me rritjen e shpejtësisë, inercia e fluidit ka efekt të rëndësishëm dhe çdo grimcë e fluidit ndjek një trajektore të caktuar, në këtë rast thuhet se kemi lëvizje “laminare”. Rritja e mëtejshme e shpejtësisë çon në paqëndrueshmërinë e lëvizjes, gjë e cila prodhon një lëvizje rastësore e cila emërtohet lëvizje “turbulente”. Procesi i kalimit nga rrjedhja laminare në atë turbulente quhet regjimi “kalimtar”. Raporti i shpejtësisë së lëvizjes së fluidit me atë të shpejtësisë së zërit (numri i Mah-ut) përcakton nëse duhet të merret në konsideratë shkëmbimi ndërmjet energjisë kinetike të lëvizjes dhe shkallëve të brendshme të lirisë së lëvizjes. Për numra të vegjël të Mah-ut, $M < 0.3$, fluidi mund të konsiderohet “i pangjeshëm”, në të kundërt cilësohet “i ngjeshëm”. Nëse $M < 1$, rrjedhja quhet “subsonike”, kur $M > 1$, rrjedhja është supersonike. Pra fluidi do të quhet i ngjeshëm ose i pangjeshëm në funksion të numrit të Mah-ut, edhe pse ngjeshmëria është një karakteristikë e vetë fluidit.

1.2 Ligjet e ruajtjes

Ligjet e ruajtjes trajtohen duke marrë në shqyrtim një sasi të caktuar të materies ose “masës të kontrollit” dhe karakteristikat ekstensive të tij, si masa, momenti dhe energjia. Kjo qasje përdoret për të studiuar dinamiken e trupave të ngurtë, ku masa e kontrollit (zakonisht quhet sistem) është lehtësisht i përcaktueshëm. Në rrjedhjen e fluideve kjo gjë është e vështirë, prandaj për këtë arsye është më e përshtatshme që rrjedhja të studiohet në një zonë të caktuar të hapësirës, e cila quhet vëllim i kontrollit. Ligji i ruajtjes për një karakteristikë ekstensive lidhet me shkallën e ndryshimit të sasisë të asaj karakteristike në një masë kontrolli të caktuar e cila lejon të përcaktohen efektet e jashtme.

Interes të lartë në aplikimet inxhinierike lidhur me rrjedhjen, gjen ekuacioni i ruajtjes së masës (masa, e cila as nuk mund të krijohet apo zhduket) shprehur në ekuacionin 1.1 (Ferziger dhe Perić 2002):

$$\frac{dm}{dt} = 0 \quad (1.1)$$

Nga ana tjetër, nga veprimi i forcave, momenti mund të ndryshojë. Ligji i ruajtjes së momentit shprehet nga ekuacioni 1.2 sipas ligjit të dytë të Njutonit:

$$\frac{d(mv)}{dt} = \sum F \quad (1.2)$$

ku t është koha, m masa, v është shpejtësia dhe F forcat që veprojnë në masën e kontrollit.

Ne duhet ti transformojmë këto ligje në një vëllim kontrolli. Parametrat themelore do të jenë intensive. Ndryshe nga parametrat ekstensive, parametrat intensive janë parametra të pavarura nga masa e sistemit në studim. P.sh densiteti ρ (masë për njësi të vëllimit) dhe shpejtësia v (momenti për njësi të masës). Nëse Φ është një parametër çfarëdo intensiv (për ruajtjen e masës $\Phi=1$), për ruajtjen e momentit $\Phi=v$, atëherë karakteristika ekstensive θ do të shprehej nëpërmjet ekuacionit:

$$\theta = \int_{\Omega_{MK}} \rho \Phi d\Omega \quad (1.3)$$

Ku Ω_{MK} është vëllimi i përcaktuar nga masa e kontrollit. Duke përdorur këtë përkufizim, krahu i majtë i secilit ekuacion të ruajtjes për një vëllim kontrolli mund të shkruhet:

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega_{MK}} \rho \Phi d\Omega = \frac{d}{dt} \int_{\Omega_{VK}} \rho \Phi d\Omega + \int_{S_{VK}} \rho \Phi (v - v_b) \cdot n dS \quad (1.4)$$

Ky ekuacion zakonisht njihet si ekuacioni i vëllimit të kontrollit ose teorema e transportit të Reynolds-it. Ku Ω_{VK} është **vëllimi** i vëllim kontrollit, S_{VK} , është sipërfaqja e vëllimit të

kontrollit, $\mathbf{n}$ është vektori ortogonal njësi i sipërfaqes së vëllimit të kontrollit dhe i drejtuar nga jashtë, $\mathbf{v}$ është shpejtësia e rrjedhjes së fluidit dhe $\mathbf{v}_b$ është shpejtësia me të cilën sipërfaqja e vëllimit të kontrollit lëviz.

Për një vëllim kontrolli të palëvizshëm, të cilën e pranojmë për të gjithë kohën $\mathbf{v}_b = 0$ dhe derivati i parë i krahut të djathtë bëhet një derivat lokal (i pjesshëm). Ky ekuacion shpreh se, shkalla e ndryshimit të karakteristikës në një masë kontrolli θ , është sa shkalla e ndryshimit të karakteristikës në një vëllim kontrolli, plus fluksin e rrjedhjes përgjatë kufirit të vëllimit të kontrollit për shkak të lëvizjes relative. Termi i fundit emërtohet fluksi konvektiv θ përgjatë kufirit të vëllimit të kontrollit.

1.3 Ligji i ruajtjes së masës

Forma integrale e ligjit të ruajtjes së masës (ekuacioni i vazhdueshmërisë) rrjedh nga ekuacioni i vëllimit të kontrollit, duke zëvendësuar $\Phi = 1$:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho d\Omega + \int_S \rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS = 0 \quad (1.5)$$

Transformimi nga integrali sipërfaqësor në integralin vëllimor mund të bëhet duke aplikuar teoremën e Gauss-it në termin konvektiv. Duke marrë një vëllim kontrolli pambarimisht të vogël, përftojmë formën diferenciale të ekuacionit të vazhdueshmërisë:

$$\frac{d\rho}{dt} + \text{div}(\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (1.6)$$

Kjo formë mund të transformohet në një sistem koordinativ specifik si p.sh sistemi kartezian, cilindrik dhe sferik. Në sistemin kartezian ekuacioni do të ketë formën:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} = 0 \quad (1.7)$$

Ku x_i janë koordinatat karteziane dhe u_i janë komponentët e vektorit të shpejtësisë në sistemin koordinativ kartezian.

1.4 Ligji i ruajtjes së momentit

Ekzistojnë disa mënyra të derivimit të ekuacionit të ruajtjes së momentit. Një mënyrë është përdorimi i metodës së vëllimit të kontrollit, nga ekuacioni (1.2) dhe (1.4) zëvendësojmë $\Phi = \mathbf{v}$,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \mathbf{v} d\Omega + \int_S \rho \mathbf{v} \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS = \sum \mathbf{F} \quad (1.8)$$

Për të shprehur krahun e djathtë të ekuacionit në termat e karakteristikave intensive, duhet të konsiderojmë forcat të cilat veprojnë në vëllimin e kontrollit:

- Forcat sipërfaqësore, (presioni, tensionet normale dhe prerëse, tensionet sipërfaqësore, etj.)
- Forcat e masës (graviteti, forcat centrifugale dhe ato të Coriolis-it, forcat elektromagnetike, etj.)

Për fluidet Njutoniane, tenzori i sforcimeve T , i cili është shkalla molekulare e momentit të lëvizjes mund të shkruhet:

$$T = -\left(p + \frac{2}{3}\mu \operatorname{div} v\right)I + 2\mu D \quad (1.9)$$

Ku μ është viskoziteti dinamik, I është tenzori njësi, p është presioni statik dhe D është shkalla e tensorit të deformimit (tendosjes).

$$D = \frac{1}{2} \left[\operatorname{grad} v + (\operatorname{grad} v)^T \right] \quad (1.10)$$

Këto dy ekuacione mund të shkruhen sipas sistemit Kartezian të koordinatave:

$$T_{ij} = -\left(p + \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\delta_{ij} + 2\mu D_{ij} \quad (1.11)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (1.12)$$

Ku δ_{ij} është simboli Kronecker (Ferziger dhe Perić 2002) ($\delta_{ij} = 1$ nëse $i = j$ dhe në të kundërt $\delta_{ij} = 0$). Për rrjedhje të pangjeshme, termi i dytë në kllapa tek ekuacioni (1.11) është zero në bazë të ekuacionit të vazhdueshmërisë. Shprehja e mëposhtme përdoret shpesh në literaturë për të përshkruar pjesën viskoze të tensorit të sforcimeve:

$$\tau_{ij} = 2\mu D_{ij} - \frac{2}{3}\mu \delta_{ij} \operatorname{div} v \quad (1.13)$$

1.5 Modelet matematike të thjeshtëzuara

Ekuacionet e ruajtjes të masës dhe momentit janë më komplekse në zbatimet reale të rrjedhjes. Këto ekuacione janë jo lineare, të ndërlidhura dhe të vështira për tu zgjidhur. Është e pamundur të pretendohet se me anë të një ekuacioni matematik të njohur, të ekzistojë një zgjidhje unike për kushte të caktuara kufitare. Eksperienca ka treguar që ekuacionet e Navier-Stokes përshkruajnë me saktësi rrjedhjen e fluideve Njutoniane. Në disa raste specifike, në rrjedhje të zhvilluara me gjeometri të thjeshta, (p.sh rrjedhja në tubacione, rrjedhja midis

pllakave paralele, etj) është e mundur që të kemi zgjidhjen analitike të ekuacioneve të Navier-Stokes-it. Këto rrjedhje janë të rëndësishme për të studiuar bazën e mekanikës së fluideve, por përdorimi i tyre në praktikë është i kufizuar. Në të gjitha rastet kur një zgjidhje e tillë është e mundshme, shumë terma të ekuacionit të Navier-Stokes-it neglizhohen, disa terma të tjerë janë të parëndësishëm dhe mund të mos merren në konsideratë, kështu që këto thjeshtëzime devijojnë rezultatet analitike me ato reale. Në shumicën e rasteve, edhe ekuacionet e thjeshtëzuara nuk mund të zgjidhen në mënyrë analitike, por duhet të përdorim metoda numerike. Koha kompjuterike e zgjidhjes numerike mund të jetë shumë më e vogël sesa zgjidhja e ekuacionit të plotë dhe kjo është arsyeja e thjeshtëzimit. Më poshtë janë treguar disa rrjedhje për të cilat ekuacionet e lëvizjes së tyre mund të thjeshtëzohen.

1.6 Rrjedhja e pangjeshme

Ekuacionet e ruajtjes së masës dhe momentit të paraqitura në paragrafët më sipër janë ekuacionet më të përgjithshme duke supozuar së të gjithë fluidet dhe karakteristikat e rrjedhjes së tyre janë të ndryshueshme në hapësirë dhe në kohë. Në shumë aplikime densiteti i fluidit mund të supozohet së mbetet i pandryshuar përgjatë rrjedhjes. Kjo është e vërtetë jo vetëm për rrjedhjen e lëngjeve, ku ngjeshmëria me të vërtetë mund të neglizhohet, por edhe për gazet nëse numri i Mah-ut është më i vogël se 0.3. Në këto rrjedhje mendohet se fluidi nuk ndryshon densitetin. Nëse rrjedhja është izotermike, mund të pranojmë edhe viskozitetin si të pa ndryshueshëm. Në këtë rast ekuacionet e ruajtjes së masës dhe të momentit marrin formën:

$$\operatorname{div}(\boldsymbol{v}) = 0 \quad (1.14)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \operatorname{div}(u_i \boldsymbol{v}) = \operatorname{div}(\boldsymbol{v} \operatorname{grad} u_i) - \frac{1}{\rho} \operatorname{div}(\boldsymbol{p} \boldsymbol{e}_i) + b_i \quad (1.15)$$

ku $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, është viskoziteti kinematik.

Ky thjeshtëzim zakonisht nuk ka ndonjë vlerë të madhe pasi sërish ekuacionet janë të vështira për tu zgjidhur në mënyrë analitike. Sidoqoftë, ndihmon shumë në zgjidhjen numerike.

1.7 Efekti i ngjeshmërisë tek ajri

Në praktikën e projektimit të ventilatorëve, densiteti është i vetmi parametër fizik i gazeve dhe i avujve i cili merr vëmendje të madhe. Densiteti ρ llogaritet nga ekuacioni i gjendjes të gazit ideal:

$$pv = RT \rightarrow \frac{p}{\rho} = RT \rightarrow \rho = \frac{p}{RT} \quad (1.16)$$

Presioni absolut p jepet si shumë e presionit manometrik Δp dhe presionit atmosferik sipas relacionit $p = p_0 + \Delta p$, (p_0 është presioni atmosferik), ndërsa temperatura jepet në shkallën Kelvin $T_{[^\circ K]} = t_{[^\circ C]} + 273$. Ndërsa R është konstantja karakteristike e gazeve dhe jepet sipas relacionit $R = \frac{R_0}{\mu}$, ku $R_0 = 8314 \text{ [J/kmol} \cdot \text{K]}$ dhe $\mu \text{ [gr/mol]}$ masa molekulare e fluidit.

Ajri në kushte atmosferike përmban lagështirë dhe duhet përmendur se ajri i lagësht është më i lehtë se ajri i thatë. Në rastet e temperaturave të larta në të cilën ajri përmban lagështirë, zvogëlimi i densitetit bëhet i rëndësishëm. Në grafikun e mëposhtëm jepet zvogëlimi i densitetit të ajrit për lagështinë relative 50% dhe 100%.

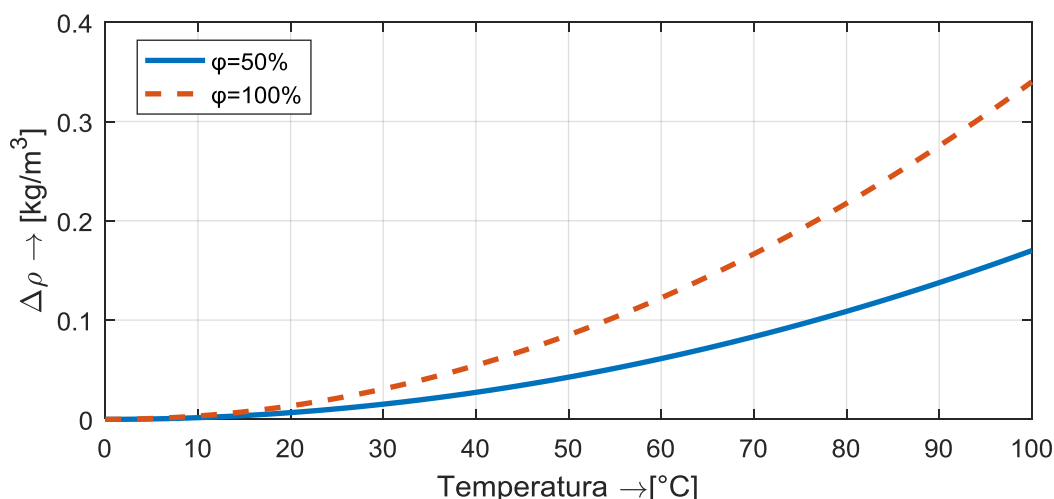


Figura 1. 1 Zvogëlimi i densitetit të ajrit me ndryshimin e temperaturës. (Eck 1973)[5]

Me rritjen e shpejtësisë së lëvizjes së ajrit do të kemi vlera të larta të presioneve, do të ndryshojë densiteti i tyre dhe për rrjedhojë edhe vëllimi specifik. Deri më tani ne e kemi neglizhuar këtë efekt, por është e rëndësishme të përcaktojmë deri në cilën vlerë limit të shpejtësisë së rrjedhjes është i vlefshëm ky thjeshtëzim.

Do të fillojmë nga ekuacioni diferencial i njohur për shpejtësinë e zërit:

$$a = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad (1.17)$$

ku a është shpejtësia e zërit, p është presioni, dhe ρ është vlera mesatare e densitetit. Nëse i shprehim në diferenca të fundme do të kemi:

$$a = \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta \rho}} \quad (1.18)$$

Atëherë për arsye të ilustrimit Δp do të konsiderohet presioni dinamik i shpejtësisë së rrjedhjes c ,

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} c^2 \quad (1.19)$$

Ndryshimi i densitetit i shprehur si funksion i densitetit fillestar do të jepet si më poshtë:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{1}{2} \left(\frac{c}{a} \right)^2 \quad (1.20)$$

Ky relacion tregon se ndryshimi i densitetit është proporcional me ndryshimin e forcave që veprojnë në lopatat e ventilatorit. Përkatësisht presioni mbi lopatat do të ndryshojë kështu që do të presim të kemi gabime në llogaritjet tona. Gabimi tregohet në matjet nëse ne llogarisim presionin dinamik duke i'u referuar ekuacionit $\Delta p = \frac{\rho}{2} c^2$, por ndërkohë vlera reale do të jepet sipas ekuacionit më poshtë:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} c^2 \left[1 + \frac{1}{4} \right] \left(\frac{c}{a} \right)^2 \quad (1.21)$$

Nga kjo nxjerrim gabimin në llogaritje,

$$\frac{\Delta[\Delta p]}{\Delta p} = \frac{1}{4} \left(\frac{c}{a} \right)^2 \quad (1.22)$$

Në tabelën Nr. 1 jepet gabimi në përqindje, për shpejtësi të ndryshme e llogaritur nga formula, i cili deri më tani ishte neglizhuar.

Tabela Nr. 1 Ndryshimi i densitetit në përqindje, në funksion të shpejtësisë së rrjedhjes së ajrit (Eck 1973)[5].

Shpejtësia (m/s)	50 (m/s)	100 (m/s)	150 (m/s)	200 (m/s)
$\Delta \rho / \rho \cdot 100\%$	1.21	4.8	11.65	20.8
$\Delta[\Delta p] / \Delta p \cdot 100\%$	0.605	2.4	5.825	10.4

Tabela Nr.1 tregon rëndësinë e efekteve nga ndryshimi i densitetit. Për shembull gabimi është 2.4% për shpejtësinë 100m/s, dhe 10.4% për shpejtësinë 200m/s. Në përfundim, efekti i ndryshimit të densitetit është i parëndësishëm për të gjithë qëllimet praktike duke siguruar që shpejtësia në çdo pikë të ventilatorit nuk i kalon vlerën 100m/s. Duhet të kemi parasysh që në

llogaritjet e performancës, duhet të merret në konsiderate edhe ndryshimi i shpejtësisë së zërit në funksion të presionit të treguar në figurën 1.2.

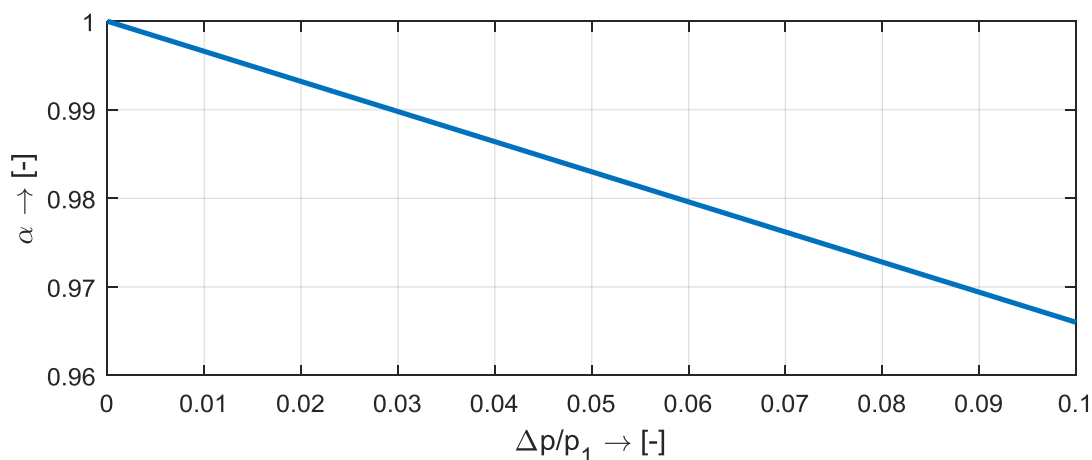


Figura 1.2 Ndryshimi i shpejtësisë së zërit në funksion të presionit (Eck 1973)[5].

1.8 Rrjedhja e qëndrueshme (njëtrajtshme) dhe rrjedhja jo e qëndrueshme (jo e njëtrajtshme)

Termet e njëtrajtshme apo uniforme janë terma që përdoren për rrjedhjet të cilat nuk kanë ndryshim të parametrave, si shpejtësia, temperatura etj, në funksion të kohës. Shumë pajisje si p.sh turbinat, kaldajat, kondensatorët dhe këmbyesit e nxehtësive operojnë për një kohë shumë të gjatë në kushte të njëjta dhe për këtë arsye cilësohen si pajisje me rrjedhje të qëndrueshme (njëtrajtshme). Rasti i rrjedhjes në afërsi të lopatës punuese në turbomakinat është patjetër rrjedhje jo e njëtrajtshme, por konsiderohet si rrjedhje në përgjithësi e njëtrajtshme. Përgjatë rrjedhjes së njëtrajtshme karakteristikat e fluidit mund të ndryshojnë nga një pozicion në një tjetër, por për një pikë të caktuar ato mbeten konstant në kohë. Kështu që, vëllimi, masa dhe energjia totale e rrjedhjes e këtyre pajisjeve mbeten të pa ndryshuara. Kushtet e rrjedhjes së njëtrajtshme mund të pranohen në pajisjet e projektuara për kushte pune të vazhdueshme si p.sh turbina, pompat, bojlerët, kondensatorët dhe këmbyesit e nxehtësive në sistemet e fuqisë ose në sistemet e ftohjes. Disa pajisje ciklike, si p.sh motorët me djegie të brendshme ose kompresorët, nuk plotësojnë kushtet e rrjedhjes së njëtrajtshme meqenëse rrjedhja në hyrje dhe në dalje është pulsuese dhe jo e vazhdueshme. Sidoqoftë, karakteristikat e fluidit ndryshojnë në kohë në mënyrë të vazhdueshme dhe rrjedhja e këtyre pajisjeve mund të analizohet si rrjedhje e vazhdueshme (njëtrajtshme) duke përdorur vlerat mesatare të karakteristikave të ndryshuara në kohë.



Figura 1. 3 Krahasimi i a) rrjedhjes jo të njëtrajtshme të kapur në një foto të çastit, b) e njëjta rrjedhje e kapur në një kohë të gjatë ekspozimi (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].

1.9 Rrjedhja një, dy dhe tre-përmasore

Fusha e rrjedhjes karakterizohet nga shpërndarja e shpejtësisë sipas një, dy apo tre drejtimeve dhe në këtë mënyrë themi nëse kemi rrjedhje një, dy apo tre-përmasore. Një rrjedhje tipike e fluideve përfshin gjeometrinë tre-dimensionale dhe shpejtësia mund të ndryshojë në të tre drejtimet, duke e bërë rrjedhjen tre-përmasore $\vec{V}(x,y,z)$ ose $\vec{V}(r,\theta,z)$ në koordinatat cilindrike. Megjithatë, ndryshimi i shpejtësisë në drejtime të caktuara mund të jetë i konsiderueshëm në krahasim me drejtime të tjera dhe në këtë mënyrë mund të neglizhohet me një gabim të papërfillshëm. Në të tilla raste, rrjedhja mund të modelohet si një apo dy përmasore, që është shumë më e thjeshtë për tu analizuar. Nëse do të konsiderojmë rrjedhjen e fluidit nga një rezervuar në një tubacion cilindrik, shpejtësia e fluidit në sipërfaqen e tubacionit do të jete zero për shkak të kushtit të mos rrëshqitjes dhe në këtë rast rrjedhja konsiderohet si dy përmasore në zonën e hyrjes së tubacionit meqenëse shpejtësia ndryshon sipas drejtimit aksial z dhe radial r , por jo në drejtimin θ . Profili i shpejtësisë zhvillohet deri në një distancë të caktuar nga hyrja (rreth 10 herë diametrin në rrjedhjen turbulente dhe më pak në rrjedhjen laminare) dhe më pas mbetet i pandryshuar, në këtë rast rrjedhja pas kësaj distance thuhet se rrjedhja është **plotësisht e zhvilluar**.

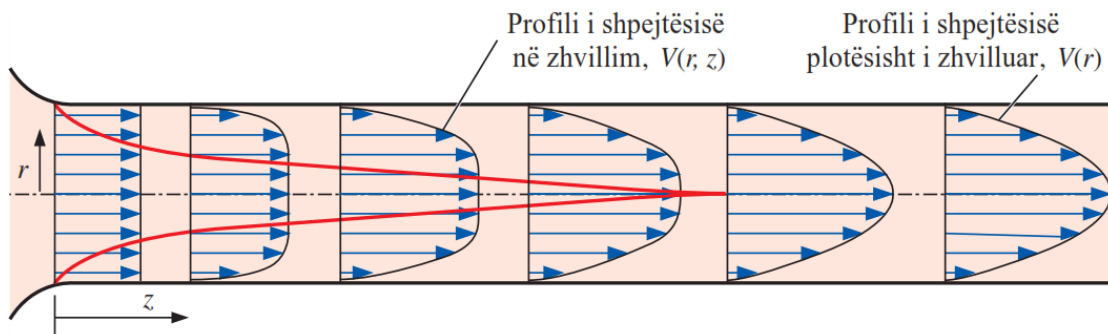


Figura 1. 4 Zhvillimi i shpejtësisë, rrjedhja është dy përmasore dhe bëhet një përmasore kur profili i shpejtësisë zhvillohet plotësisht (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].

Rrjedhja **plotësisht e zhvilluar** në tubacionet cilindrike është rrjedhje një përmasore meqenëse ndryshon vetëm sipas drejtimit radial dhe jo në drejtimin këndor θ apo aksial z . Profili i shpejtësisë është i njëjtë në çdo pozicion aksial z dhe është simetrik rreth aksit të tubacionit. Por përmasimi i rrjedhjes varet edhe nga sistemi koordinativ i përdorur. P.sh rrjedhja në tubacionin e sipërpërmendur është një përmasore sipas sistemit cilindrik koordinativ, por është dy përmasore nëse i referohemi sistemit kartezyan, prandaj zgjedhja e tipit të sistemit koordinativ të përdorur është mjaft e rëndësishme.

1.10 Analiza diferenciale e rrjedhjes së fluidit

Ekuacionet e ruajtjes së masës (ekuacioni i vazhdueshmërisë) dhe ligji i II-të i Njutonit (ekuacionet e Navier Stokes-it) aplikohen në secilën pikë të rrjedhjes së fluidit dhe në këtë mënyrë mund të zgjidhen të gjitha detajet e rrjedhjes në të gjithë fushën e zgjidhjes. Por, shumica e ekuacioneve diferenciale në mekaniken e fluideve janë shumë të vështira për tu zgjidhur dhe shpesh na nevojitet ndihma e kompjuterit, duke përdorur zgjidhjen numerike.

1.10.1 Rasti i veçantë i ekuacionit të vazhdueshmërisë

Nëse rrjedhja konsiderohet e pangjeshme, densiteti mbetet i pandryshuar dhe nuk është funksion i kohës. Kështu që termi $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ dhe ρ mund të nxirret jashtë nga operatori i divergjencës. Ekuacioni i vazhdueshmërisë për rrjedhjen e pangjeshme jepet:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (1.23)$$

Ekuacioni i vazhdueshmërisë për rrjedhjen e pangjeshme në koordinata kartezyane jepet:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (1.24)$$

Në koordinata cilindrike ekuacioni do të ketë këtë formë:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(u_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(u_z)}{\partial z} = 0 \quad (1.25)$$

1.10.2 Ekuacioni diferencial i momentit linear

Nga aplikimi i teoremës së transportit të Reynolds-it, marrim shprehjen e përgjithshme e ekuacionit të momentit linear të aplikuar në një vëllim kontrolli:

$$\sum \vec{F} = \int_{VK} \rho \vec{g} d\Omega + \int_{SK} \sigma_{ij} \cdot \vec{n} dA = \int_{VK} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) d\Omega + \int_{SK} (\rho \vec{V}) \vec{V} \cdot \vec{n} dA \quad (1.26)$$

Ku termi σ_{ij} është tenzori i sforcimeve. Komponentët pozitive të tenzorit të sforcimeve janë treguar në figurën 1.5 për një vëllim kontrolli elementar.

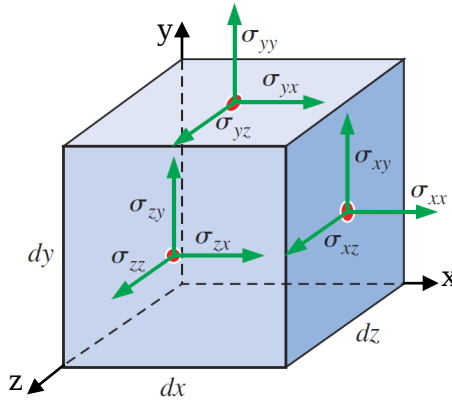


Figura 1. 5 Komponentët pozitive të tenzorit të sforcimeve (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].

Ekuacioni (1.26) aplikohet për rastet vëllimit të kontrollit të lëvizshëm dhe të pa lëvizshëm.

1.10.3 Përdorimi i teoremës së divergjencës

Mënyra me direkte për të përfutur formën diferenciale të ekuacionit të momentit është aplikimi i teoremës së divergjencës, në ekuacionin e ruajtjes së momentit (1.5):

$$\int_{SK} (\rho \vec{V}) \vec{V} \cdot \vec{n} dS = \int_{VK} \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) d\Omega \quad (1.27)$$

Dy integralet sipërfaqësore të ekuacionit (1.26) bëhen integrale vëllimore dhe duke e aplikuar në ekuacionin (1.27) përftohet ekuacioni i mëposhtëm:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = \rho \vec{g} + \vec{\nabla} \cdot \sigma_{ij} \quad (1.28)$$

i quajtur ekuacioni diferencial i përgjithshëm i momentit linear, i njohur si ekuacioni i Cauchy-it. Ekuacioni (1.28) ka marrë emrin në nder të inxhinierit dhe matematikanit francez Augustin Louis de **Cauchy** (1789–1857).

1.10.4 Zbatimi i ligjit të dytë të Njutonit

Nxitimi i pjesës elementare të fluidit është $\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt}$. Nga ligji i II-të i Njutonit i aplikuar në pjesën elementare të fluidit do të kemi:

$$\sum F = m\vec{a} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho dx dy dz \frac{d\vec{V}}{dt} \quad (1.29)$$

Pas zëvendësimeve në ekuacionin (1.26) dhe pjesëtojmë me $dx dy dz$, marrim ekuacionin e Cauchy-s.

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho \vec{g} + \vec{\nabla} \sigma_{ij} \quad (1.30)$$

Duhet të jemi të kujdesshëm në zgjerimin e termit të fundit të ekuacionit (1.30), i cili është divergjenca e një tensori të rendit të dytë. Në koordinata karteziante, të tre komponentët e ekuacionit Cauchy-s janë:

$$\text{komponenti } x: \rho \frac{du_x}{dt} = \rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \quad (1.31)$$

$$\text{komponenti } y: \rho \frac{du_y}{dt} = \rho g_y + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial z} \quad (1.32)$$

$$\text{komponenti } z: \rho \frac{du_z}{dt} = \rho g_z + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \quad (1.33)$$

Në përfundim mund të themi se me anë të ekuacionit të Cauchy-s nuk mund të zgjidhim asnjë problem të mekanikës fluide, për shkak se tenzori i sforcimeve shprehet në terma primare të panjohur të problemit si p.sh densiteti, shpejtësia dhe presioni.

1.10.5 Ekuacionet i Navier-Stokes-it

Ekuacioni i Cauchy-it nuk është shumë i përdorshëm, sepse tenzori i sforcimeve përmban 9 komponentë, nga të cilat 6 janë të pavarura (për shkak të simetrisë). Kështu që, përveç densitetit dhe tre komponentëve të shpejtësisë, gjithsej kemi 10 të panjohura. Në koordinata karteziante të panjohurat janë: $\rho, u_x, u_y, u_z, \sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zz}$. Ndërkohë kemi në

dispozicion vetëm 4 ekuacione deri më tani (ekuacioni i vazhdueshmërisë dhe 3 ekuacionet e Cauchy-it), dhe për të zgjidhur matematikisht çdo problem duhet që numri i të panjohurave të jete i njëjtë me numrin e ekuacioneve, kështu që na nevojiten edhe 6 ekuacione të tjera. Këto ekuacione quhen “ekuacionet përbërëse”. Këto ekuacione na japin mundësinë e shprehjes së termave të tenzorit të sforcimeve në funksion të fushës së shpejtësisë dhe presionit. Hapi i parë që merret është ndarja e sforcimeve nga presioni dhe sforcimet viskoze. Kur fluidi është në qetësi, i vetmi sforcim që vepron në çdo pikë të sipërfaqes është presioni hidrostatik P , i cili gjithmonë vepron nga brenda dhe normal me sipërfaqen.

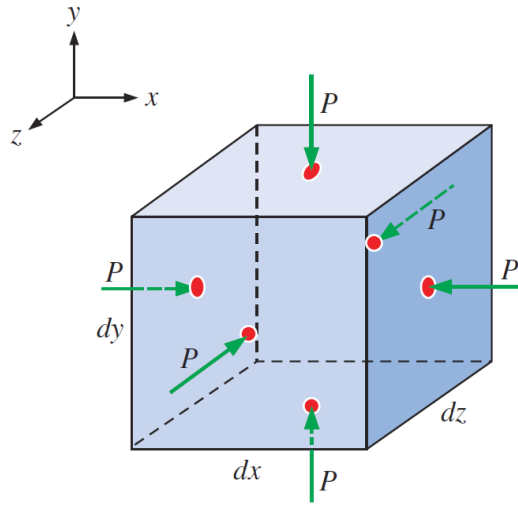


Figura 1. 6 Presioni hidrostatik që vepron në fluidin në qetësi (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].

Referuar sistemit kartezian të fluidit në qetësi tenzori i sforcimeve reduktohet në formën:

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} \quad (1.34)$$

Presioni hidrostatik në ekuacionin (1.34) është i njëjtë si presioni termodinamik, i cili është i lidhur me temperaturën dhe densitetin sipas ekuacionit të gjendjes.

Kur fluidi është në lëvizje, presioni vepron sërish nga brenda dhe normal me sipërfaqen por sforcimet viskoze janë të pranishme. Për fluidin në lëvizje do të kemi:

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} \quad (1.35)$$

Termi τ_{ij} emërtohet tenzori i sforcimeve viskoze. Matematikisht nuk kemi përfituar gjë pasi kemi zëvendësuar 6 të panjohura σ_{ij} me 6 të panjohura τ_{ij} dhe një të panjohur P . Sidoqoftë, ka ekuacione ndihmëse të cilat shprehin τ_{ij} në termat e fushës së shpejtësisë dhe me

karakteristika të matshme të fluidit si p.sh viskoziteti. Nëse fluidi është i pangjeshëm, nuk kemi ekuacion gjendje pasi densiteti është konstant dhe në këtë rast nuk mund të përcaktohet presioni termodinamik p . Në këtë rast përcaktohet presioni mekanik me formën si më poshtë:

$$P_m = -\frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}) \quad (1.36)$$

Për rrjedhjet të konsideruara si izotermike, ku ndryshimet e temperaturës janë shumë të vogla dhe të pa përfillshme, kjo eliminon nevojën e ekuacionit diferencial të energjisë. Gjithashtu, karakteristikat e fluidit si viskoziteti dinamik μ dhe viskoziteti kinematik ν janë gjithashtu konstante. Me këto supozime tenzori i sforcimeve viskoze reduktohet në formën:

$$\tau_{ij} = 2\mu\varepsilon_{ij} \quad (1.37)$$

Ku ε_{ij} është tenzori i shkallës së tërheqjes. Ekuacioni (1.36) tregon se sforcimet janë proporcional linear me tërheqjen. Në koordinata karteziante tenzori i sforcimeve viskoze ka formën e mëposhtme,

$$\tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} & \mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) & \mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) & 2\mu \frac{\partial u_y}{\partial y} & \mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) & \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) & 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (1.38)$$

Në koordinata karteziante tenzori i sforcimeve merr formën:

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} & \mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) & \mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) & 2\mu \frac{\partial u_y}{\partial y} & \mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) & \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) & 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (1.39)$$

Tek ekuacioni (1.39) zëvendësojmë termat tek ekuacioni Cauchy-it (1.31), (1.31) dhe (1.32) dhe për komponenten sipas x do të kemi:

$$\rho \frac{du_x}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + 2\mu \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) + \mu \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) \quad (1.40)$$

Pjesa e parë e ekuacionit diferencial mund të shkruhet:

$$\mu \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} \right) = \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \quad (1.41)$$

Pas disa transformimesh të termit viskoz do të kemi formën:

$$\rho \frac{du_x}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left[\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] \quad (1.42)$$

$$\rho \frac{du_x}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] \quad (1.43)$$

Termi në kllapa nga ekuacioni i vazhdueshmërisë (1.24) për rrjedhjen e pangjeshme është zero. Tre termat e fundit janë komponentët e Laplas-it të shpejtësisë në koordinatat karteziene, kështu forma përfundimtare e ekuacionit të momentit për komponenten x jepet:

$$\rho \frac{du_x}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \nabla^2 u_x \quad (1.44)$$

Në të njëjtën formë përftojmë edhe komponentët y dhe z:

$$\rho \frac{du_y}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \nabla^2 u_y \quad (1.45)$$

$$\rho \frac{du_z}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \nabla^2 u_z \quad (1.46)$$

Përfundimisht, kombinimi i tre komponentëve në një ekuacion të vetëm do ta quajmë “Ekuacioni i Navier-Stokes-it” për rrjedhjen e pangjeshme dhe me viskozitet konstant.

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = -\vec{\nabla} P + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (1.47)$$

Ky ekuacion i famshëm ka marrë emrin në nder të inxhinierit francez Louis Marie Henri **Navier** (1785–1836) dhe matematikanit anglez George Gabriel **Stokes** (1819–1903), të cilët të dy punuan në mënyrë të pavarur në zhvillimin e termit viskoz.

Ekuacioni i Navier-Stokes-it është themeli i mekanikës së fluideve. Në dukje i thjeshtë, por është jo i qëndrueshëm, jo linear, i rendit të dytë dhe ekuacion me diferencial të pjesshëm. Në fakt, shumë studiues kanë shpenzuar të gjithë karrierën e tyre duke u përpjekur të zgjidhin ekuacionin e Navier-Stokes-it. Ekuacioni (1.45) ka katër të panjohura (3 komponentë të shpejtësisë dhe presionin) edhe pse ka vetëm 3 ekuacione. Kështu që na duhet një tjetër ekuacion në mënyrë që problemi të këtë zgjidhje. Ekuacioni i katërt është ekuacioni i vazhdueshmërisë i rrjedhjes pangjeshme. Përpara së të zgjidhim këtë grup ekuacionesh diferenciale, duhet të zgjedhim një sistem koordinativ.

1.10.6 Ekuacionet e vazhdueshmërisë dhe Navier-Stokes-it në sistemin kartezi

Ekuacioni i vazhdueshmërisë (1.24) dhe ekuacioni i Navier-Stokes-it sipas sistemit kartezi:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (1.48)$$

Komponentja sipas x e ekuacionit të Navier-Stokes-it për rrjedhjen e pangjeshme:

$$\rho \left(\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) \quad (1.49)$$

Komponentja sipas y e ekuacionit të Navier-Stokes-it për rrjedhjen e pangjeshme:

$$\rho \left(\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) \quad (1.50)$$

Komponentja sipas z e ekuacionit të Navier-Stokes-it për rrjedhjen e pangjeshme:

$$\rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) \quad (1.51)$$

1.10.7 Ekuacionet e vazhdueshmërisë dhe Navier-Stokes-it në sistemin koordinativ cilindrik

Ekuacioni i vazhdueshmërisë (1.24) dhe ekuacioni i Navier-Stokes-it sipas sistemit cilindrik:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(ru_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (1.52)$$

Komponentja sipas r e ekuacionit të Navier-Stokes-it për rrjedhjen e pangjeshme:

$$\rho \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} - \frac{u_\theta^2}{r} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) - \frac{u_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] \quad (1.53)$$

Komponentja sipas θ e ekuacionit të Navier-Stokes-it për rrjedhjen e pangjeshme:

$$\rho \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} - \frac{u_r u_\theta}{r} + u_z \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \rho g_\theta + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} \right) - \frac{u_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] \quad (1.54)$$

Komponentja sipas z e ekuacionit të Navier-Stokes-it për rrjedhjen e pangjeshme:

$$\rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] \quad (1.55)$$

KAPITULLI II

Karkasa spirale

2.1 Hyrje

Karkasa spirale shërben për drejtimin e rrymës që del nga rrota e punës dhe për transformimin e pjesshem të presionit dinamik të rrymës në presion statik. Për të kuptuar bashkëveprimin e karkasës spirale, do të shqyrtojmë një rrjedhje të thjeshtë simetrike përkundrejt aksit të rotorit. Për rastet e mureve anësore paralele, vija e rrjedhjes përshkon një rrugë sipas një spiraleje logaritmike. Për një pikë që ndodhet jashtë rrezes së jashtme të rotorit r_2 , me një rreze r dhe me shpejtësi periferike c_u , nisur nga kushti i ruajtjes së momentit duhet të sigurohet $rc_u = konst$. Në praktikë ky rregull është i vlefshëm me kushtin që vija e rrjedhjes të ndodhet larg mjaftueshëm nga rotor, në mënyrë që shmangiet e shkaktuara nga numri i fundëm i lopatave mund të neglizhohet. Ky rregull përbën bazën e projektimit të karkasës në rastet kur fërkimi nuk merret parasysh [5].

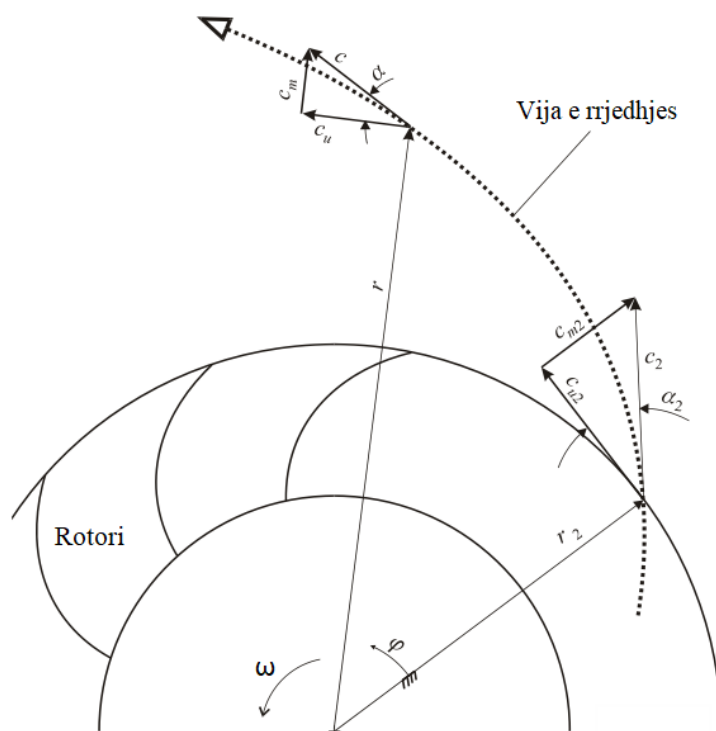


Figura 2. 1 Vija e rrjedhjes në dalje të rotorit të ventilatorit centrifugal (Carolus 2013)[7]

2.2 Ndërtimi i karkasës spirale

Për format e përgjithshme është e mundur që profili i karkasës të llogaritet matematikisht. Në rastet kur kjo nuk është e mundur, përdoret metoda grafike.

2.2.1 Muret anësore paralele me gjerësi të njëjtë ($B = b_2$)

Metoda e qarkullimit të vazhdueshëm, është një metodë për të ndërtuar spiralen logaritmike të karkasës, duke u bazuar në ligjin e ruajtjes së momentit. Në praktikë ky rregull është i vlefshëm në rastet kur spiralja është e distancuar nga rotorin në mënyrë që luhatjet e prurjes të shkaktuara nga prania e një numri të fundëm të lopatave të neglizhohet. Ky rregull përbën bazën e ndërtimit të karkasës në rastet e mungesës së fërkimit.

Shpejtësia c në një pikë të çfarëdoshme mund të llogaritet nga komponentët c_u dhe c_m .

$$r \cdot c_u = r_2 \cdot c_{u2} \rightarrow c_u = c_{u2} \cdot (r_2 / r) \quad (2.1)$$

Nga ekuacioni i vazhdueshmërisë marrim relacionin

$$\dot{V} = 2\pi \cdot r_2 \cdot b_2 \cdot c_{m2} = 2\pi \cdot r \cdot B \cdot c_m \quad (2.2)$$

Nga ku mund të nxjerrim

$$r_2 \cdot b_2 \cdot c_{m2} = r \cdot B \cdot c_m \quad (2.3)$$

Nga kjo përftojmë drejtimin α të rrjedhjes:

$$\tan(\alpha) = \frac{c_m}{c_u} = \frac{c_{m2}}{c_{u2}} \quad (2.4)$$

Që do të thotë se këndi i spirales është konstant sepse:

$$\tan(\alpha) = \tan(\alpha_0) = \frac{dr}{r d\varphi} = \frac{c_m}{c_u} \quad (2.5)$$

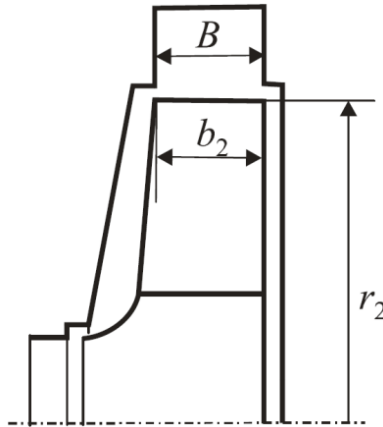


Figura 2. 2 Karkasa spirale me muret anësore paralele ($B = b_2$) (Eck 1973[5]; Carolus 2013[7])

Kështu përftohet ekuacioni

$$\ln \frac{r}{r_2} = \varphi \tan(\alpha_2) = \varphi \frac{c_{m2}}{c_{u2}} \quad (2.6)$$

Ky është ekuacioni i spirales logaritmike, e cila mund të supozohet të jetë pjesa e jashtme e karkasës spirale.

2.2.2 Muret anësore paralele me gjerësi të ndryshme ($B \neq b_2$)

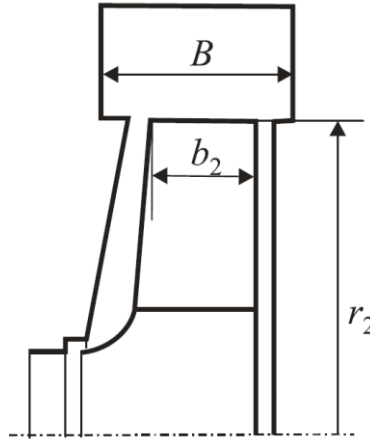


Figura 2. 3 Karkasa spirale me muret anësore paralele ($B \neq b_2$) (Eck 1973; Carolus 2013)[5][7]

Kjo është forma më e përdorshme në ventilatorët centrifugalë. Përlllogaritja e spirales logaritmike është e thjeshtë edhe për këtë rast. Nëse pranojmë gjerësinë e karkasës B , atëherë për seksionin cilindrik r ekuacioni i vazhdueshmërisë do të shkruhej:

$$\dot{V} = 2\pi \cdot r_2 \cdot b_2 \cdot c_{m2} = 2\pi \cdot r \cdot B \cdot c_m \quad (2.7)$$

Prej këtij marrim:

$$c_m = c_{m2} \frac{r_2}{r} \frac{b_2}{B} \quad (2.8)$$

I njëjti rregull është i vlefshëm si në rastin e parë edhe për vlerësimin e komponentes tangenciale:

$$c_u = c_{u2} \frac{r_2}{r} \quad (2.9)$$

Nga këtu përftojmë këndin e pjerrësimit të vijës së rrjedhjes;

$$\tan(\alpha) = \frac{c_m}{c_u} = \frac{c_{m2}}{c_{u2}} = \tan(\alpha_2) \frac{b_2}{B} \quad (2.10)$$

Meqenëse përftojmë profilin e karkasës nga vija e rrjedhjes, atëherë kemi, $\tan(\alpha) = \frac{dr}{r d\varphi}$

$$\frac{dr}{r} = d\varphi \tan(\alpha) = d\varphi \tan(\alpha_2) \frac{b_2}{B} \quad (2.11)$$

Më tej do të kemi,

$$\ln \frac{r}{r_2} = \varphi \tan(\alpha_2) \frac{b_2}{B} = \varphi \frac{c_{m2}}{c_{m2}} \frac{b_2}{B} \quad (2.12)$$

Kështu, trajektorja e grimcave të fluidit në karkasë është si me poshtë (Carolus 2013)[7]:

$$r_{(\varphi)} = r_2 e^{\varphi \tan(\alpha)} = r_2 e^{\varphi \tan(\alpha_2) \frac{b_2}{B}} \quad (2.13)$$

I vetmi ndryshim midis rastit me gjerësi të njëjtë midis lopatave dhe karkasës dhe rastit kur këto janë të ndryshme është pikërisht faktori $\frac{b_2}{B}$.

$r_{(\varphi)}$, është rrezja e volutës në këndin φ ,

r_2 , është rrezja e jashtme e lopatës

α , është këndi midis shpejtësisë absolute dhe asaj periferike

b_2 , është gjerësia e lopatave në dalje të ventilatorit

B , është gjerësia e karkasës

Parametrat gjeometrike të karkasës spirale si edhe vlerat e mundshme që mund të marrin këto parametra, janë treguar në figurën 2.4.

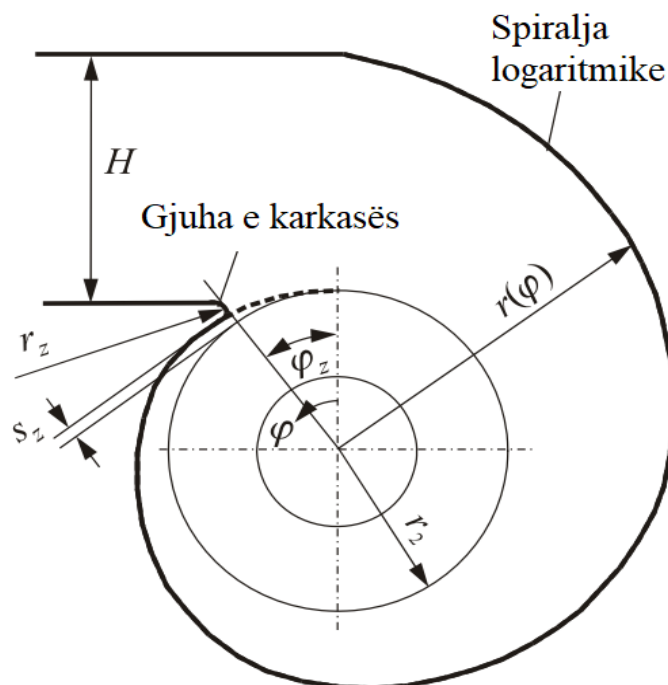


Figura 2. 4 Parametrat gjeometrike të karkasës spirale (Carolus 2013)[7]

Tabela Nr. 2 Parametrat gjeometrike të karkasave të ventilatorëve me lopata të kthyera mbrapa (Carolus 2013[7]; Bommes 2003[26]; Lehfeldt et al. 2014[27]).

B	s_z	r_z	φ_z
$2 \div 4 \cdot b_2$	$0,125 \div 0,167 \cdot D_2$	$(0,025 \div 0,05) D_2$	35°
$2 \div 3 \cdot b_2$	$0,125 \div 0,167 \cdot D_2$		$45^\circ \div 65^\circ$

Tabela Nr. 3 Parametrat gjeometrike të karkasave të ventilatorëve me lopata të kthyer para (Carolus 2013[7]; Bommes 2003[26]; Lehfeldt et al. 2014[27]).

B	α	s_z	r_z	φ_z
$1,2 \cdot b_2$	$10^\circ \div 20^\circ$	$0,08 \cdot D_2$	$0,05 \cdot D_2$	65°
$1,2 \div 1,5 \cdot b_2$	$5^\circ \div 7^\circ$	$0,08 \cdot D_2$	$0,05 \cdot D_2$	65°

B , është gjerësia e karkasës

α , është këndi midis shpejtësisë absolute dhe asaj periferike

s_z , hapësira e sigurisë midis rotorit dhe karkasës spirale

r_z , rrezja e gjuhës së karkasës

φ_z , këndi i gjuhës së karkasës

2.2.3 Metoda e spirales së Arkimedit

Ekuacioni i mëposhtëm do të na japë spiralen e Arkimedit:

$$r = r_2 + \frac{H}{2\pi} \varphi, H = \frac{Q}{B \cdot c_u} \quad (2.14)$$

Ku H - është hapja maksimale e spirales së karkasës.

Në realizimin praktik të karkasës spirale, për sigurimin e grykës së saj të daljes kur $\varphi > 2\pi$, spiralja zëvendësohet me një vijë të drejtë, ndërsa në anën tjetër të grykës së daljes realizohet e ashtuquajtura “gjuha” e karkasës spirale. “Gjuha” e ndan në dy pjesë rrymën që vjen nga rotorit: një pjesë del direkt në grykën e daljes, ndërsa pjesa tjetër, para se të dalë në grykën e daljes, duhet të qarkullojë në rotor (H. Agolli, Gj. File, F. Bidaj, 2008)[8].

Karkasa spirale e projektuar sipas kësaj metode, limiton përmasat radiale të ventilatorit, ku nga eksperiencia tregohet se kjo lloj karkase është e përshtatshme për ventilatorë me shpejtësi specifike të ulta dhe mesatare.

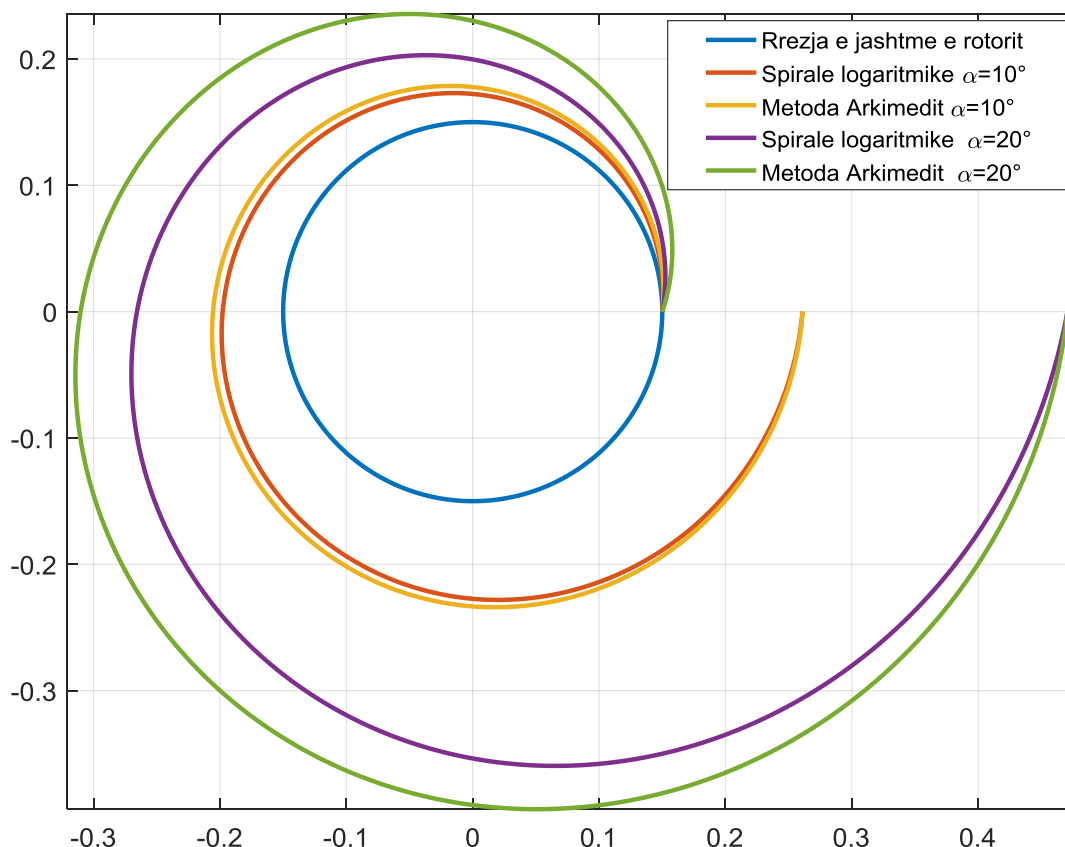


Figura 2. 5 Karkasa sipas spirales logaritmike dhe spirales së Arkimedit

2.2.4 Metoda e shpejtësisë mesatare

Për të përcaktuar hapjen maksimale të karkasës, duhet të përcaktojmë komponenten tangenciale mesatare të shpejtësisë absolute në fundin e karkasës, pasi është përcaktuar gjerësia e karkasës B, (Lv et al. 2016)[9].

$$H = \frac{Q}{B \cdot c_u} \quad (2.15)$$

Pasi është përcaktuar hapja maksimale, përcaktohet hapja edhe për çdo seksion tjetër (nëse pranojmë 8 vlera, do të kemi edhe 7 seksione të tjera). Ndërtojmë lakore mbi këto 8 pika dhe përftohet forma e karkasës. Metoda e shpejtësisë mesatare pranon se gazi brenda në karkasë i nënshtrohet ligjit të ruajtjes së momentit. Projektimi i karkasës me këtë metodë është më i besueshëm dhe metoda e llogaritjeve është e thjeshtë.

2.2.5 Metoda e katrorëve të strukturuar

Në qendrën e rotorit të ventilatorit centrifugal ndërtojmë një katror me gjatësi të katetit $h=H/4$. Secili kulm i këtij katrori do të shërbejë si qendër e kurbaturës së rathëve të hequr.

Ndërtojmë lakoret e karkasës, duke përcaktuar rrezet e kurbaturave për secilën prej katër pjesëve me rrezet respektive. Në këtë mënyrë përftohet vija spirale e karkasës.

$$R_a = R_2 + 3.5a; R_b = R_2 + 2.5a; R_c = R_2 + 1.5a; R_d = R_2 + 0.5a \quad (2.16)$$

Vijat e ndërtuara sipas kësaj metode kanë një shmangie të krahasuar me spiralen logaritmike. Nëse shpejtësia specifike është e lartë edhe diferenca midis ketyre metodave është me e madhe. Vlerën e hapjes maksimale mund të llogaritet nëpërmjet ekuacioneve:

$$H = R_2 \cdot (e^{H\phi} - 1) \quad (2.17)$$

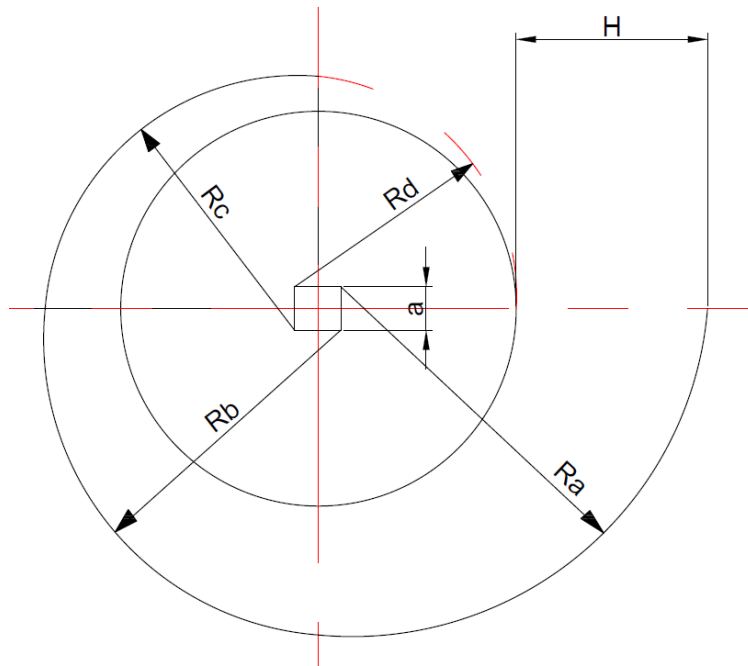


Figura 2. 6 Ndërtimi i karkasës me metodën e katrorëve të strukturuar (Lv et al. 2012)[10]

2.2.6 Metoda e katrorëve të pastrukturuar

Në praktikën inxhinierike, zakonisht përdoret metoda e katrorëve të pastrukturuar për të ndërtuar karkasën (Lv et al. 2016)[9]. Vlera maksimale e hapjes llogaritet duke përdorur ekuacionin (2.17). Gjatësia e brinjëve të katrorëve do të jenë sipas ekuacionit të mëposhtëm:

$$a = \frac{1}{2}[H_{2\pi} - H_{3\pi/2}], b = \frac{1}{2}[H_{3\pi/2} - H_{\pi}], c = \frac{1}{2}[H_{\pi} - H_{\pi/2}], d = \frac{1}{2}H_{\pi/2} \quad (2.18)$$

Rrezet e kurbaturës së rrathëve do të jenë sipas ekuacionit të mëposhtëm:

$$R_a = R_2 + H_{2\pi} - a, R_b = R_2 + H_{3\pi/2} - b, R_c = R_2 + H_{\pi} - c, R_d = R_2 + H_{\pi/2} - d \quad (2.19)$$

Kjo metodë është e përafërt me spiralen logaritmike dhe karkasa e ndërtuar me këtë metodë është 10% më e vogël krahasuar me metodën e katrorëve të strukturuar.

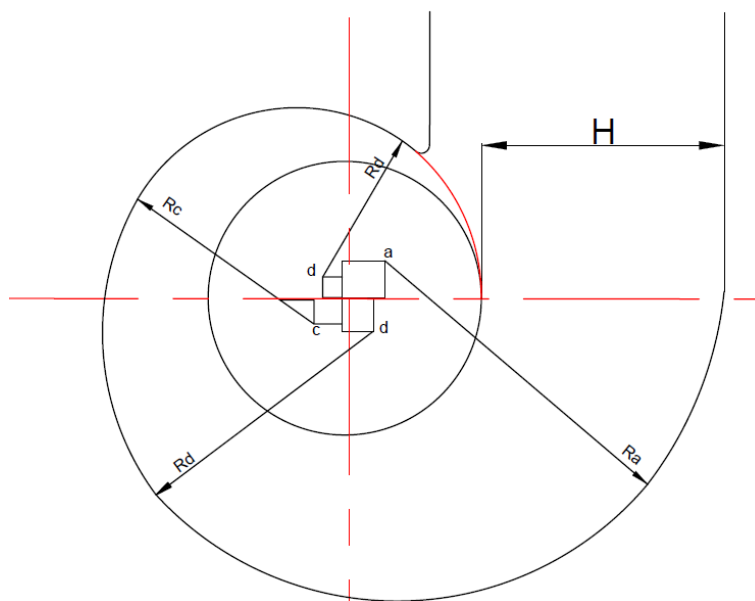


Figura 2. 7 Ndërtimi i karkasës me metodën e katrorëve të pastrukturuar (Lv et al. 2012)[10]

2.3 Ndikimi i fërkimit tek karkasat

Në çdo karkasë, fërkimi midis fluidit dhe mureve rrethuese shkakton humbje. Këto humbje do të reflektohen në rënie të presionit në drejtimin e rrjedhjes. Kjo do të thotë se rënia e presionit do të ndodhë direkt në origjinën e karkasës, p.sh direkt në dalje të lopatës së ventilatorit. Megjithatë projektimi i karkasës është bërë në atë mënyrë që presioni statik mund të qëndrojë i pandryshuar përgjatë gjithë pjesës periferike të lopatave. Përveç humbjeve të presionit do të kemi edhe luhatje të presionit tek lopatat punuese. Këto luhatje do të ndodhin në mënyrë ciklike dhe kështu do të shkaktojë një rrjedhje të paqëndrueshme përgjatë lopatave. Kështu, mund të pranojmë që humbjet në lopata do të rriten. Fërkimi në karkasë do të ketë dy efekte,

- Humbjet e ngarkesës si pasojë e fërkimit në karkasë,
- Reduktimin e prurjes përgjatë lopatave e cila si pasojë krijon një presion statik jo të qëndrueshëm në pjesën periferike të lopatave

Mund të demonstrohet se reduktimi i prodhimit të përgjatë lopatave mund të rifitohet duke rritur pak seksionin tërthor të karkasës (volutës), e cila na çon në projektimin e një forme konike të difuzorit.

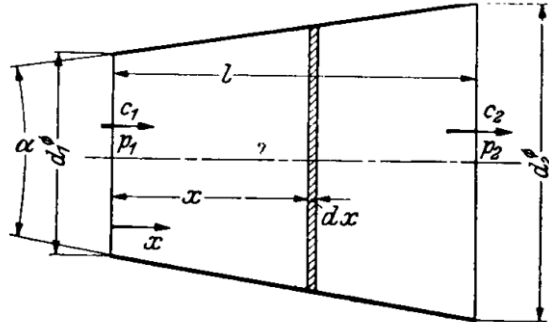


Figura 2. 8 Difuzori në formë konike (Eck 1973)[5]

$$c_1 d_1^2 = c_2 d_2^2 = c d^2 \rightarrow c = c_1 \left(\frac{d_1}{d} \right)^2 \text{ dhe } d = d_1 + 2x \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Rënia e presionit përgjatë dx është: $dH_r = \lambda \frac{c^2}{2g} \frac{dx}{d}$,

$$\text{nga ku përftojmë: } H_r = \frac{\lambda c_1^2 d_1^4}{2g} \frac{1}{8 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(\frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4} \right)$$

Rënia e presionit e shkaktuar nga fërkimi, do të kompensohet nga rikuperimi i presionit të krijuar si pasojë e rritjes së sipërfaqes tërthore të difuzorit. Kjo shpjegohet duke u bazuar tek ekuacioni i Bernoulli-t,

$$\frac{p_2}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g} = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} = \Delta H \quad (2.20)$$

$$\Delta H = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} = \frac{c_1^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 \right] \quad (2.21)$$

$$H_r = \frac{\lambda c_1^2 d_1^4}{2g} \frac{1}{8 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(\frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4} \right) \quad (2.22)$$

Nëse do të barazojmë H_r dhe ΔH do të kemi $\tan(\alpha/2) = \lambda/8$. Për kënde të vogla $\tan(\alpha) \approx \alpha$ kështu që $\alpha = \lambda/4$. P.sh, për vlerë të $\lambda = 0.04$ këndi i difuzorit bëhet $\alpha = (0.04/4)(180/\pi) = 0.573^\circ$, pra afërsisht 0.5° . Llogaritja është e vlefshme vetëm për kënde të vogla të difuzorit (deri në 8°) meqenëse rritja e koeficientit të fërkimit është e konsiderueshme për kënde të mëdha. Kështu ne mund të projektojmë shkallën e rënies së presionit të shkaktuar nga fërkimi në karkasë, proporcionale me rritjen e seksionit tërthor në mënyrë që presioni përgjatë rotorit të mbetet i pa ndryshuar.

2.4 Humbjet në karkasë

Studimet mbi ventilatorët centrifugale me eficiencë të lartë kanë treguar që humbjet mund të mbahen në nivele shumë të ulta edhe për një karkasë në formë drejtkëndore nëse ajo është e projektuar saktësisht në përputhje me ligjet e sipërfaqeve (R.K. Turton 1995[11]; Dick 2015[12]). Meqenëse problemi i humbjeve reflektohet me humbjet e shpejtësive, duhet të merren parasysh edhe humbjet në difuzor. Nëse shpejtësia në hyrje të karkasës është c_2 dhe shpejtësia në dalje c_3 , humbjet në difuzor janë:

$$\Delta p_1 = \xi \frac{\rho}{2} [c_3^2 - c_2^2] \quad (2.23)$$

Në shumicën e ventilatorëve gjerësia e karkasës B është me e madhe se gjerësia e rotorit në dalje b_2 . Shpejtësia radiale (meridionale) c_{m2} do të ndryshojë $c_{m3} = c_{m2} \frac{b_2}{B}$. Kjo do të shkaktojë humbje nga goditjet, të cilat do të rriten me rritjen e gjerësisë.

$$\Delta p_2 = \frac{\rho}{2} (c_{m2}^2 - c_{m3}^2) = \frac{\rho}{2} c_{m2}^2 \left[1 - \left(\frac{b}{B} \right)^2 \right] \quad (2.24)$$

Sipas Broecker këto humbje mund të shprehen lehtë nga ekuacioni $\Delta p_{Tot} = \frac{\rho}{2} c_{m2}^2$. Kjo do të thotë që humbjet duhet të konsiderohen si presion dinamik i krijuar nga komponentja radiale (meridionale) në hyrje c_{m2} në difuzor. Nëse do të shprehim koeficientin total të humbjeve të presionit me presionin dinamik në shpejtësisë në hyrje të karkasës c_2 do të kemi:

$$\Delta p_{Tot} = \zeta \frac{\rho}{2} c_{m2}^2, \quad \zeta = \frac{\Delta p_{Tot}}{\frac{\rho}{2} c_{m2}^2} = \frac{\frac{\rho}{2} c_2^2}{\frac{\rho}{2} c_{m2}^2} = \left(\frac{c_2}{c_{m2}} \right)^2 = \sin(\alpha_2) \quad (2.25)$$

Është gjithashtu e favorshme që të mbajmë këndin e hyrjes së rrymës në karkasë në vlerë sa më të vogël të mundshme. Pyetja shtrohet sesa është vlera maksimale që mund të pranohet. Sipas Broecker,

$$\frac{B}{b_2} = \frac{\alpha_2}{6} \quad (2.26)$$

ku B është gjerësia e karkasës, b_2 është gjerësia e rotorit në dalje, α_2 është këndi i rrymës në hyrje të karkasës. Kjo formulë është e vlefshme deri në këndin 45° .

2.5 Performanca e karkasës spirale

Performanca e karkasës ndikohet nga një sërë parametrash gjeometrike referuar (E. Ayder R. Van den Braembussche 1993[13]; Pan et al. 1999[14]):

- Sipërfaqja e prerjes tërthore
- Forma e prerjes tërthore
- Pozicioni radial i prerjes tërthore
- Pozicionimi i rotorit të ventilatorit
- Dhe gjeometria e “gjuhës” së karkasës

Ky studim do të fokusohet vetëm në formën drejtkëndore të karkasës spirale, pasi fusha e përdorimit të këtyre ventilatorëve është shumë e gjerë dhe avantazhi kryesor lidhet me koston e ulët të prodhimit. Nëse do ti referohemi ndryshimit të presionit statik/total për të gjithë njësinë do të kemi:

$$\Delta p_{ts} = (p_{t3} - p_{t1}) - \frac{\rho}{2} c_3^2 = p_3 - p_1 - \frac{\rho}{2} c_1^2 \quad (2.27)$$

$$\Delta p_{tt} = p_{t3} - p_{t1} \quad (2.28)$$

- 1, Do ti referohemi parametrave në hyrje të rotorit të ventilatorit
- 2, Do ti referohemi parametrave në dalje të ventilatorit, në hyrje të karkasës
- 3, Do ti referohemi parametrave në dalje të karkasës.

Studimi i performancës së karkasës do të bëhet nëpërmjet këtyre koeficienteve:

- a) Shkalla e reagimit të kaskadës së lopatave të ventilatorit

$$R = \frac{p_2 - p_1}{p_{t2} - p_{t1}} \quad (2.29)$$

Ky koeficient është në funksion të tipit të rotorit të ventilatorit. Meqenëse studimi bazohet në modele fikse të rotorëve, ky koeficient është i pandryshueshëm për secilin tip rotor.

- b) Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë (Baloni et al. 2012)[15].

$$K_p = \frac{p_{t2} - p_{t3}}{p_{t2} - p_2} = \frac{p_{t2} - p_{t3}}{\frac{\rho}{2} c_2^2} \quad (2.30)$$

K_p , është raporti i humbjeve totale të presionit në karkasë me presionin dinamik në dalje të rotorit të ventilatorit.

- c) Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë (Baloni et al. 2012)[15].

$$C_p = \frac{p_3 - p_2}{p_{t2} - p_2} = \frac{p_3 - p_2}{\frac{\rho}{2} c_2^2} \quad (2.31)$$

C_p , është raporti i presionit statik të rikuperuar në karkasë me presionin dinamik në dalje të rotorit të ventilatorit.

Nëse do të bënim zëvendësime në ekuacionin (2.30) do të merrnim një ekuacion në të cilin shprehim njëkohësisht, C_p , K_p dhe $\frac{c_3^2}{c_2^2}$:

$$p_{t3} = p_{t2} - K_p \frac{\rho}{2} c_2^2 \quad (2.32)$$

$$\left(p_3 + \frac{\rho}{2} c_3^2\right) - \left(p_2 + \frac{\rho}{2} c_2^2\right) = -K_p \frac{\rho}{2} c_2^2 \quad (2.33)$$

$$p_3 - p_2 = \frac{\rho}{2} (c_2^2 - c_3^2) - K_p \frac{\rho}{2} c_2^2 \quad (2.34)$$

$$\frac{p_3 - p_2}{\frac{\rho}{2} c_2^2} = \frac{\frac{\rho}{2} (c_2^2 - c_3^2) - K_p \frac{\rho}{2} c_2^2}{\frac{\rho}{2} c_2^2} \rightarrow C_p = \frac{\frac{\rho}{2} c_2^2}{\frac{\rho}{2} c_2^2} - \frac{\frac{\rho}{2} c_3^2}{\frac{\rho}{2} c_2^2} - \frac{K_p \frac{\rho}{2} c_2^2}{\frac{\rho}{2} c_2^2} \quad (2.35)$$

$$\rightarrow C_p = 1 - \frac{c_3^2}{c_2^2} - K_p \quad (2.36)$$

Me anë të ekuacionit (2.36) arrihet të kemi një relacion midis koeficientit rikuperimit të presionit statik dhe të koeficientit të humbjeve totale të presionit. Nga ekuacioni (2.27) do të kemi:

$$\Delta p_{ts} = p_3 - p_2 + p_2 - p_1 - \frac{\rho}{2} c_1^2 = C_p \frac{\rho}{2} c_2^2 + R \Delta p_{tt} - \frac{\rho}{2} c_1^2 \quad (2.37)$$

$$\Delta p_{ts} = R \Delta p_{tt} + C_p \frac{\rho}{2} c_2^2 - \frac{\rho}{2} c_1^2 \quad (2.38)$$

Nga ekuacioni (2.38) shohim së presioni statik/total është në funksion të rënies së presionit total me shkallën e reaksionit të lopatës (në rastin e studimit tonë, kjo vlerë është fikse dhe e pa ndryshuar), si edhe në funksion të koeficientit të rikuperimit statik të presionit dhe shpejtësisë në hyrje të ventilatorit. Për sa i përket shpejtësisë në dalje të karkasës c_3 , kjo është në funksion të parametrave gjeometrike të karkasës si (funksion i këndit të spirale logaritmike, gjerësia e karkasës, distanca e gjuhës, këndi i gjuhës etj.)

K_p do të llogaritet dhe është funksion i të gjithë parametrave gjeometrike, në këtë rast, vlera optimale e dëshiruar duhet të ketë një vlerë sa më të vogël të mundshme, në mënyrë që humbjet të jenë sa më të vogla.

$$K_{p_{opt}} = K_{p_{min}} = f\left(\alpha, \frac{B}{b_2}, \phi_z, \varphi_z, etj\right) \quad (2.39)$$

C_p do të llogaritet dhe është funksion i të gjithë parametrave gjeometrike, në këtë rast, vlera optimale e dëshiruar duhet të ketë një vlerë sa më të madhe të mundshme, në mënyrë që rikuperimi i presionit të jete sa më i madh.

$$C_{p_{opt}} = C_{p_{max}} = f\left(\alpha, \frac{B}{b_2}, \phi_z, \varphi_z, etj\right) \quad (2.40)$$

Rëniet e presionit të rotorit të ventilatorit do të jepet nëpërmjet ekuacionit (2.41):

$$\Delta p_{ts.rotor} = p_2 - p_{t1} = p_2 - p_1 - \frac{\rho}{2} c_1^2 \quad (2.41)$$

Ndërsa rëniet e presionit të gjithë ventilatorit do të jepet nëpërmjet ekuacionit (2.42):

$$\begin{aligned} \Delta p_{ts} &= p_3 - p_{t1} = p_3 - p_2 + p_2 - p_1 - \frac{\rho}{2} c_1^2 \\ &= C_p \frac{\rho}{2} c_2^2 + \Delta p_{ts.rotor} \end{aligned} \quad (2.42)$$

Ndërsa rendimenti i njësisë së ventilatorit do të jepet nëpërmjet ekuacionit (2.43):

$$\eta_{ts} = \frac{\Delta p_{ts} \dot{V}}{N_{bosht}} = \frac{C_p \frac{\rho}{2} c_2^2 \dot{V} + \Delta p_{ts.rotor} \dot{V}}{N_{bosht}} = \frac{C_p \frac{\rho}{2} c_2^2 \dot{V}}{N_{bosht}} + \eta_{ts.rotor} \quad (2.43)$$

2.6 Rritja e performancës së karkasës

Karkasa duhet të projektohet sipas rregullave të diskutuara me sipër, në mënyrë që të evitohen efektet negative mbi rotorin apo efekte të padëshirueshme në karkasë (Hariharan dhe Govardhan 2016)[16]. Gjithsesi për të rritur performancën e karkasës, mund të vendoset një difuzor shtesë si në figurën 2.9.

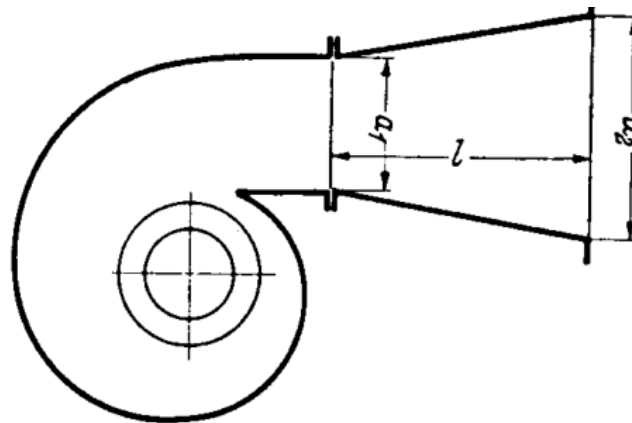


Figura 2. 9 Përmirësimi i karkasës spirale duke i shtuar difuzor në pjesën fundore (Eck 1973)[5]

Kjo do të reduktonte në mënyrë të vazhdueshme shpejtësinë e ajrit në dalje meqenëse sipërfaqja e seksionit tërthor rritet gradualisht. Difuzorë të ngjashëm, por me përmasa shumë të mëdha përdoren gjerësisht në sistemet e ventilimit të minierave. Kërkimet mbi difuzorët janë fokusuar në numra të vegjël të Reynolds-it. Kjo tregon se, në disa rrethana të caktuara është e këshillueshme rritja e menjëhershme e sipërfaqes pas një pjesë të shkurtër të rritjes konike. Është e këshillueshme që difuzori të vazhdojë deri në pikën ku rrjedhja ndahet. Për kënde të difuzorit $15 \div 20^\circ$ dhe me raport të sipërfaqeve 1:4, rendimenti varion nga 0.8-0.85 (Hariharan dhe Govardhan 2016)[16]. Sa më i lartë numri i Reynolds-it, aq më i vogël do të jetë këndi optimal i rritjes së difuzorit. Kështu që nëse këndi optimal do të jete $8 \div 9^\circ$, do të reduktohet deri në këndin 6° ose edhe 5.5° për numër shumë të lartë të Reynolds-it. Për të zvogëluar humbjet në difuzor, është e këshillueshme të vendosen lopata drejtuese në dalje.

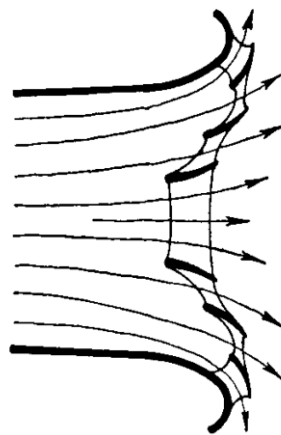


Figura 2. 10 Pjesa fundore e difuzorit me lopatat drejtuese (Eck 1973)[5]

2.7 Performanca teorike e difuzorit

Difuzori është një hundëz zgjerimi. Arsyeja kryesore e përdorimit të difuzorit shtesë në dalje është rikuperimi i presionit statik nga rrjedhja e fluidit duke reduktuar shpejtësinë. Fluidi zvogëlon shpejtësinë përgjatë kalimit në difuzor dhe një pjesë e energjisë kinetike të rrjedhjes shndërrohet në energji potenciale të presionit. Një difuzor efikas është ai, i cili është në gjendje të shndërrojë vlerën më të lartë të energjisë kinetike në presion për vlerë të caktuar të gjatësisë dhe shkallës së hapjes. Rrjedhja në difuzor është e qëndrueshme dhe e pangjeshme. Referuar ligjit të ruajtjes së masës për këtë vëllim kontrolli do të kemi: $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = konst$

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 \quad (2.44)$$

Shpejtësitë mesatare aksiale për një sipërfaqe të caktuar A do të shprehen:

$$U = \frac{1}{A} \int_A u dA \quad (2.45)$$

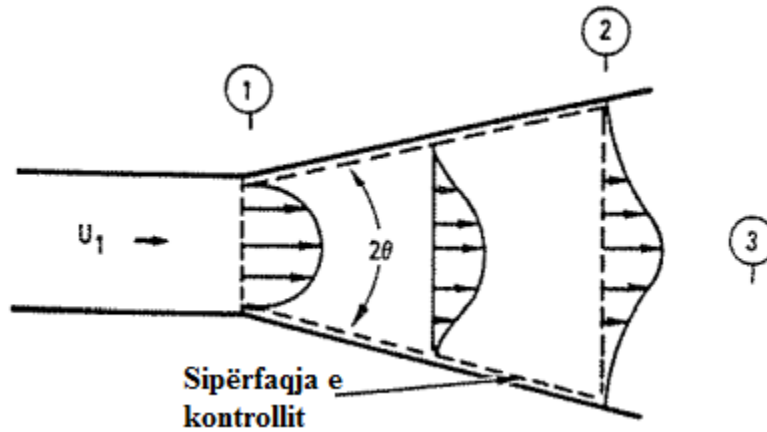


Figura 2. 11 Sipërfaqja e kontrollit për një difuzor me shkarkim të lirë (Eck 1973)[5]

Ligji i ruajtjes së energjisë për këtë vëllim kontrolli duke marrë punën në bosht dhe nxehtësinë e komunikuar zero ($\dot{Q} = \dot{W} = 0$) do të kemi:

$$\rho \int_{A_1} \left(u + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \right) \vec{v} \cdot \hat{n} dA = \rho \int_{A_2} \left(u + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \right) \vec{v} \cdot \hat{n} dA \quad (2.46)$$

Shpejtësia aksiale v do të variojë nga zero në muret e difuzorit deri në një vlerë maksimale në qendrën e tij. Kjo shpërndarje e shpejtësisë karakterizohet nga fluksi i energjisë kinetike, i cili ndryshon përgjatë aksit të difuzorit.

$$\alpha = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{v}{U} \right)^3 dA \quad (2.47)$$

α është shkalla e transportit të energjisë kinetike të fluidit përgjatë sipërfaqes së difuzorit A me vlerën më të vogël të mundshme të energjisë kinetike të fluidit për të njëjtën prurje në masë. Vlera minimale e fluksit të energjisë kinetike është 1, e cila i korrespondon një rrjedhjeje uniforme. Nëse vlera maksimale e shpejtësisë në dalje të difuzorit zvogëlohet atëherë dhe energjia kinetike në dalje zvogëlohet, duke iu referuar ligjit të ruajtjes së energjisë, kemi rritje të vlerës së presionit të rikuperuar. Kështu që, një rrjedhje sa më uniforme në dalje të difuzorit, do të sigurojë një vlerë të rikuperimit të presionit më të lartë. Rikuperimi i presionit të difuzorit është i lidhur ngushtë me profilin e shpejtësisë në hyrje dhe në dalje nëpërmjet parametrin α . Për rrjedhje uniforme, $v = U$ dhe $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, ekuacioni merr formën:

$$\frac{p_2 - p_1}{\frac{1}{2} \rho U_1^2} = \alpha_1 - \alpha_2 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 = 1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \quad (2.48)$$

Meqenëse difuzori zgjerohet, sipërfaqja e seksionit tërthor sipas drejtimit të rrjedhjes do të rritet si rrjedhim kemi rritjen e vlerës së presionit meqenëse zvogëlohet shpejtësia e rrjedhjes. Nga ekuacioni (2.48) vihet re se, vlera e presionit të rikuperuar do të rritet me rritjen e vlerës α_1 , duke rritur vlerën e shpejtësisë në hyrje, si dhe duke zvogëluar α_2 , ku rrjedhja në dalje pranohet uniforme. Fatkeqësisht, situata në kushte reale është e kundërt. Fërkimi viskoz në muret e difuzorit rrit vlerën e shpejtësisë në dalje dhe koeficienti α_2 rritet në funksion të α_1 .

2.8 Koeficienti i rikuperimit të presionit në difuzor

Rikuperimi faktik i presionit statik për rrjedhje në difuzor mund të përcaktohet eksperimentalisht sipas koeficientit më poshtë:

$$C_p = \frac{p_2 - p_1}{\frac{1}{2} \rho U_1^2} \quad (2.49)$$

p_1 dhe p_2 janë presionet statike në hyrje dhe në dalje të difuzorit.

Për një rrjedhje uniforme në hyrje dhe në dalje dhe pa marrë parasysh humbjet, koeficienti teorik i rikuperimit të presionit jepet sipas ekuacionit (2.48). Rendimenti i difuzorit mund të përcaktohet si raporti i koeficientit real të rikuperimit të presionit me atë teorik.

$$\eta = \frac{C_p}{1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2} \quad (2.50)$$

Koeficienti i humbjeve totale të presionit K_p mund të përcaktohet nga ndryshimi i presionit total në difuzor

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho U_1^2 - \left(p_2 + \frac{1}{2} \rho U_2^2 \right) = p_1 + \frac{1}{2} \rho U_1^2 K_p \quad (2.51)$$

Koeficienti i humbjeve dhe koeficienti i rikuperimit janë në funksion të njeri-tjetrit sipas ekuacionit më poshtë:

$$K_p = 1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - C_p \quad (2.52)$$

KAPITULLI III

Hyrje në fluidodinamikën kompjuterike CFD

3.1 Natyra e problemeve në dinamikën e fluideve

Ekuacionet e mekanikës së fluideve edhe pse janë të njohura prej më shumë se një shekulli, janë të zgjidhshme vetëm për një numër të kufizuar të rrjedhjeve. Zgjidhjet e njohura janë shumë të nevojshme për të kuptuar rrjedhjen por kurrsesi nuk mund të përdoren në analizat inxhinierike apo në projektim. Inxhinieret kanë qenë të detyruar të përdorin mënyra zgjidhjeje të tjera (Ferziger dhe Perić 2002).

Mënyra me e zakonshme është thjeshtëzimi i ekuacioneve të përdorura. Këto janë të bazuara në përafrime të ndryshme, si në analiza përmasore ose në të dhëna empirike. P.sh analiza përmasore tregon se forca e fërkimit në një objekt mund të paraqitet nëpërmjet ekuacionit:

$$F_D = C_D S \rho v^2 \quad (3.1)$$

Ku S është sipërfaqja ballore në drejtim të rrjedhjes, v është shpejtësia e rrjedhjes, ρ është densiteti i fluidit dhe C_D është koeficienti i fërkimit. Koeficient i cili është funksion i disa parametrave të tjerë pa përmasë pothuajse gjithmonë merret nga të dhënat eksperimentale. Kjo mënyrë është e suksesshme nëse sistemi mund të përshkruhet nga një ose dy parametra, kështu që aplikimet me gjeometri komplekse janë të përjashtuara.

Për shumë rrjedhje, ekuacionet e Navier-Stokes-it lejojnë si të vetmin parametër të pavarur, numrin e Reynolds-it. Nëse forma e trupit qëndron e pandryshuar, ne mund të marrim rezultatet e kërkuara duke kryer eksperimente me një model me shkallë me të njëjtën formë. Numri Reynolds-it të dëshiruar mund të arrihet duke përzgjedhur me kujdes fluidin dhe parametrat e rrjedhjes ose duke kryer ekstrapolim. Këto modele janë shumë të vlefshme dhe janë metodat primare në projektimet inxhinierike në ditët e sotme. Problemi qëndron se shumë rrjedhje kërkojnë një sërë parametrash pa përmasë për specifikat e tyre dhe është e pamundur të krijosh një model eksperimenti i cili të paraqesë rrjedhjen reale. Në mënyrë që të arrijmë numër të lartë të Reynolds-it me modele më të vegjël, duhet të rritet shpejtësia e rrjedhjes. Gjithsesi, eksperimentet janë një mënyrë e mirë për të përcaktuar dhe matur parametrat si koeficientet e fërkimit, ngritjes, rënies së presionit apo koeficientet e transmetimit të nxehtësisë.

Një metodë alternative apo plotesuese u shfaq me lindjen e kompjuterëve elektronikë. Edhe pse metodat e zgjidhjeve numerike për ekuacionet diferenciale janë krijuar më shumë se një

shkull me përpara, ato nuk gjetën përdorim përpara së të krijoheshin kompjuterët. Shkalla e performancës përkundrejt kostos është rritur ndjeshëm që nga viti 1950 dhe nuk tregon trend në ulje. Kërkon pak imagjinatë për të kuptuar që kompjuterët mund të studiojnë rrjedhjen e fluidit shumë më lehtë dhe në rrugë tepër më efektive. Që nga momenti i rritjes së parametrave të kompjuterave është rritur në mënyrë dramatike interesi i përdorimit të metodave numerike. Zgjidhjet e ekuacioneve të mekanikës fluide duke përdorur kapacitetet kompjuterike ka vendosur bazat e kërkimit në këtë fushë tepër të brishtë. Kjo fushë quhet fluidodinamika kompjuterike (CFD-Computational Fluid Dynamics).

3.2 Çfarë është CFD - Fluidodinamika kompjuterike (numerike)

Rrjedhja dhe fenomene të lidhura me të mund të përshkruhen nëpërmjet ekuacioneve diferenciale (ose integrale-diferenciale), të cilat nuk mund të zgjidhen në mënyrë analitike, përveç rasteve specifike. Për të përfutur një zgjidhje numerike të përafërt, duhet të përdoren metodat e diskretizimit, të cilat përafrojnë ekuacionet diferenciale me një sistem ekuacionesh algjebrike, të cilat më pas mund të zgjidhen nëpërmjet ndihmës së kompjuterit. Përafrimet aplikohen në elemente të vegjël në hapësirë dhe/ose në kohë kështu që zgjidhjet numerike na japin rezultate në vendndodhje diskrete në hapësirë dhe në kohë. Ashtu sikundër saktësia e rezultateve të eksperimenteve varet nga saktësia e modelit dhe pajisjeve të përdorura, saktësia e zgjidhjeve numerike varet nga cilësia e diskretizimit (modelit) të përdorur (Ferziger dhe Perić 2002, Patankar 1980[17]; John D. Anderson 1995[18]; Lahey 2005[19]; Atul Sharma 2017[20]).

3.3 Përparësitë dhe kufizimet e metodave numerike

Disa nga problemet e përmendura, të lidhura me realizimin e eksperimenteve mund të zgjidhen shumë lehtë duke përdorur CFD. Për shembull, nëse duhet të simulojmë rrjedhjen e ajrit në sipërfaqen e jashtme të një makine në lëvizje brenda një tuneli me erë, duhet të mbajmë modelin të fiksuar dhe fryjmë ajrin drejt makinës, por në këtë rast duhet që edhe dyshemeja të lëvizë me shpejtësinë e ajrit, gjë që e cila eksperimentalisht është e vështirë të realizohet. Kjo gjë nuk është aspak e vështirë të realizohet në simulimet numerike. Zgjidhja e saktë e ekuacioneve të Navier-Stokes-it për rrjedhjen tre-përmasore të paqëndrueshme, do të krijonte mundësinë e përcaktimit të çdo parametri fizik në mënyrë të saktë. Gjithsesi saktësia e këtyre rezultate paraqitet shumë e vështirë për shumë aplikime inxhinierike. Meqenëse nuk jemi në gjendje të marrim rezultate të sakta për çdo lloj rrjedhje, atëherë duhet të përcaktojmë se çfarë mund të analizojmë dhe gjykojmë në funksion të rezultateve. Gjithsesi duhet të kemi

parasysh se rezultatet numerike janë gjithmonë të **përafërta**. Ka arsye për të përcaktuar ndryshimet e rezultateve numerike me ato reale, p.sh gabimet të shkaktuara nga secila pjesë e procesit të simulimit numerik të përdorura për të prodhuar zgjidhjen numerike:

- Ekuacionet diferenciale mund të kenë përafrime ose thjeshtëzime,
- Përafrimet e kryera gjatë procesit të diskretizimit
- Në zgjidhjen e ekuacioneve diskrete, përdoren metoda përsëritëse.

Kur ekuacionet themelore janë të njohura (p.sh ekuacionet e Navier-Stokes-it për fluidet Njutoniane dhe të pangjeshëm), mund të merren rezultate të një saktësie të dëshiruar. Sidoqoftë, për shumë fenomene (p.sh rrjedhja turbulente, djegia apo rrjedhja shumë fazore) ekuacionet për një zgjidhje të drejtpërdrejtë ose nuk janë të disponueshme ose zgjidhja numerike nuk është e besueshme. Për të gjitha këto raste është i domosdoshëm përdorimi i modeleve. Edhe pse këto ekuacione mund të zgjidhen saktësisht, rezultatet nuk mund të jenë në përputhje me sjelljen reale. Për të kontrolluar modelet e përdorura, duhet të mbështetemi në të dhënat eksperimentale. Edhe kur kemi të dhëna të sakta, modelet janë të nevojshme për të reduktuar kostot.

Gabimet e diskretizimit mund të reduktohen duke përdorur interpolime dhe përafrime të sakta ose të aplikojmë përafrime në një zonë shumë të vogël, gjë e cila do të rriste kohën e zgjidhjes kompjuterike dhe kështu rrit **koston e zgjidhjes**. Kompromisi është gjithmonë i domosdoshëm dhe del e nevojshme të zgjidhen ekuacionet diferenciale. Zgjidhjet direkte, të cilat kanë rezultate të sakta, përdoren shumë rrallë, sepse janë shumë të kushtueshme. Metodat përsëritëse janë të zakonshme por gabimi i tyre duhet të merret në konsideratë. Paraqitja e zgjidhjeve numerike duke përdorur vektorë, konture apo metoda të tjera grafike, si edhe video të rrjedhjes janë të rëndësishme në interpretimin e rezultateve.

3.4 Komponentët e metodave të zgjidhjeve numerike

3.4.1 Modeli matematik

Pikënisja e çdo metode numerike është modeli matematik, p.sh sistemi i ekuacioneve me diferenciale të pjesshme, ekuacionet integrale-diferenciale si edhe kushtet kufitare. Disa sisteme ekuacionesh janë paraqitur në paragrafët e mësipërm. Duhet të zgjidhet një sistem ekuacionesh i përshtatshëm për rastin e aplikimit (fluidi i pangjeshëm, fluidi jo viskoz, rrjedhja turbulente, rrjedhje 2 apo 3 përmasore, etj). Ashtu siç është përmendur, modeli matematik mund të përfshijë disa thjeshtëzime nga ligjet e ruajtjes. Një metodë zgjidhjeje është projektuar për një set të caktuar ekuacionesh dhe kriteresh. Përpjekja për të prodhuar

një metodë zgjidhjeje universale (p.sh një metodë që do të zgjidhë të gjithë llojet e rrjedhjeve), nuk është praktike dhe pothuaj e pamundur.

3.4.2 Metoda e diskretizimit

Pas zgjedhjes së modelit matematik, hapi tjetër është zgjedhja e një metode të përshtatshme të diskretizimit, p.sh metodë e përafrimit të ekuacioneve diferenciale e shprehur nëpërmjet një sistemi algjebrik ekuacionesh duke përcaktuar një set variablash, në një sistem vendndodhjeje diskrete në hapësirë dhe në kohë. Ka shumë metoda të diskretizimit, por ato me të rëndësishmet janë:

- metoda e diferencave të fundëm (MDF),
- metoda e vëllimeve të fundëm (MVF)
- dhe metoda e elementeve të fundëm (MEF).

Secila prej këtyre metodave jep të njëjtën zgjidhje nëse rrjetëzimi është shumë i imët. Sidoqoftë, disa metoda janë më të përshtatshme për disa probleme specifike krahasuar me të tjerat.

3.4.3 Sistemi bazë koordinativ

Ekuacionet e ruajtjes mund të shkruhen në shumë forma, në varësi të sistemit koordinativ të përdorur dhe vektorët bazë, për shembull, përmendim sistemin koordinativ kartezyan, cilindrik, sferik, ortogonal dhe jo ortogonal, të cilat mund të jenë të lëvizshëm apo sisteme fikse. Zgjedhja e tipit të sistemit koordinativ është në funksion të llojit të rrjedhjes dhe mund të ndikojë në metodën e diskretizimit dhe në llojin e rrjetëzimit që do të përdoret. Gjithashtu duhen të zgjidhen baza në të cilën vektorët dhe tensorët do të përcaktohen. Në funksion të kësaj zgjedhjeje, vektori i shpejtësisë dhe tensori i sforcimeve duhet të shprehen në funksion të sistemit të përdorur.

3.4.4 Rrjetëzimi numerik

Vendndodhjet diskrete në të cilat duhet të llogariten parametrat e ndryshëm gjatë rrjedhjes, përcaktohen nga rrjeta numerike, e cila është në thelb, një paraqitje diskrete e ndarjes gjeometrike në të cilën kërkohet të zgjidhet natyra e problemit. Rrjeta numerike ndan hapësirën e zgjidhjes në një numër të fundëm pjesëzash (elemente, vëllime, etj). Disa nga mënyrat e ndarjes së kësaj gjeometrie jepen si më poshtë:

3.4.4.1 Rrjetëzim i strukturuar (i rregullt)

Rrjetëzim i rregullt apo i strukturuar, është metoda më e thjeshtë e rrjetëzimit, meqenëse është ekuivalente në sistemin kartezian. Pozicionimi i secilës pikë në rrjetë (ose vëllimi) përcaktohet nga dy (në 2D) ose nga tre (3D) komponentë vektorësh, p.sh (i, j, k) . Secila pikë e rrjetës ka 4 pika fqinje në 2D dhe 6 pika në 3D. Kjo ndërlidhje midis qelizave thjeshtëson programimin dhe matrica e sistemeve algjebrike ka një strukturë të rregullt, e cila mund të shfrytëzohet në zhvillimin e teknikave të zgjidhjeve. Disavantazhi i rrjetëzimit të strukturuar është se ato mund të përdoren vetëm në gjeometri të thjeshta dhe mund të kemi vështirësi në kontrollin e shpërndarjes së pikave të rrjetëzimit. Përqendrimi i pikave në një zonë të caktuar për arsye të saktësisë, na çon në hapësira të vogla të panevojshme. Një shembull i rrjetëzimit të strukturuar është paraqitur në figurën 3.1.

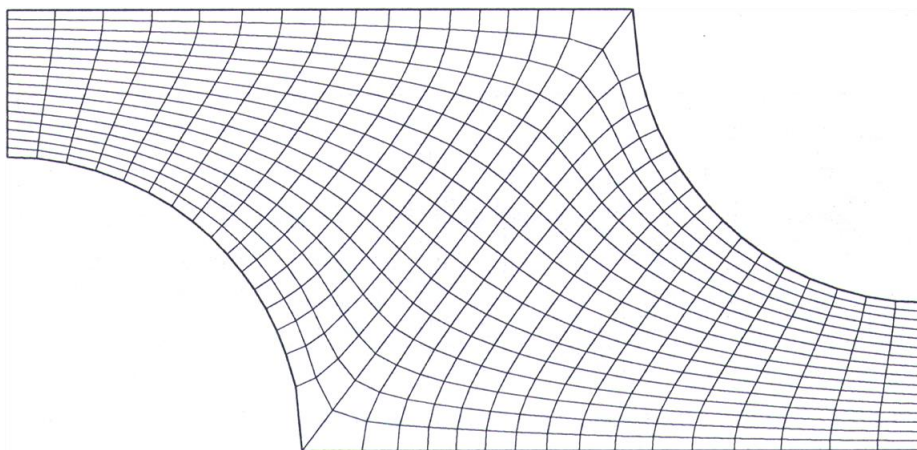


Figura 3.1 Shembull i një rrjete të strukturuar (2D), jo ortogonale (Ferziger dhe Perić 2002)

3.4.4.2 Rrjetëzim i strukturuar në blloqe

Në rrjetëzimin e strukturuar në blloqe, ka dy apo më shumë nivele ndarëse të fushës së zgjidhjes. Kemi nivelin e ndarjes së ashpër, në të cilën kemi blloqe me përmasa relativisht të mëdha dhe struktura e tyre mund të jetë ose jo e rregullt dhe shtresat mund ose jo të përputhen midis tyre. Në nivelin e ndarjes së imët kemi një rrjetëzim të strukturuar. Në figurën 3.2 kemi një rrjetëzim të strukturuar në blloqe, i projektuar në llogaritjet e rrjedhjes dy dimensionale përreth cilindrit në një kanal dhe përbëhet nga tre blloqe.

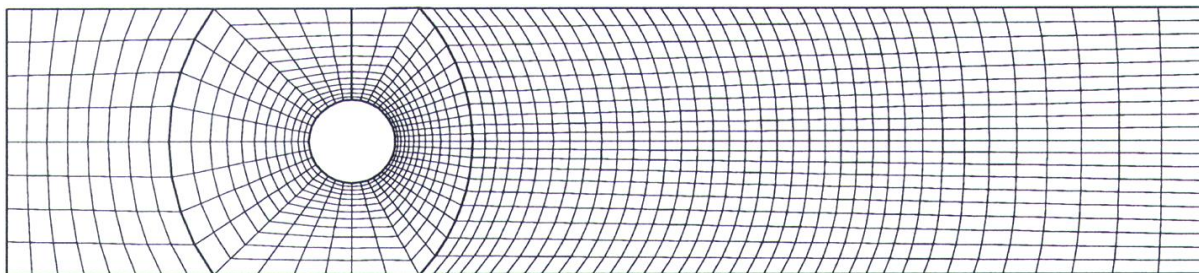


Figura 3.2 Shembull i një rrjetëzimi (2D) të strukturuar në blloqe me shtresa të cilat përputhen me njëra tjetrën (Ferziger dhe Perić 2002)

Në figurën 3.3 tregohet një rast i rrjetëzimit të strukturuar në blloqe por shtresat nuk përputhen me njëra tjetrën, përdoret për të llogaritur rrjedhjen përgjatë një profili aerodinamik. Përbëhet nga pesë blloqe rrjetëzimi me madhësi të ndryshme të qelizave. Kjo metodë rrjetëzimi është më e përshtatshme krahasuar me dy metodat e mësipërme, pasi lejon përdorimin e rrjetave në imta dhe të ashpra njëkohësisht. Kjo metodë rrjetëzimi është më e vështira pasi kërkon përshtatje midis shtresave.

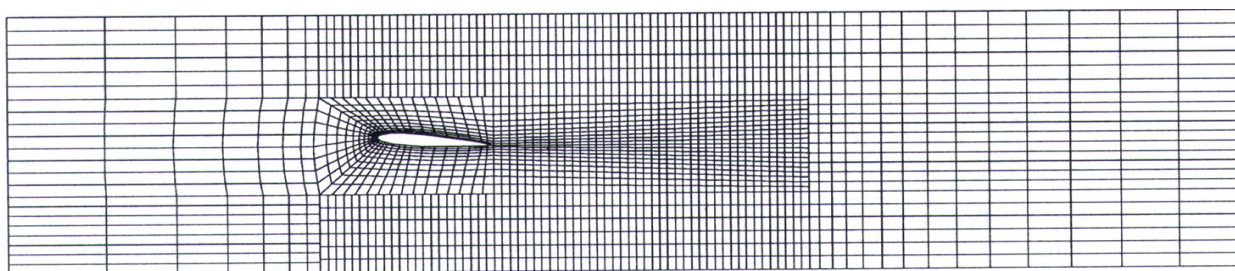


Figura 3.3 Shembull i një rrjetëzimi (2D) të strukturuar në blloqe me shtresa të cilat nuk përputhen me njëra tjetrën (Ferziger dhe Perić 2002)

3.4.4.3 Rrjetëzimi i pa strukturuar

Për rastet e gjeometrive komplekse, metoda më e mirë e përdorimit të rrjetëzimit është ajo metodë që përshtatet për kushte kufitare të ndryshme. Në parim, kjo metodë rrjetëzimi mund të përshtatet për çdo lloj diskretizimi, por këto përshtaten shumë mirë në metodën e vëllimeve dhe elementeve të fundëm.

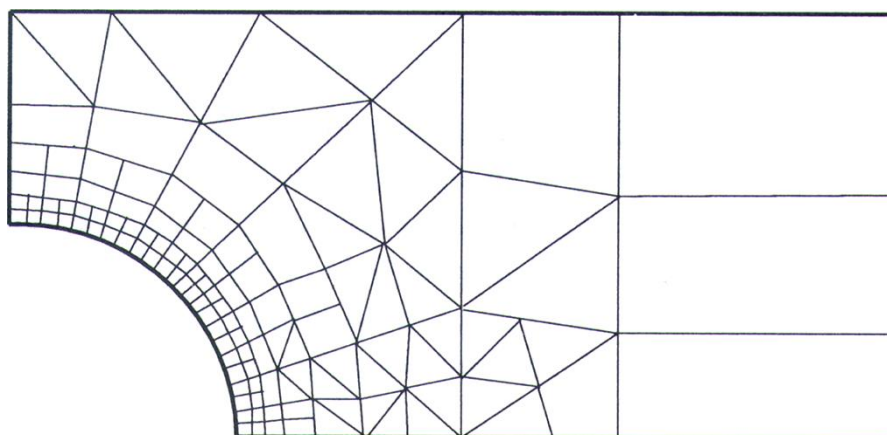


Figura 3.4 Shembull i rrjetëzimit të pa strukturuar (2D) (Ferziger dhe Perić 2002)

3.5 Metodat e diskretizimit

3.5.1 Metoda e diferencave të fundëm (MDF)

Kjo është metoda më e thjeshtë dhe përdoret në rastet e gjeometrive të thjeshta. Si pikënisje kjo metodë përdor ekuacionet e ruajtjes në formën e ekuacioneve diferenciale. Në secilën pikë të rrjetës, ekuacioni diferencial përafrohet duke zëvendësuar derivatet e pjesshme nga përafrimet e vlerave të nyjes të funksionit. Rezultati është një ekuacion algjebrik për çdo nyje, në të cilat vlera e variablave në një pikë të caktuar shfaqen si të panjohura. Kjo metodë mund të përdoret për çdo tip natyre rrjetëzimi, sidoqoftë aplikimet më të shumta të kësaj metode përdoren për rrjetëzim të strukturuar. Vijat e rrjetëzimit shërbejnë si vija koordinate lokale. Përdorimi i serive Teylor ose përshtatja polinomiale përdoren për të përcaktuar përafrimet në rendit të parë dhe të dytë të variablave në lidhje me sistemin koordinativ. Kur është e nevojshme këto metoda përdoren për të përfutur vlera të variablave në vendndodhje përtej rrjetëzimit duke përdorur interpolimin. Në rrjetat e strukturuar, metoda e diferencave të fundme është shumë e thjeshtë dhe efektive dhe kjo përbën dhe avantazhin kryesor të kësaj metode.

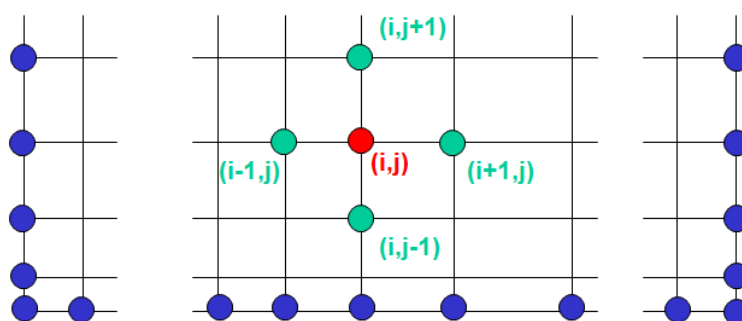


Figura 3.5 Rrjetëzimi kartezian (2D) në metodën e diferencave të fundëm (Carolus 2013)

3.5.2 Metoda e vëllimeve të fundëm (MVF)

Si pikënisje metoda e vëllimeve të fundëm përdor formën integrale të ekuacioneve të ruajtjes.

$$\int_S \rho \Phi \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS = \int_S \Gamma \text{grad} \Phi \cdot \mathbf{n} dS + \int_{\Omega} q_{\Phi} d\Omega \quad (3.2)$$

Fusha e zgjidhjes ndahet në vëllime të fundme (vëllimet e kontrollit) nëpërmjet rrjetëzimit dhe ekuacionet e ruajtjes aplikohen për secilin vëllim elementar. Ndryshe nga metoda e diferencave të fundëm, rrjetëzimi përcakton kufijtë e vëllimit të kontrollit dhe jo nyjet kompjuterike. Në qendër të çdo vëllimi kontrolli përcaktohet nyja llogaritëse, në të cilën vendoset çdo parametër i llogaritur. Interpolimi përdoret për të shprehur vlerat e variablave të marra në sipërfaqen e vëllimit të kontrollit, në funksion të qendrës së vëllimit të kontrollit. Rrjetëzimi i vëllimeve të kontrollit karakterizohet nga nyjet e përqendruara në qendër të vëllimit të kontrollit (N) dhe faqet e vëllimit të kontrollit midis nyjeve.

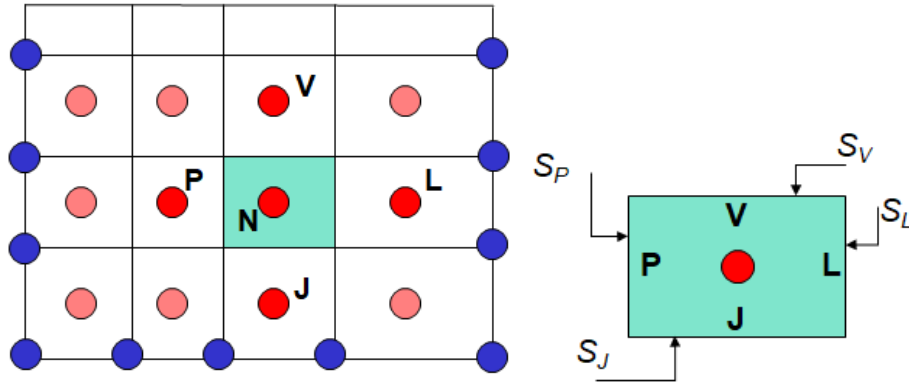


Figura 3.6 Vëllimi i kontrollit në sistemin 2D Kartezian (Carolus 2013)

N – Nyja në qendër të vëllimit të kontrollit

S_V, S_J, S_L, S_P – Sipërfaqet e vëllimit të kontrollit sipas orientimit.

Përafrimi i integralit sipërfaqësor jepet si më poshtë:

$$\int_S \rho \vec{u} \cdot \vec{n} dS \approx \sum_{k=L,V,P,J} (\rho u)_k S_k \quad (3.3)$$

$(\rho u)_L, (\rho u)_V, \dots$ vlerat në faqet e vëllimit të kontrollit

Përafrimi i integralit vëllimor jepet si më poshtë:

$$\int_V \rho dV \approx \rho_N \Delta V \quad (3.4)$$

ΔV , vëllimi i kontrollit,

Meqenëse të gjitha variablat janë të përqendruara në nyjen N , nuk është e nevojshme interpolimi. Metoda e vëllimeve të fundëm mund të përshtatet me çdo natyrë të rrjetëzimit, kështu që është e përshtatshme edhe për gjeometri komplekse. Rrjeta përcakton vetëm kufijtë e vëllimit të kontrollit dhe duhet të lidhen me sistemin koordinativ. Kjo metodë është më e thjeshta edhe për tu programuar. Të gjitha termat që duhen përafruar kanë kuptim fizik dhe kjo është arsyeja pse është kaq popullore në përdorimet inxhinierike.

Disavantazhi i kësaj metode në lidhje me MDF është se kjo metodë është e vështirë për tu implementuar në gjeometri 3D dhe nëse kemi terma të rendit me të lartë se dy. Kjo lidhet me faktin se në rastin e diferencave të fundëm kërkon tre nivele të përafrimit: interpolimi, diferencimi dhe integrimi (Rodi et al. 1989[21]; Moukalled et al. 2016[22])

3.5.3 Metoda e elementeve të fundëm (MEF)

Metoda e elementeve të fundëm është e ngjashme me metodën e vëllimeve të fundëm në shumë aspekte. Ndarja në pjesëza vëllimesh apo elementesh të cilat janë të pa strukturuara, në 2D ato janë trekëndësha apo katërkëndësha ndërsa në 3D kemi piramida trekëndore apo paralelepiped. Karakteristika dalluese e metodës së elementeve të fundëm është se ekuacionet shumëfishohen me funksionin e peshës, përpara se ato të integrohen përgjatë të gjithë fushës. Një përparësi e kësaj metode është aftësia për tu përshtatur me gjeometri të ndryshme.

3.6 Metoda e zgjidhjes

Diskretizimi na gjeneron një sistem të madh ekuacionesh algjebrike jo lineare. Metodën e zgjidhjeve varen nga natyra e problemit. Për rrjedhjet e paqëndrueshme, përdoren metoda të zgjidhjes së ekuacionet diferenciale të zakonshme, të ndryshueshme në kohë. Rrjedhjet e qëndrueshme zakonisht zgjidhen jo për kohë fizike, por kohë fiktive të simulimeve numerike. Meqenëse ekuacionet nuk janë lineare, përdoren skema numerike për ti zgjidhur. Këto metoda përdorin linearizimin e njëpasnjëshëm të ekuacioneve dhe sistemet lineare pothuajse gjithmonë zgjidhen nga teknikat iterative. Zgjedhja e "**zgjidhësit**" varet nga lloji i rrjetëzimit dhe numri i qelizave të përfshira në ekuacionet algjebrike.

3.7 Kriteri i konvergjencës

Në përfundim duhet të përcaktohet kriteri i konvergjencës për metodat përsëritëse (iterative). Zakonisht, ekzistojnë dy nivele përsëritjesh: iteracionet e brendshme, brenda të cilave zgjidhen ekuacionet lineare dhe përsëritjet e jashtme, që merren me jolinearitetin dhe

bashkimin e ekuacioneve. Nga pikëpamja e saktësisë dhe efikasitetit është tepër i rëndësishëm vendimi se kur do të ndalet procesi përsëritës në secilin nivel.

3.8 Hyrje në programin kompjuterik CFD OpenFOAM

OpenFOAM është një program kompjuterik, i përbërë nga librari të shkruara në gjuhën bazë të kompjuterit C++, të përdorura kryesisht për të krijuar programe të njohur si aplikacione. Aplikacionet ndahen në dy kategori (OpenFOAM 2016):

- “**zgjidhësit**”, të cilët janë projektuar për të zgjidhur një problem specifik në mekanikën e vazhdueshme;
- dhe “**shërbime ndihmëse**”, të cilat janë të projektuara për të kryer detyra që përfshijnë përpunimin e të dhënave.

Një nga avantazhet e këtij programi është se “zgjidhësit” dhe “shërbimet” mund të krijohen nga vetë përdoruesit nëse zotërojnë disa njohuri bazë programimi dhe njohuri mbi fizikën e problemit. OpenFOAM përbëhet nga mjedise për implementimin e të dhënave fillestare (faza e para-zgjidhjes), etapa e dytë është zgjidhja e problemit dhe etapa e fundit është përpunimi i rezultateve (faza pas zgjidhjes). Këto etapa mund të realizohen me aplikacione të ndryshme të cilat janë pjesë përbërëse e paketës së programit OpenFOAM, duke siguruar kështu trajtimin e të dhënave në të gjitha etapat e simulimeve numerike. Përdorimi i këtij programi nuk kërkon pajisjen me licence shfrytëzimi, pasi programi është i hapur për të gjithë përdoruesit.

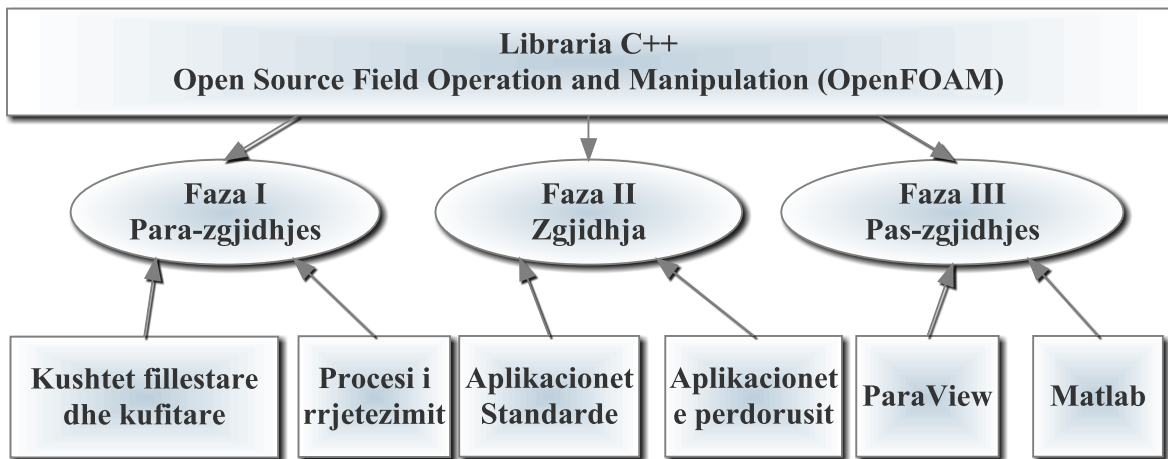


Figura 3.7 Struktura e përgjithshme e programit CFD OpenFOAM (OpenFOAM 2016)[23]

Një veçanti e projektimit të programit OpenFOAM është se aplikacionet e zgjidhjes, të shkruara duke përdorur klasat OpenFOAM, kanë një sintaksë që ngjan shumë me zgjidhjen e ekuacioneve me diferenciale të pjeshshëm (Moukalled et al. 2016)[22]. Për shembull ekuacioni i mëposhtëm:

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + \nabla \cdot \Phi V - \nabla \cdot \mu \nabla V = -\nabla P \quad (3.5)$$

prezantohet me anë të kodit (OpenFOAM 2016):

```
solve
(
    fvm::ddt(rho,U)
  + fvm::div(phi,U)
  - fvm::laplacian(nu,U)
  ==
  - fvc::grad(p)
);
```

3.9 Përparësitë e software-it OpenFOAM

- Programi është pa pagesë dhe përbëhet nga një sërë librarish që përdoren për të zgjidhur ekuacionet diferenciale në aplikime të ndryshme
- Është i fokusuar në fluido-dinamikën numerike
- Përdor metodën e vëllimeve të fundëm për diskretizimin dhe zgjidhjen e ekuacioneve themelore
- Është i shkruar në gjuhën e programimit C++, në mënyrë të mirë strukturuar
- Është lehtësisht i kuptueshëm, në futjen e të dhënave dhe marrjen e rezultateve
- Është një program që të mundëson leximin dhe zgjidhjen e ekuacioneve në mënyrë transparente dhe jo si shumica e programeve të tjera, ku ekuacionet e përdorura nuk i bëhen të ditura përdoruesit (zgjidhje “Black Box”).

3.10 Struktura e OpenFOAM

I gjithë programi OpenFOAM është i ndërtuar në skedarë. Për çdo parametër fizik të fluidit, do të kemi një skedar të veçantë. Pra parametra si shpejtësia, presioni, viskoziteti i turbulencës, etj, do të shkruhen në skedarë të veçantë. Skedarët e nevojshëm për të kryer simulimin e rrjedhjes turbulente të qëndrueshme janë treguar në figurën 3.8.

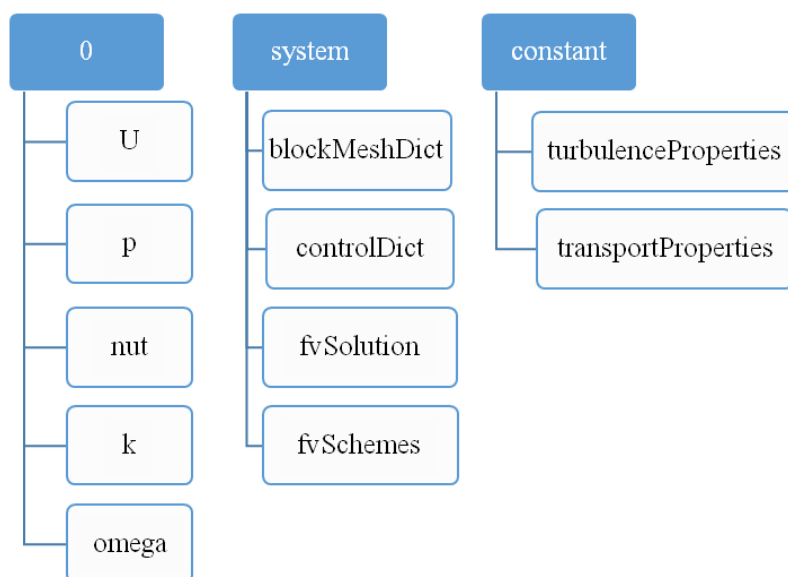


Figura 3.8 Skedarët e nevojshëm për simulimin e rrjedhjes në karkasë (OpenFOAM 2016)

3.10.1 Folderi “kohë”

Parametrat fillestare të simulimeve numerike do të vendosen në folderin “0” dhe më pas rezultatet e zgjidhjes së simulimit mnumerik do të shkruhen nga programi, referuar hapit në të cilin arrihet konvergjenca e të gjithë parametrave në nivelin e paracaktuar. Skedarët si *U*, *p*, *nut*, *k* dhe *omega* do të krijohen në file të veçanta.

3.10.2 Folderi “sistem”

Parametrat e zgjidhësit dhe për mënyrën e kontrollit të simulimit do të gjenden në këtë folder. Ky folder do të përmbajë së paku 3 skedarë:

- *controlDict*, përcaktohet kohën e fillimit apo e ndalimit, tipi i zgjidhësit që do të përdorim, mënyra e ruajtjes së rezultateve etj,
- *fvSchemes*, përcaktohet skema e diskretizimit të përdorur për zgjidhje,
- *fvSolution*, përcaktohen zgjidhësit e ekuacioneve, tolerancat e përdorura për çdo parametër si edhe vlera e konvergjencës së përdorur.

3.10.3 Folderi “konstant”

Në këtë folder do të vendosim parametra fizike të nevojshëm për simulimin e rrjedhjes turbulente (vizkoziteti kinematik i fluidit dhe modeli i turbulences) si edhe të dhënat mbi gjeometrinë dhe rrjetëzimin.

3.11 Faza I – Faza para zgjidhjes numerike

3.11.1 Karakteristika fizike të fluidit

Fluidi: Ajër

- Vlera standard e densitetit $\rho = 1.223 \text{ kg} / \text{m}^3$
- Viskoziteti kinematik me vlerë $\nu = 1.511 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$,
- Në hyrje
 - njihen komponentët e shpejtësive c_{u2}, c_{m2}
 - prurjen në vëllim p.sh $Q = 0.4 \text{ m}^3 / \text{s}$
 - numri i Reynolds-it $Re = 300.000 \div 500.000$
 - numrin e rrotullimeve të rotorit $n = 3000 \text{ rrot/min}$
 - Energjia kinetike e turbulencës $k = 3 \text{ m}^2 / \text{s}^2$
 - Shkalla specifike e shpërhapjes së turbulencës $\omega = 4000 \text{ 1/s}$
- Në dalje njihet presioni reference (atmosferik).

3.11.2 Kushtet fillestare dhe kufitare

Në tabelen nr. 4, janë paraqitur emërtimet e secilës sipërfaqe të njësisë së ventilatorit së bashku me kushtet kufitare dhe fillestare. Referuar kushteve fillestare, parametrat të njohura janë: komponentet e shpejtësisë në hyrje (Inlet) dhe presioni atmosferik në dalje (Outlet). Përsa i përket karkasës spirale njihen shpejtësia zero dhe kushti i mos rrëshqitjes, sipërfaqe statike e palëvizshme. Për pjesën e përparme dhe të mbrapme të rotorit njihet numri i rrotullimeve.

Tabela Nr. 4 Kushtet kufitare dhe fillestare të përdorura në simulimet në programin OpenFOAM.

Ngjyra	Emërtimi	Tipi	Kushtet kufitare	Kushtet fillestare
1	Hyrje (dalje e rotorit)	Patch	Prurje konstante	Komponentë radiale tangenciale dhe aksiale të shpejtësisë
2	Karkasa	Mur	Kushti i mos rrëshqitjes	Vlerë fikse 0;
3	Pjesa e përparme/mbrapme e rotorit	Mur rrotullues	Mur rrotullues	Shpejtësi këndore Omega;
4	Pjesa e përparme/mbrapme e karkasës	Mur	Kushti i mos rrëshqitjes	Vlerë fikse 0;
5	Dalja	Patch	zeroGradient;	Presion ambianti

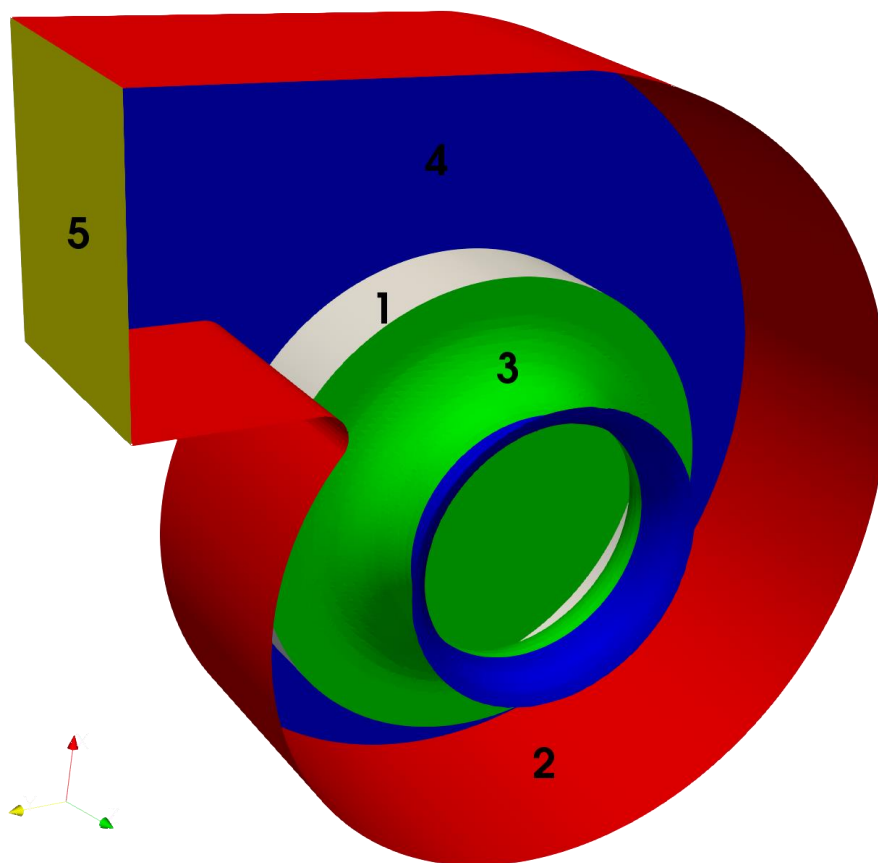


Figura 3.9 Pamja 3 dimensionale e ventilatorit centrifugal

3.11.3 Gjenerimi i gjeometrisë së karkasës spirale nëpërmjet programit Matlab

Meqenëse kemi një sërë parametrash gjeometrike dhe interval të gjerë të tyre u mendua e përshtatshme që procesi i realizimit të gjeometrisë dhe më pas gjenerimi i rrjetës numerike të kryhet në mënyrë të automatizuar. Për këtë proces kemi përdorur programin Matlab. Kodi Matlab është shkruar në formën e algoritmeve me ekuacionet e nevojshme për ndërtimin e karkasës spirale bashkë me profilin e rotorit në mënyrë që të përftohet gjeometria e plotë e ventilatorit. I gjithë kodi Matlab është shkruar në formë parametrike, në mënyrë të tillë që të jete funksional për një sërë parametrash gjeometrike. Më poshtë jepet forma e karkasës sipas spirales logaritmike në plan dhe disa parametra të caktuar, në mënyrë grafike e gjeneruar nga programi Matlab. Pasi është ndërtuar forma e karkasës, ndërtohen elementet e tjerë. Mënyra e realizimit të rrjetëzimit kërkon që gjeometria të sigurohet në formatin stereolitografi (.stl) dhe çdo sipërfaqe e veçantë është shkruar në këtë format me emërtimet përkatëse (sipas tabelës nr. 4). Më pas janë bashkuar në një sipërfaqe të përbashkët nga ku fillon dhe procesi i rrjetëzimit.

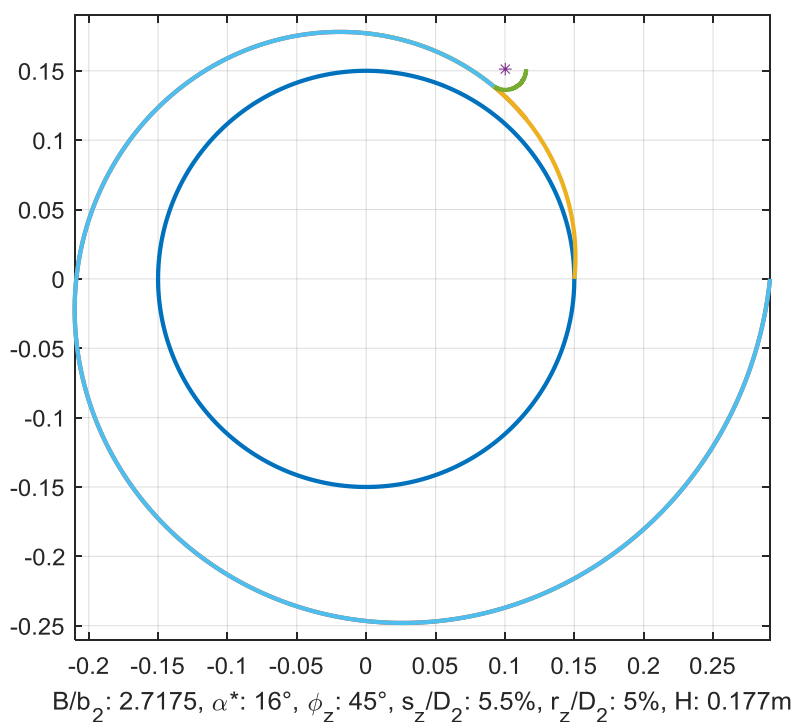


Figura 3.10 Paraqitja e profilit të spirales logaritmike dhe parametrat gjeometrikë të saj

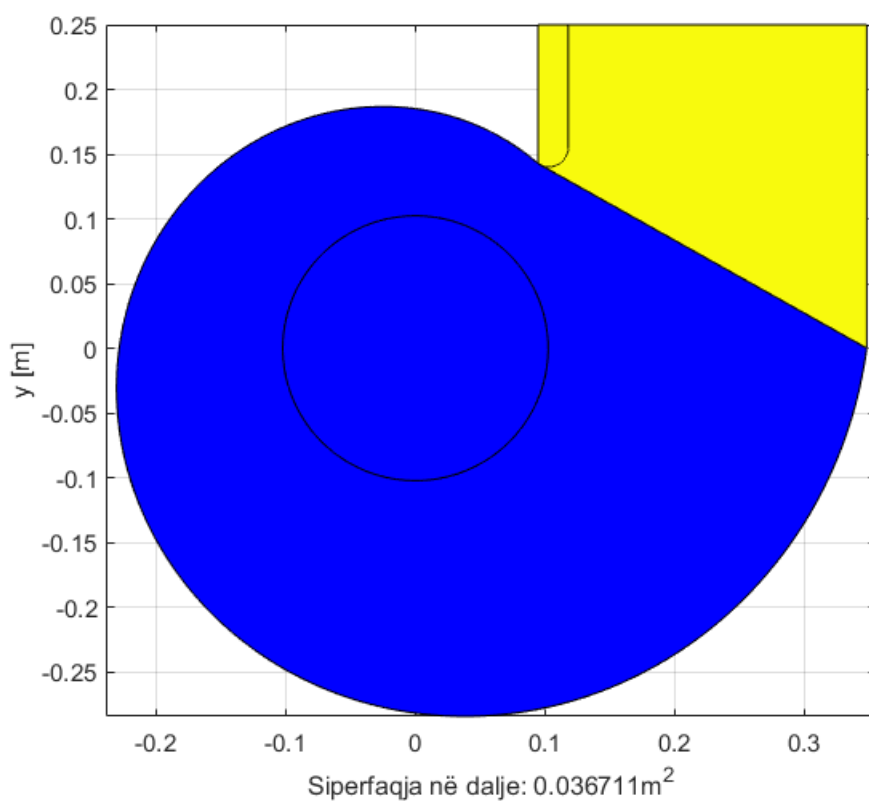


Figura 3.11 Paraqitja 3D e gjeometrisë së plotë të karkasës

Programi Matlab siguron një paraqitje grafike 3-dimensionale të gjeometrisë dhe është e mundur të kryhet një kontroll paraprak i gjeometrisë për ndonjë gabim të mundshëm.

3.11.4 Gjeometria dhe rrjetëzimi

Pasi kemi krijuar gjeometrinë e karkasës, me anë të programit cfMesh v1.1.2, gjenerojmë rrjetëzimin. Programi OpenFOAM na mundëson një sërë opsionesh për rrjetëzim.

“*blockMesh*” është një opsion i ndërtimit të rrjetës por përdoret vetëm në rastet e gjeometrive shumë të thjeshta dhe të ndara në blloqe.

“*snappyHexMesh*”, përdoret edhe për rastet e gjeometrive komplekse, por kjo mënyrë e rrjetëzimit është relativisht e vështirë për tu programuar dhe koha kompjuterike është e konsiderueshme [24]; [25].

“*cfMesh*” është një program shtesë i paketës OpenFOAM, është mjaft i lehtë për tu përdorur dhe deri diku është i automatizuar. Programi kërkon formatin stereolitografi (.stl) të gjeometrisë bazë, e cila është një avantazh, pasi gjeometria e karkasës do të gjenerohet nga programi Matlab. Më poshtë do të trajtohet në detaje mënyra e gjenerimit të rrjetës kompjuterike dhe avantazhet e përdorimit të programit **Matlab**.

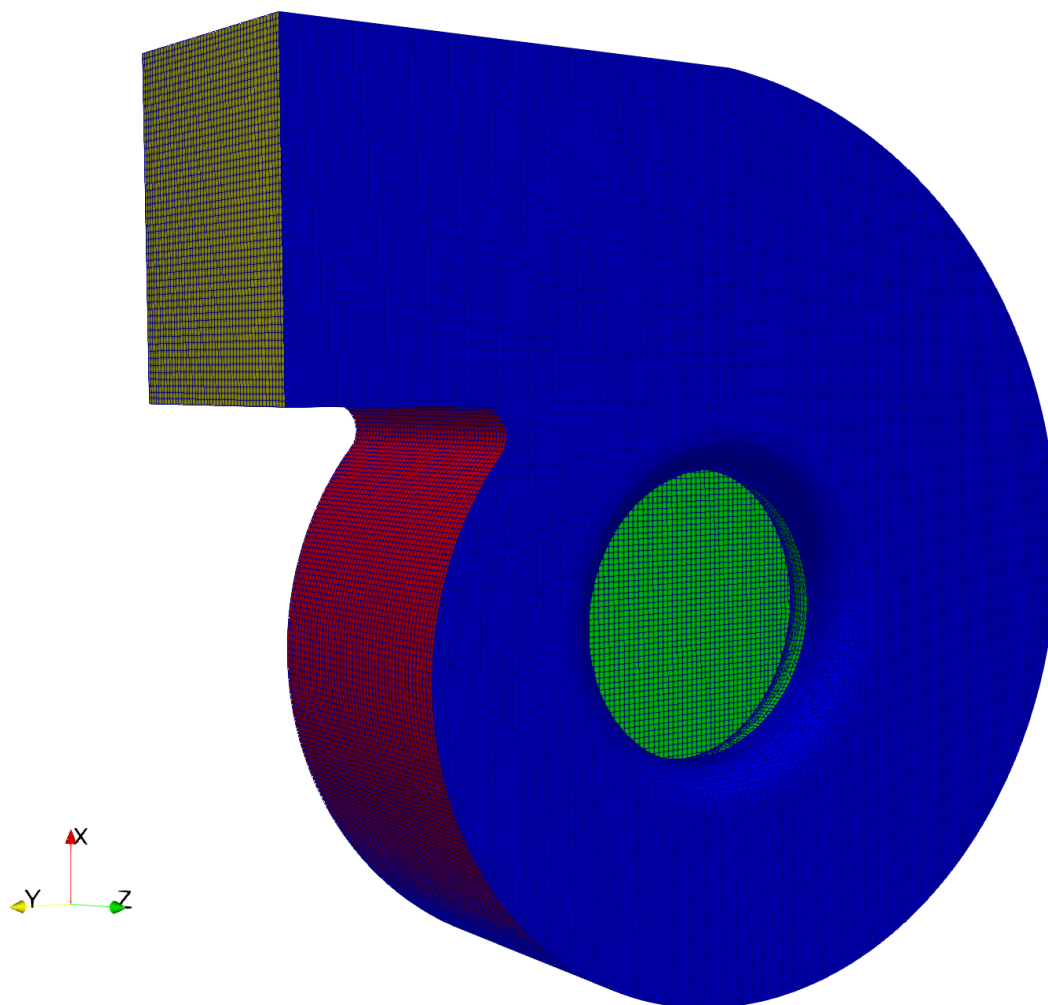


Figura 3.12 Pamja 3 dimensionale e diskretizimit të fushës së rrjedhjes në brendësi të karkasës

Pas diskretizimit, kryejmë kontrollin e rrjetëzimit me anë të opsionit “*checkMeshQuality*” (ANEKS II). Nëse procesi i rrjetëzimit rezulton me sukses, atëherë kryhet zgjidhja me atë të programit OpenFOAM (Faza II).

3.12 Faza II - Zgjidhja e rrjedhjes turbulente

Shumica e rrjedhjeve në praktikën inxhinierike janë turbulente. Rrjedhjet turbulente karakterizohen nga karakteristikat e mëposhtme:

- Rrjedhjet turbulente janë të pa qëndrueshme. Nëse do të paraqitet shpejtësia në funksion të kohës, në shumicën e pikave do të kemi një vlerë rastësore.
- Rrjedhja është tre përmasore. Shpejtësia e mesatarizuar në kohë mund të jetë funksion i vetëm i dy koordinatave, por fusha e shpejtësisë luhetet në të tre dimensionet.
- Ato përmbajnë një numër të madh vorbullash. Në të vërtetë, shtrirja e vorbullës është një nga mekanizmat kryesorë me të cilët rritet intensiteti i turbulencës.
- Turbulenca rrit shkallën e përzierjes së parametrave. Përzierja është procesi në të cilën pjesëza të fluidit me përqendrim të ndryshëm me të paktën një parametër janë në kontakt me njëra-tjetrën. Përzierja realizohet nëpërmjet difuzionit, i quajtur difuzioni turbulent.
- Zvogëlimi i gradientit të shpejtësisë si pasojë e veprimit të viskozitetit, zvogëlon energjinë kinetike të rrjedhjes, me fjalë të tjera, përzierja është proces i çrregullt.
- Komponenti i rastësishëm i rrjedhjes turbulente, që këto ngjarje të ndryshojnë nga njëri-tjetra në madhësi, forcë dhe interval kohor midis dukurive, duke bërë studimin e tyre shumë të vështirë.
- Rrjedhjet turbulente luhaten në një shkallë të gjerë në hapësirë dhe kohë. Kjo karakteristikë, bën që simulimet numerike direkte të jenë shumë të vështira.

Për arsyet e sipërpërmendura është e nevojshme përdorimi i modeleve të turbulencës. Modeli i turbulencës i përdorur në këtë studim për simulimet numerike është $k - \omega$ (SST). Përparësia e përdorimit të këtij modeli, në krahasim me modelet k-epsilon, është se kur energjia kinetike e turbulencës tenton drejt zeros, ekuacioni final shprehet në termat e epsilonit në zonat me turbulencë të ulët. Në modelin e përdorur nuk e kemi këtë problem. Nëse energjia kinetike e turbulencës tenton drejt zeros, termi i difuzionit të turbulencës thjesht bëhet zero. Zgjidhja e ekuacionit të Navier-Stokes-it duke përdorur modelin mesatar të Reynolds-Navier-Stokes nënkupton se simulimi nuk mund të përfaqësojë fenomenin e

turbulencës në të gjitha shkallët e saj, por thjesht imiton efektet makroskopike të saj (Ismail B. Celik 1999[28]; Nicholas J. Georgiadis 2006[29]; S. Thangam 1991[30]).

3.12.1 Modeli i turbulencës k-omega SST

Modeli i turbulencës me dy ekuacione i implementuar në OpenFOAM është bazuar tek (Florian R. Menter 1992; Gibson dhe Dafa'Alla 1995; Florian Menter 2001; NASA Langley Research Center. 2015) Wilcox David C. 1993; Antti Hellsten 1997). Ekuacioni i shkallës së shpërhapjes së turbulencës jepet si më poshtë:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\omega) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}\omega) - \nabla \cdot (\rho D_\omega \nabla \omega) = \frac{\rho\gamma G}{\nu} - \frac{2}{3}\rho\gamma\omega\nabla \cdot \mathbf{u} - \rho\beta\omega^2 - \rho(F1-1)CDk\omega + S\omega \quad (3.6)$$

Dhe energjia kinetike e turbulencës jepet nëpërmjet ekuacionit:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}k) - \nabla \cdot (\rho D_k \nabla k) = \rho G - \frac{2}{3}\rho\gamma k\nabla \cdot \mathbf{u} - \rho\beta^*\omega k + Sk \quad (3.7)$$

Viskoziteti i turbulencës merret nëpërmjet ekuacionit:

$$\nu_t = \alpha_1 \frac{k}{\max(\alpha_1\omega, b_1F_{23}S)} \quad (3.8)$$

Tabela Nr. 5 Koeficientët e modelit të turbulencës k-omegaSST

α_{k1}	α_{k2}	$\alpha_{\omega1}$	$\alpha_{\omega2}$	β_1	β_2	γ_1	γ_2	β^*	a_1	b_1	c_1
0.85	1.0	0.5	0.856	0.075	0.0828	5/9	0.44	0.09	0.31	1.0	10.0

3.12.2 Të dhënat fillestare të turbulencës

Për turbulencën izoentropike, energjia kinetike e turbulencës mund të llogaritet me anë të ekuacionit të mëposhtëm:

$$k = \frac{3}{2} \left(I |\mathbf{u}_{ref}| \right)^2 \quad (3.9)$$

ku I është intensiteti i turbulencës dhe $\mathbf{u}_{ref}$ është shpejtësia referencë e rrjedhjes së fluidit.

Shkalla specifike e shpërhapjes së turbulencës jepet nëpërmjet ekuacionit:

$$\omega = \frac{k^{0.5}}{C_\mu L} \quad (3.10)$$

ku C_μ është konstante e barabarte me 0.09, dhe L është shkalla e gjatësisë referuese

3.12.3 Kriteri i konvergencës

Kriteri i konvergencës së përdorur në të gjitha simulimet numerike është pranuar vlera 10^{-5} , i njëjtë për çdo parametër.

3.12.4 Modelimi në afërsi të murit

Në ditët e sotme modelet e turbulencës janë gjerësisht të përdorshme në simulimet numerike. Sidoqoftë, disa modele të turbulencës si p.sh $k - \omega$ janë të përdorshme vetëm në rrjedhjet plotësisht të zhvilluara dhe nuk kane rezultat shumë të mire në afërsi të murit. Në mënyrë që të marrim rezultate të sakta në zonën afër murit propozohen dy mënyra. Njëra mënyrë është integrimi i turbulencës tek muri. Modelet e turbulencës janë të modifikuara në mënyrë që të zgjidhin efektet e viskozitetit në zonën afër murit, duke përfshirë edhe zonën viskoze. Kur përdoret modeli i turbulencës me numër të vogël të Reynolds-it, për zgjidhjen e zonës afër murit, qeliza e parë duhet të jetë brenda zonës viskoze (preferohet $y^+ = 1$). Kjo do të kërkonte një numër shumë të madh qelizash dhe për rrjedhojë një kohë kompjuterike shumë të madhe. Për të realizuar simulimet numerike në kohë të pranueshme, duhet të përdorim të ashtuquajturat “*funksionet e murit*”, të cilat bëjnë modelimin e rrjedhjes në zonën afër murit. Funksionet e murit janë ekuacione empirike që përdoren për të përcaktuar rrjedhjen në zonën afër murit. Për të garantuar rezultatet të sakta, qeliza e parë duhet të vendoset në zonën e quajtur “*ligji-logaritmik i murit*”. Funksionet e murit përdoren si urë lidhëse midis zonës së murit dhe zonës së rrjedhjes plotësisht të zhvilluar, në mënyrë që të sigurojë kushtet kufitare afër zonës së murit për ekuacionet e momentit dhe transportit të turbulencës, në vend që të specifikojë kushtet në mur (Ao dhe Salim 2009; D. B. SPALDING 1961)[37][38]. Kur përdorim funksionet e murit, nuk është e nevojshme zgjidhja e shtresave kufitare, që e cila sjell në reduktim të numrit të qelizave dhe për rrjedhojë ul kohën kompjuterike të zgjidhjes. Edhe pse funksionet e murit janë bazuar në ekuacione empirike dhe të vlefshme vetëm në kushte të caktuara, rezultatet janë mëse të kënaqshme nëse përdoren siç duhen. Ideja e funksioneve të murit është propozuar fillimisht (Launder dhe Spalding 1974)[39] dhe kërkesa është që qeliza e parë të pozicionohet në shtresën logaritmike. Nëse qendra e qelizës përkon me shtresën viskoze, rezultatet të marra nga funksionet e murit janë të pasakta. Në OpenFOAM funksionet e murit janë modifikuar në mënyrë që të sigurojnë rezultate të sakta pavarësisht pozicionit të qelizës së parë. Teoria e funksioneve të murit të përdorura në OpenFOAM janë bazuar në punimin nga (Georgi Kalitzin, Gorazd Medic, Gianluca Iaccarino, Paul Durbin 2005).

Funksionet e murit janë aplikuar në zgjidhësin e rrjedhjeve turbulente, të pangjeshme dhe sistemin koordinativ Kartezian 3-përmasore. Ky zgjidhës (SIMPLE) është i bazuar në një algoritëm standard i pozicionuar në qendër të qelizës. Ekuacioni i momentit për secilën komponente të shpejtësisë, ekuacioni i Poisson-it për presionin dhe ekuacioni i transportit për parametrat e turbulencës zgjidhen në mënyrë të përsëritur me anë të një skeme numerike. Një përzierje midis ekuacioneve diferenciale të rendit të dytë dhe të parë përdoren për termin konvektiv dhe të rendit të dytë për diskretizimin e termit difuziv. Funksionet e murit janë projektuar që të përdoren me rrjetëzim të ashpër në afërsi të murit. Zgjidhja e ekuacionit RANS është e shoqëruar me një skemë numerike në të cilën gabimi rritet nëse zvogëlohet madhësia e qelizave në afërsi të murit. Vështirësia e aplikimit të funksioneve të murit është dallimi i gabimeve të skemës numerike dhe pasaktësisë të modelit fizik të përdorur.

3.12.5 Kushti i mos rrëshqitjes

Rrjedhja e fluidit shpesh kufizohet nga sipërfaqet e ngurta dhe është e rëndësishme të kuptohet se si ndikon kjo situatë në rrjedhjen e fluidit. Nëse marrim rastin e rrjedhjes së ujit përgjatë shtratit të lumit, do të vërejmë rastet kur uji nuk mund të kalojë përmbi shkëmbinj të mëdhenj dhe kalon përreth tyre, kështu me afrimin e ujit shpejtësia ulet, deri në ndalimin e plotë në momentin e takimit në sipërfaqen e shkëmbit, kështu komponentja tangenciale e shpejtësisë bëhet zero. Konsiderojmë rrjedhjen e një fluidi në një tub ose mbi një sipërfaqe e cila është jo poroze. Të gjitha vëzhgimet eksperimentale tregojnë se lëvizja e fluidit ndalon në sipërfaqe, duke supozuar një shpejtësi zero relativisht me sipërfaqen. Kështu, fluidi në kontakt direkt me një sipërfaqe të ngurtë “*ngjitet*” dhe në këtë mënyrë nuk ka rrëshqitje. Ky fenomen quhet kushti i mos rrëshqitjes. Karakteristika e fluidit që është përgjegjëse për këtë fenomen dhe për zhvillimin e shtresave kufitare është viskoziteti. Shkak i kushtit të mos rrëshqitjes është se të gjitha komponentët e shpejtësisë duhet të jenë zero në pikën e kontaktit të fluidit dhe sipërfaqes së ngurtë. Kushti i mos rrëshqitjes është përgjegjës për zhvillimin e profilit të shpejtësisë. Zona e rrjedhjes afër murit në të cilën efektet e viskozitetit janë të dukshme quhet shtresa kufitare.

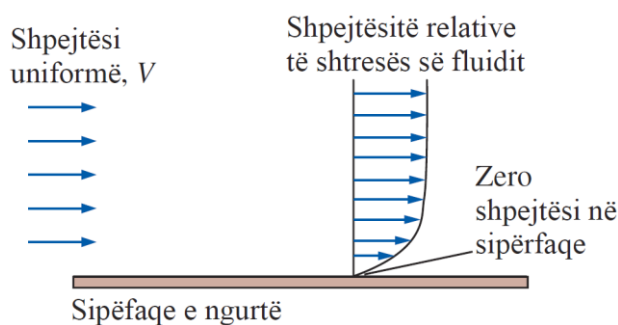


Figura 3.13 Rrjedhja e fluidit mbi një sipërfaqe stacionare ndalon në sipërfaqe për shkak të kushtit të mos rrëshqitjes. (Yunus A. Çengel; John M. Cimbala 2014)[6].

3.12.6 Momenti i funksionit të murit

Momenti i funksionit të murit, sipas Nichols dhe Nelson 2004, aplikohet duke përcaktuar viskozitetin e turbulencës tek muri, duke përdorur termin e shpejtësisë pa përmasa $u^+ = u/u_t$. Distanca nga muri jepet me anë të ekuacionit $y^+ = \rho y u_t / \mu$ dhe shpejtësia e fërkimit $u_t = \sqrt{\tau_{mur} / \rho}$. Sforcimet e murit mund të përshkruhen me anë të ekuacionit, $\tau_{mur} = \mu \frac{y^+ u}{u^+ y} = (\mu + \mu_t) \frac{u}{y}$, ku $\mu_t = \mu \left(\frac{y^+}{u^+} - 1 \right)$.

3.12.7 Përshkrimi i algoritmit “SIMPLE”

S.I.M.P.L.E (Metodat gjysmë implicite të ekuacioneve të lidhura me presionin) është algoritëm i krijuar për rastet e rrjedhjeve të pangjeshme dhe rrjedhje e qëndrueshme.

Ekuacioni i ruajtjes së masës (ekuacioni i vazhdueshmërisë) jepet:

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (3.11)$$

Ekuacioni i ruajtjes së momentit (ekuacioni i shpejtësisë) jepet:

$$U \cdot \nabla U - \nabla \cdot \nu \nabla U = -\Delta p \quad (3.12)$$

Nga diskretizimi i ekuacionit të ruajtjes së momentit, marrim:

$$M \cdot U = -\Delta p \quad (3.13)$$

Atëherë sistemi linear i matricës ka trajtën:

$$M \cdot U = A \cdot U - H \quad (3.14)$$

Matrica A është diagonale sipas diagonales së matricës origjinale M . H është vektori që i korrespondon (3.14). Rishkruajmë (3.13) duke e zëvendësuar tek (3.14) dhe marrim:

$$A \cdot U - H = -\Delta p \quad (3.15)$$

Shprehim U nga ekuacioni (3.15) p.sh ekuacioni i korigjimit të momentit:

$$U = A^{-1} * H - A^{-1} * \Delta p \quad (3.16)$$

Tek ekuacioni i korigjimit të momentit (3.16) aplikojmë ekuacionin e vazhdueshmërisë (3.11) dhe marrim formën finale:

$$\nabla * (A^{-1} * \Delta p) = \nabla * (A^{-1} * H) \quad (3.17)$$

3.12.8 Skema e funksionimit “SIMPLE”

Më poshtë po paraqesim rradhën e funksionimit të algoritmit “SIMPLE”

1. Zgjidhja numerike fillon me zgjedhjen e vlerave fillestare U dhe p .
2. Fillon zgjidhja
3. Kushtet kufitare azhornohen (përditësohen)
4. Zgjidhet sistemi linear $M * U = -\Delta p$
5. Ndryshojmë vlerat e U
6. Vlerë e re U
7. Ndërtojmë matricën A dhe vektorin H
8. Llogaritet prurja në faqet e qelizës
9. Aplikohet korigjimi i presionit $\nabla * (A^{-1} * \Delta p) = \nabla * (A^{-1} * H)$
10. Ndryshojmë vlerën e p
11. Vlerë e re e p
12. Korigjohet prurja në faqet e qelizës
13. Aplikohet korigjimi i momentit $U = A^{-1} * H - A^{-1} * \Delta p$
14. Merret vlera e korigjuar e U
15. Kushtet kufitare azhornohen (përditësohen)
16. Etapat 5 - 15 përsëriten deri në vlerën e gabimit të konvergencës 10^{-5}
17. Përfundon simulimi numerik

Burimi i algoritmit SIMPLE i implementuar në OpenFOAM gjendet në skedarin: *\$FOAM_SOLVERS/incompressible/simpleFoam*.

3.12.9 Kontrolli i simulimit numerik

Karakteristikat e përgjithshme për ekzekutimin e simulimit, të tilla si koha e fillimit dhe ndalimit, distanca midis simulimeve, shkrimi i rezultateve dhe përpunimi i kohës pas zgjidhjes, janë të specifikuara në skedarin “*system/controlDict*”. Një pasqyrë e parametrave të hyrjes gjendet në tabelën Nr. 6.

3.12.10 Kontrolli i kohës

Tabela Nr. 6 Përmbledhje e parametrave të kontrollit të simulimit

<i>startFrom</i>	Kohën e fillimit, për shembull koha më e fundit e shkruar ose një kohë e caktuar
<i>startTime</i>	Specifikohet koha e fillimit të simulimit, <i>startTime</i> zakonisht është "0"
<i>stopAt</i>	Kontrollohet fundi i simulimit
<i>endTime</i>	Specifikohet koha e përfundimit të simulimit, fundi duhet të jepet më sipër
<i>deltaT</i>	Hapi i kohës së simulimit

3.12.11 Shkrimi i rezultateve

writeControl Kontrollon kohën e shkrimit në skedar

writeInterval Specifikohet intervali i shkrimit

3.12.12 Faza III - Përpunimi i Rezultateve nëpërmjet programit Matlab

Faza e tretë është përpunimi i rezultateve të simulimeve numerike nëpërmjet programit Matlab dhe vizualizimi i rrjedhjes brenda në karkasë me programin ParaView.

KAPITULLI IV

4.1 REZULTATET NGA SIMULIMET NUMERIKE – Pjesa I

4.1.1 Hyrje

Numri i simulimeve numerike është në funksion të parametrave gjeometrikë të karkasës spirale. Me një përlllogaritje të thjeshtë, referuar numrit të parametrave si edhe intervalit të vlerave që mund të marrin këto parametra, numri minimal i simulimeve numerike do të kalonte shifrën 16.000. Kjo është një vlerë e konsiderueshme duke marrë parasysh kohën e përgatitjes së simulimeve numerike si edhe kohën kompjuterike të nevojshme për zgjidhje. Pjesa e parë e simulimeve u zhvillua në Universitetin e Siegen-it, Gjermani. Super kompjuteri është e pajisur me 134 njësi llogaritjeje, secili prej tyre është i pajisur me 12 procesorë Intel Xeon X5650, me shpejtësi llogaritjeje 2.66 GHz, deri në 512 GB Ram si edhe memorie të përgjithshme 10 TB. Gjithsesi ky kapacitet kompjuterik mund të shfrytëzohet njëkohësisht nga disa përdorues duke përcaktuar paraprakisht kohën kompjuterike sipas "*procedurës me rezervim*". Për më shumë detaje mund ti referoheni linkut: <https://cluster.uni-siegen.de/systeminformation/?lang=en>.

Duke marrë në konsideratë kohën e simulimit kompjuterik rreth një orë fizike (në disa prej rasteve kjo vlerë mund të arrijë edhe 1-2 javë kohë kompjuterike, në funksion të kapacitetit kompjuterik), për 16.000 simulime do të kërkohej rreth 1.8 vite kohë për zgjidhjen e të gjithë simulimeve. Në praktiken inxhinierike është me shumë interes që të reduktohet sa më shumë numri i variablave apo i ekuacioneve të panevojshme të cilat nuk kanë efekt në rezultatet e simulimit.

Për këtë arsye, në grupimin e parë të simulimeve janë përcaktuar vlerat e parametrave të cilat nuk shfaqin interes për ne dhe në këtë mënyrë është zvogëluar intervali i parametrave dhe për rrjedhojë numri i simulimeve. Në simulimet paraprake është pranuar formë gjeometrike e thjeshtë e rotorit të ventilatorit centrifugal, si dhe shpejtësitë në hyrje të karkasës sipas dy drejtimeve (periferike dhe radiale) janë pranuar konstante, ndërsa shpejtësia aksiale nuk është marrë në konsideratë (për më shumë detaje referojuni kap. III, paragrafi 3.11). Duke iu referuar performancës së rotorit të ventilatorit, rendimenti maksimal merret për vlerën e koeficientit të prurjes $\phi = 0.12$, që përkon për prurje $Q = 0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Simulimet e këtij grupi do të zgjidhen vetëm për këtë pikë funksionimi të ventilatorit.

Për çdo grup simulimi janë pranuar të paktën 2 parametra gjeometrike të pandryshuar, në mënyrë që të vërehet ndikimi i secilit parametër. Në literaturë rekomandohet që shkalla e gjerësisë (raporti i gjerësisë së karkasës me gjerësinë në dalje të rotorit të ventilatorit B/b_2) mund të marrë vlera nga $1.2 \div 4$. Në kushte reale vlerat më të vogla se 1.4 nuk mund të ndodhin për shkak të formës së rotorit të ventilatorit. Gjithashtu për vlerat mbi 3 nuk ka interes për studimin tonë për shkak të zvogëlimit të mënyrë të konsiderueshme të rendimentit.

4.1.2 Ndikimi i ndryshimit të këndit të spirales logaritmike

Simulimet e para do të kryhen me vlerë konstante të këndit të fillimit të gjuhës së karkasës $\phi_z = 45^\circ$ si edhe rrezes së gjuhës $r_z / D_2 = 5\%$, me gjeometri të thjeshtësuar të rotorit të ventilatorit me pozicionin e rotorit në mes të karkasës. Me këto supozime rezultatet e para mund të merren nga realizimi i 54 simulimeve kompjuterike.

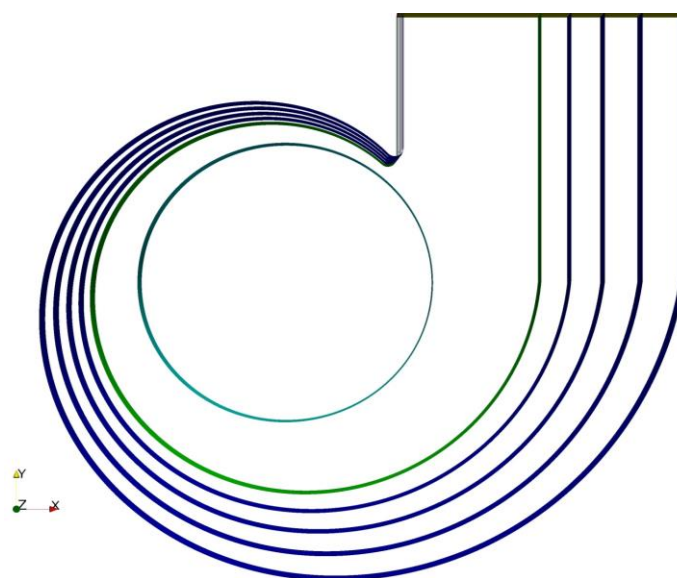


Figura 4.1 Forma të ndryshme të karkasës në funksion të këndit të spirales logaritmike

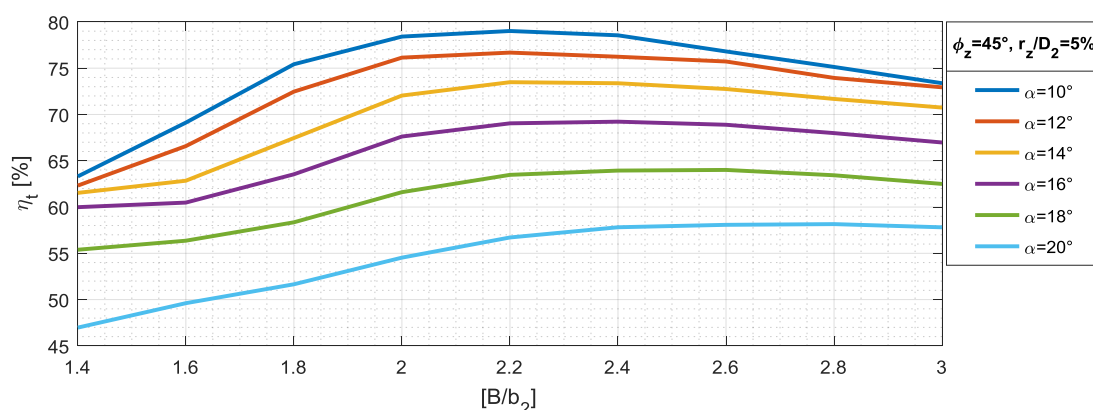


Figura 4.2 Krahasimi i rendimentit total të karkasës për vlera të ndryshme të këndit të spirales logaritmike në funksion të shkallës së gjerësisë

Rendimenti total i karkasës në funksion të raportit së gjerësisë jepet në figurën 4.2 për secilin prej këndeve të spirales logaritmike. Si rezultat i vlerave të ndryshme të këndeve alfa siç tregohet në grafik, rendimenti maksimal arrihet për vlera të vogla të këndit të spirales logaritmike alfa, gjë e cila rezulton në një vëllim kompakt të volutës. Fenomeni i kundërt vërehet në tipet e karkasave të mëdha, për shkak të rritjes së sipërfaqeve të mureve.

Parametri i dytë për të vlerësuar performancën e karkasës është koeficienti i rikuperimit të presionit statik.

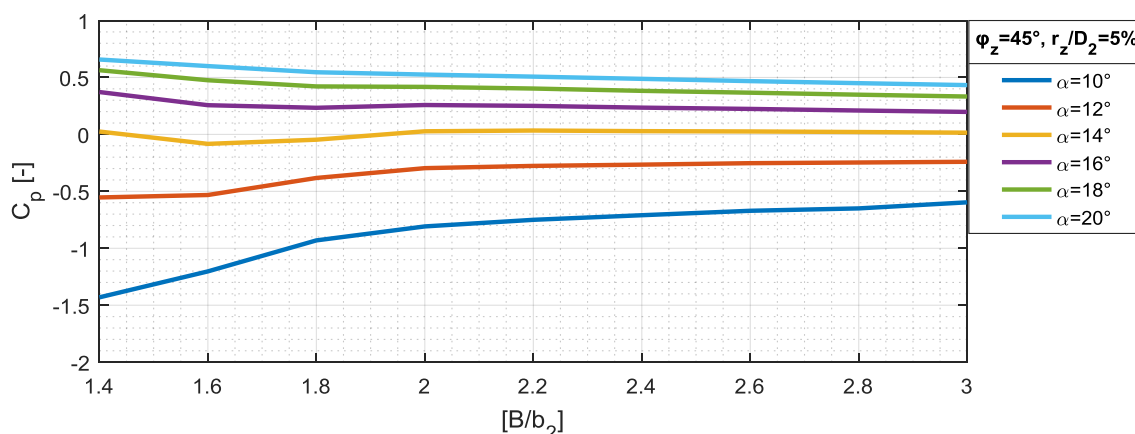


Figura 4.3 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë për kënde të ndryshme të spirales në funksion të shkallës së gjerësisë.

Për kënde të mëdha të spirales vërehen vlera të larta të koeficientit të rikuperimit të presionit statik. Gjithashtu vihet re se për kënde të vogla të spirales, me rritjen e raportit së gjerësisë ndodh një rritje e koeficientit të rikuperimit të presionit statik, përkatësisht për vlera të alfës $10^\circ, 12^\circ$ dhe 14° . Ndërsa me rritjen e këndit të spirales, tendenca është e kundërt. Për këtë parametër mund të themi se tendenca është vlera më e madhe e mundshme.

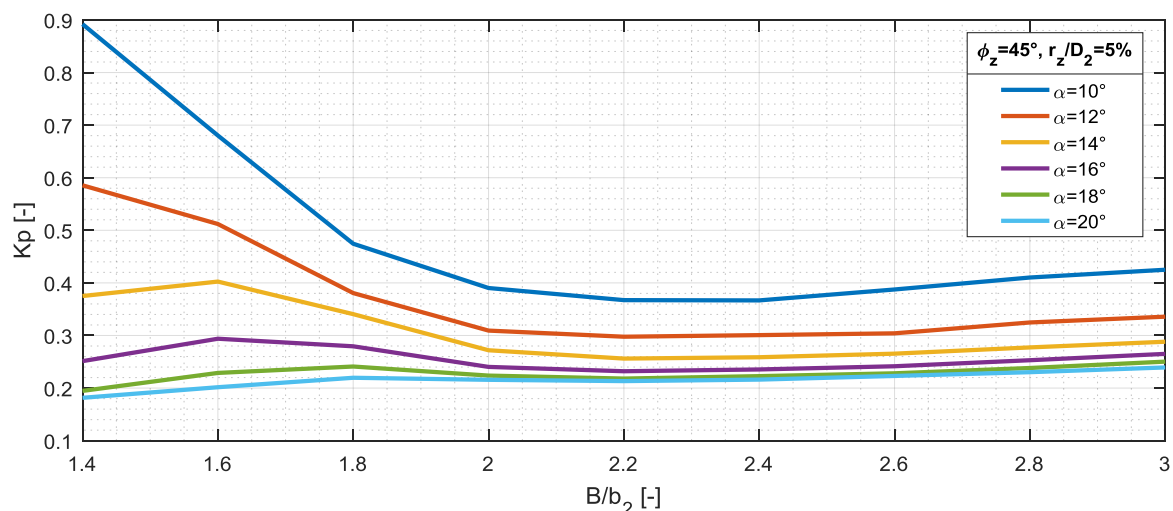


Figura 4.4 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë për kënde të ndryshme të spirales në funksion të shkallës së gjerësisë.

Duke studiuar varësinë e koeficientit të humbjeve totale të presionit, vihet re se tendenca është e kundërt me koeficientin e rikuperimit të presionit statik. Për këtë parametër tendenca është vlera më e vogël e mundshme. Kështu që në këtë rast vlerat optimale të karkasës arrihen për vlera të raportit së gjerësisë nga $B/b_2 = 2 \div 2.6$.

Parametri i fundit për të vlerësuar performancën e karkasës është shkalla e ndryshimit të energjisë kinetike, parametër i cili është funksion i të dy parametrave si: koeficienti i rikuperimit të presionit statik dhe koeficienti i humbjeve totale të presionit (ekuacioni 2.36).

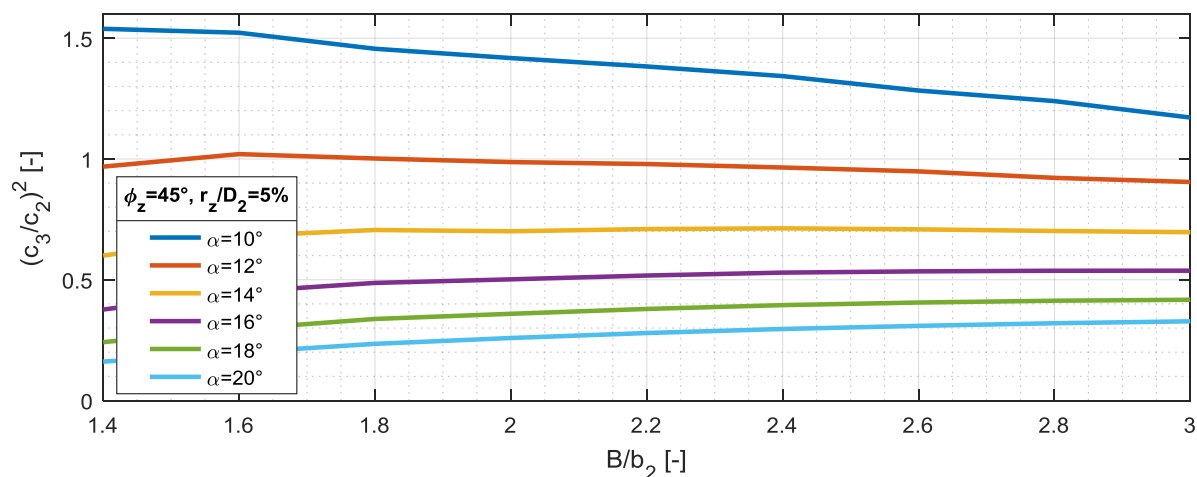


Figura 4.5 Raporti i energjisë kinetike në dalje dhe hyrje të karkasës

Vlera referencë në këtë rast duhet të jetë 1. Nëse ky raport është më i madh se vlera 1 atëherë, shpejtësia në dalje të karkasës është më e madhe se shpejtësia në hyrje të saj (dalje të rotorit), gjë të cilën duhet ta evitojmë, pasi roli kryesor i përdorimit të karkasës do të jetë rikuperimi i presionit statik. Në këtë rast vlerat e këndit të spirales logaritmike në të cilat ky parametër është më i vogël se 1, janë në intervalin $14^\circ \div 20^\circ$.

4.1.3 Ndikimi i ndryshimit të këndit të gjuhës së karkasës

Duke ju referuar rendimentit total të simulimeve të mëparshme, vihet re se vlera maksimale e rendimentit arrihet për këndin $\alpha = 10^\circ$, për këtë grup simulimi kjo vlerë do të mbahet e pandryshuar së bashku me rrezën e kubaturës së gjuhës së karkasës $r_z / D_2 = 5\%$.

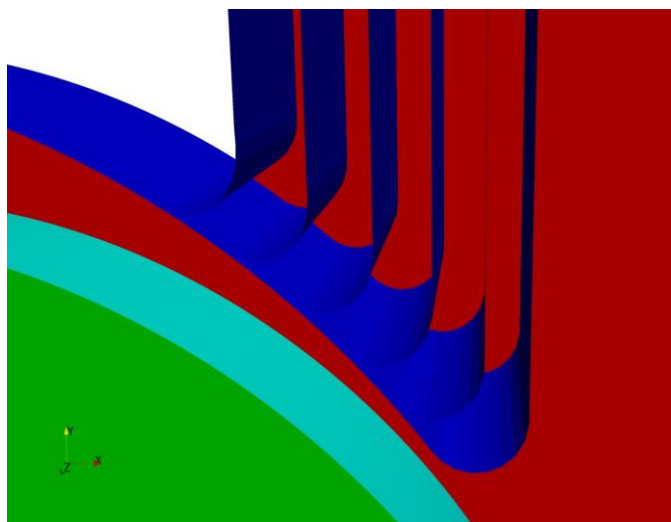


Figura 4.6 Paraqitja skematike për vlera të ndryshme të këndit të fillimit të gjuhës së karkasës

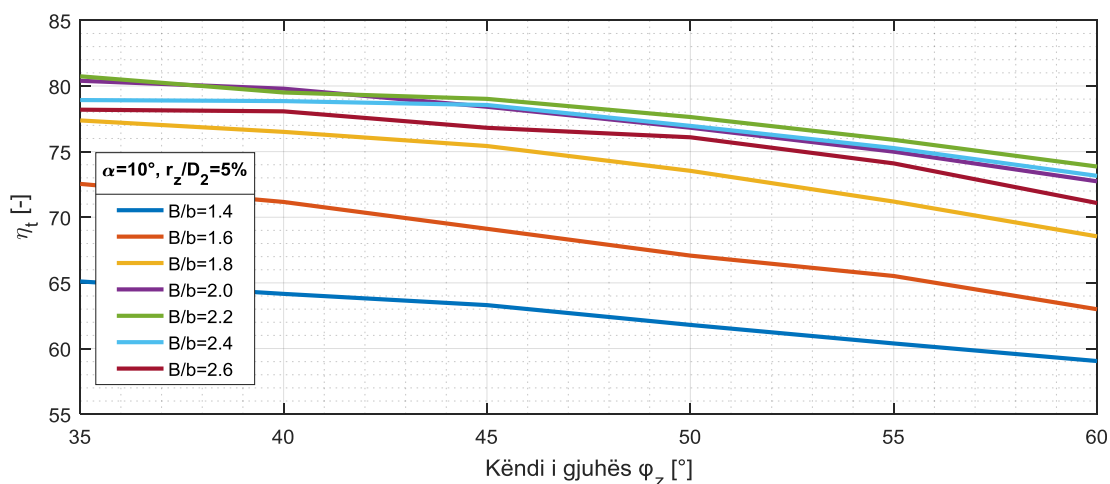


Figura 4.7 Rendimenti total i karkasës për vlera të ndryshme të raportit të gjerësisë në funksion të këndit të gjuhës ϕ_z

Siç tregohet nga figura 4.7, për vlera të vogla të këndit të gjuhës së karkasës, vërehen vlera të larta të rendimentit, gjë e cila është e vërtetë për të gjitha vlerat e raportit të gjerësisë. Vlera maksimale e rendimentit korrespondon me raportin e gjerësisë $B/b_2 = 2.2$, ndjekur nga 2.4, 2.0 dhe 2.6. Rendimenti minimal i korrespondon raportit të gjerësisë $B/b_2 = 1.4$, ndjekur nga vlera 1.6 dhe 1.8. Vlera me të vogla se $\phi_z = 35^\circ$ duhen evituar pasi duhet të sigurohet një distance sigurie midis rotorit të ventilatorit dhe karkasës s_z . Nga rekomandimet kjo vlerë nuk mund të jetë më e vogël se 3.5% e D_2 [26].

Për të studiuar ndikimin e këtij parametri nëpërmjet koeficientit të rikuperimit të presionit statik, por për kënde të ndryshme të spirales logaritmike, është pranuar shkalla e gjerësisë e pandryshuar $B/b_2 = 2.2$ dhe rrezja e kurbaturës së gjuhës $r_z / D_2 = 5\%$.

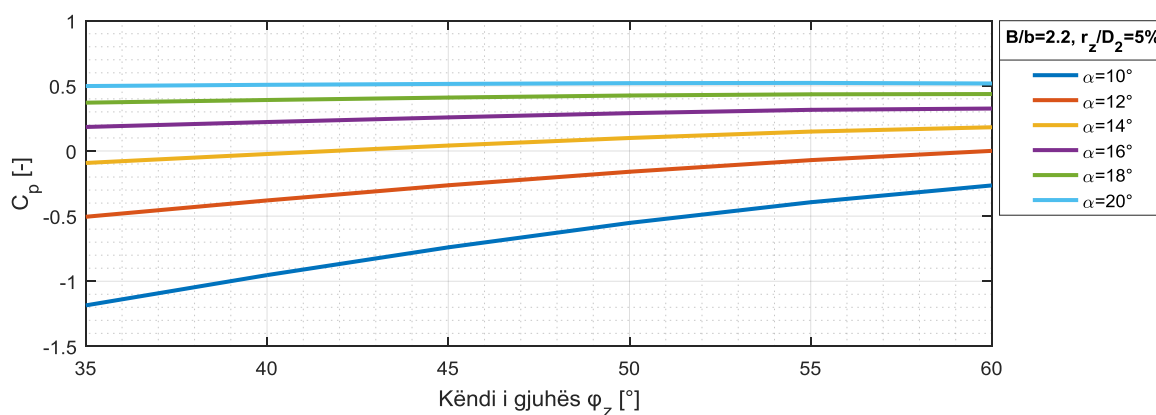


Figura 4.8 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të këndit të gjuhës së karkasës

Nga figura 4.8 shihet se për kënde të vogla të spirales alfa (10° , 12° dhe 14°), duke rritur këndin e gjuhës, rezulton në vlerën më të lartë të mundshme të koeficientit të rikuperimit të presionit statik.

Në rastet e këndit të spirales alfa (16° , 18° dhe 20°) ndryshimi i këndit të gjuhës, nuk ndikon në koeficientin e rikuperimit të presionit statik, i cili mbetet pothuajse i konstant.

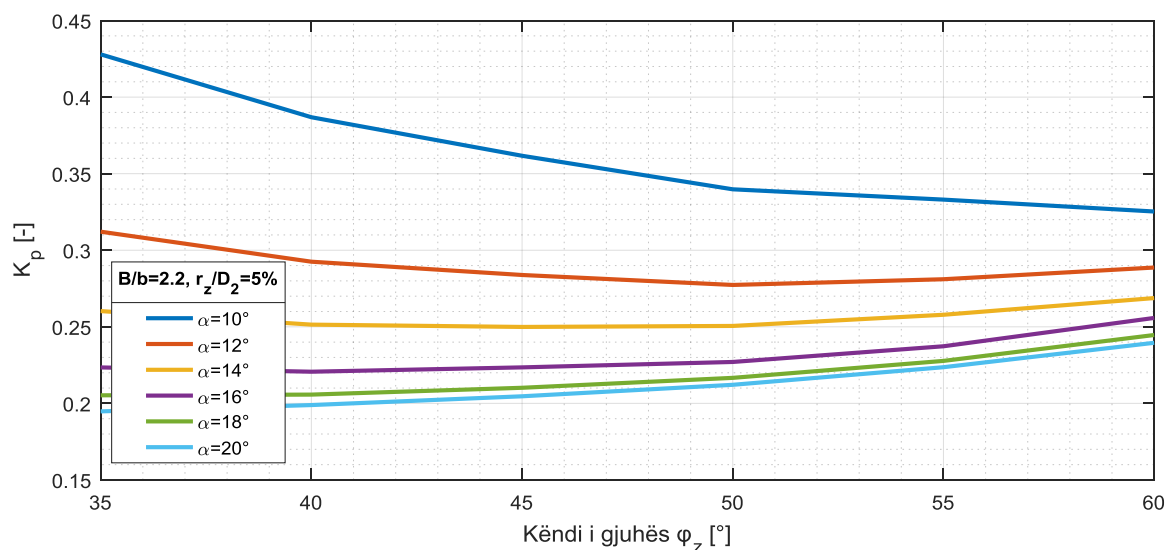


Figura 4.9 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të këndit të gjuhës së karkasës

Me rritjen e vlerës së këndit të gjuhës së karkasës vërehet se tendenca e këtij parametri është në rritje. Kujtojmë se për këtë parametër kërkojmë të gjejmë vlerën më të vogël e mundshme. Kështu që mund të themi se për karkasa kompakte, në të cilat nuk kemi rikuperim të presionit statik, me rritjen e këndit të gjuhës së karkasës ndodh të kemi ulje të koeficientit të humbjeve totale dhe e kundërta ndodh për kënde të mëdha të spirales logaritmike.

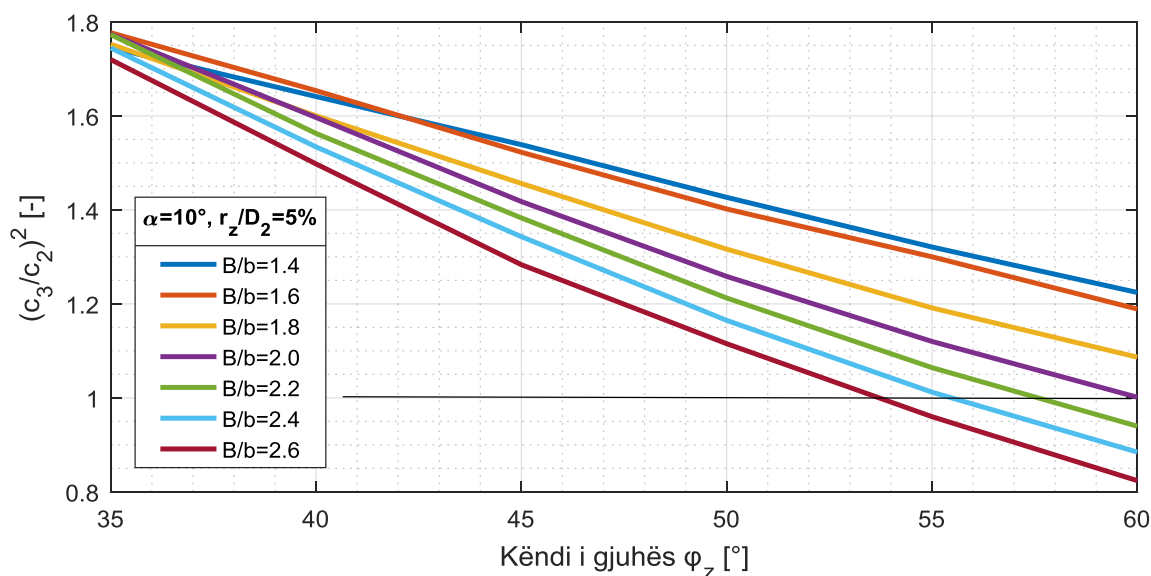


Figura 4.10 Raporti i energjive kinetike në dalje dhe hyrje të karkasës

Informacioni që mund të marrim për këtë rast referuar raportit të energjive kinetike në dalje dhe në hyrje të karkasës është jo shumë i nevojshëm, për shkak të vlerës së këndit alfa 10° . Për këndin e gjuhës së karkasës $\varphi_z = 60^\circ$, ky parametër merr vlera më të vogla se 1. Referuar rezultateve të deritanishme, interes ka studimi i ndikimit të rrezes së gjuhës së karkasës.

4.1.4 Ndikimi i rrezes së gjuhës së karkasës

Këto simulime janë kryer duke mbajtur konstant raportin e gjerësisë $B/b_2 = 1.6$ dhe këndin e gjuhës së karkasës $\varphi_z = 35^\circ$.

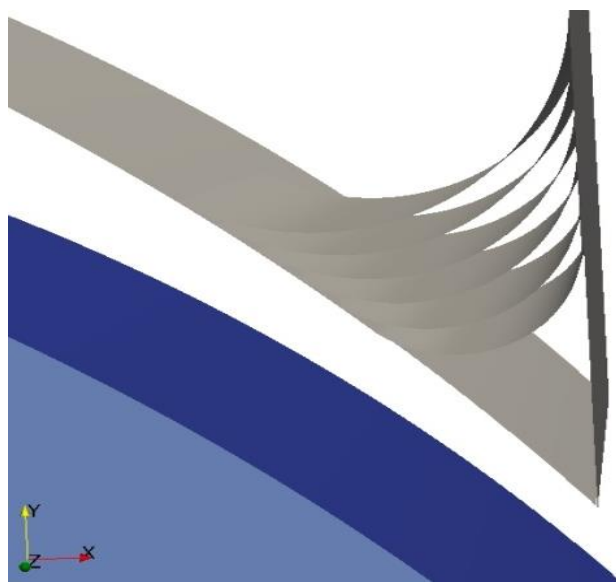


Figura 4.11 Paraqitja skematike e vlerave të rrezes së kurbaturës të gjuhës së karkasës

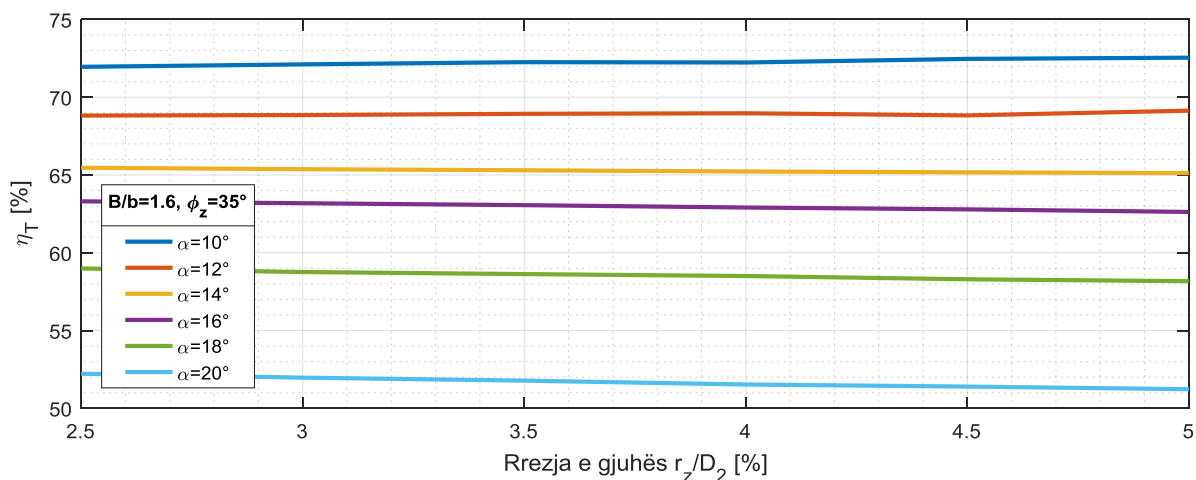


Figura 4.12 Rendimenti total i karkasës në funksion të rrezes së gjuhës së karkasës

Për kënde të spirales logaritmike 10° , 12° , me rritjen e rrezes së gjuhës së karkasës, rendimenti rritet lehtësisht, ndërsa për kënde 14° , 16° , 18° dhe 20° rendimenti zvogëlohet. Në përfundim mund të themi se, për kënde të vogla të spirales logaritmike, 10° dhe 12° , vlera maksimale e rendimentit merret për rreze të gjuhës së karkasës 5%, ndërsa e kundërta mund të thuhet për vlera të rritur të këndit të spirales logaritmike alfa.

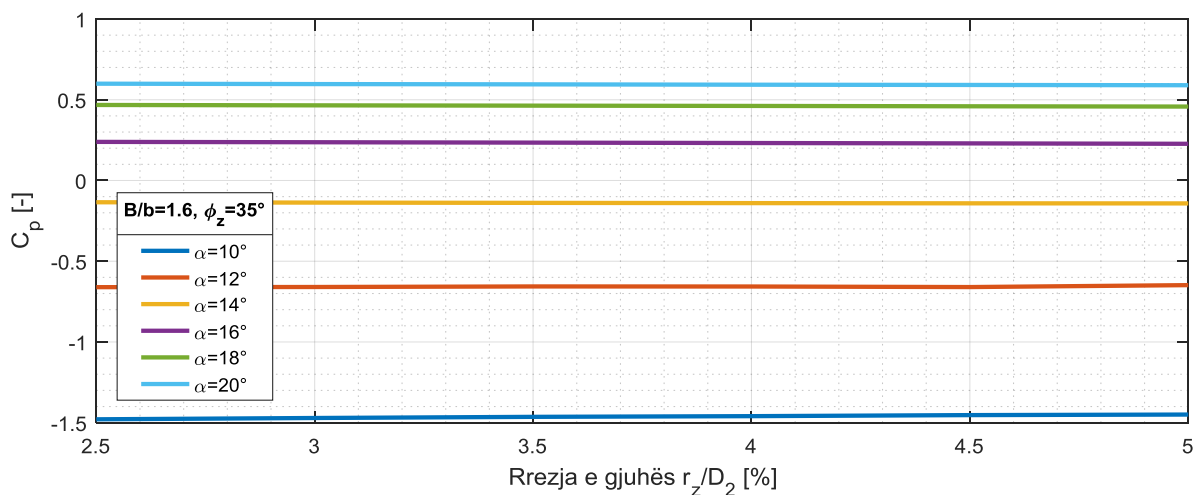


Figura 4.13 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të rrezes së gjuhës së karkasës

Nga figura 4.13 vërehet qartë se: **rrezja e gjuhës së karkasës nuk ka ndikim të dukshëm në vlerën e koeficientit të rikuperimit të presionit statik.**

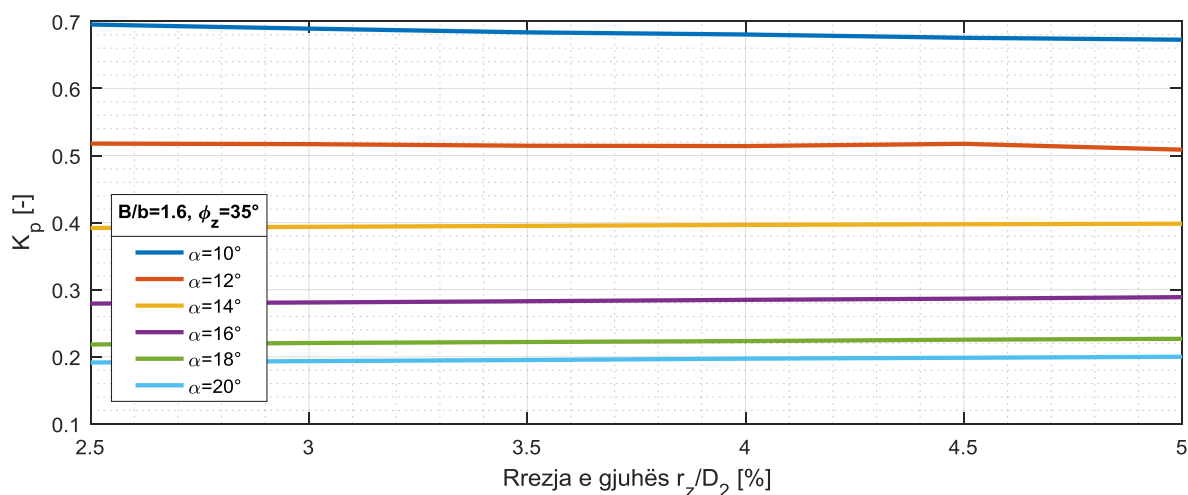


Figura 4.14 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të rrezes së gjuhës së karkasës

Të njëjtin përfundim mund të themi edhe për koeficientin e humbjeve totale të presionit.

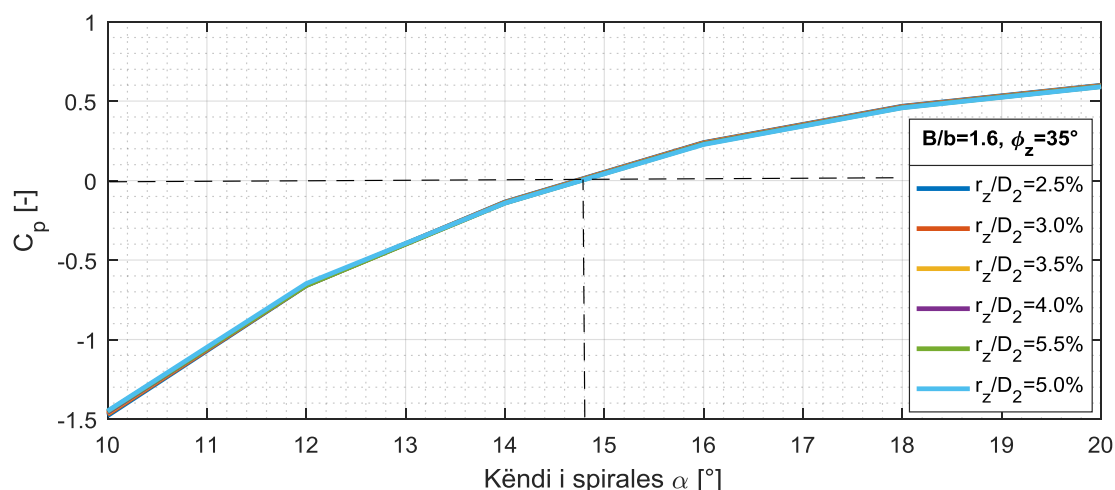


Figura 4.15 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë për rreze të ndryshme të gjuhës së karkasës në funksion të këndit të spirales logaritmike

Gjithashtu nga figura 4.15, koeficienti i rikuperimit të presionit statik nuk ndikohet nga rrezja e gjuhës së karkasës, pavarësisht vlerave të këndit të spirales logaritmike, por ajo që mund të vërejmë është se, për këtë pikë funksionimi të ventilatorit, vlera pozitive të koeficientit të rikuperimit të presionit statik mund të arrihen vetëm për vlera të këndit të spirales logaritmike më të mëdha se 14.8° .

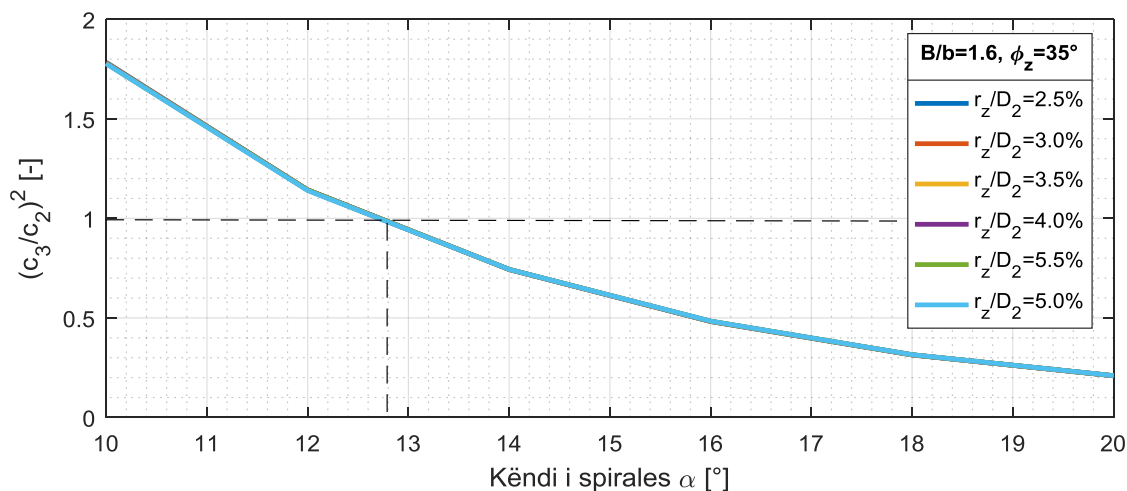


Figura 4.16 Shkalla e energjisë kinetike në dalje dhe në hyrje në funksion të këndet të spirales logaritmike

Meqenëse ky parametër (shkalla e energjisë kinetike në dalje dhe në hyrje) është në funksion të koeficientit të rikuperimit të presionit statik edhe të koeficientit të humbjeve totale të presionit, mund të themi se për këtë tip rotorit të ventilatorit, si edhe për këtë pikë funksionimi, rekomandohet që vlera e këndit të spirales logaritmike të jetë më e madhe se 12.8° , duke plotësuar kushtin që ky parametër të këtë vlerë më të vogël se 1.

4.1.5 Ndikimi i profilit të shpejtësisë në hyrje të karkasës

Siç është përmendur edhe më sipër, për grupin e parë të simulimeve, kemi pranuar komponente konstante tangenciale dhe radiale të shpejtësisë. Në të vërtetë përgjatë gjerësisë së rotorit shpejtësia është e ndryshme. Ky informacion vërtetohet edhe në rezultatet e simulimeve numerike të kryera për rotorin e ventilatorit centrifugal [2].

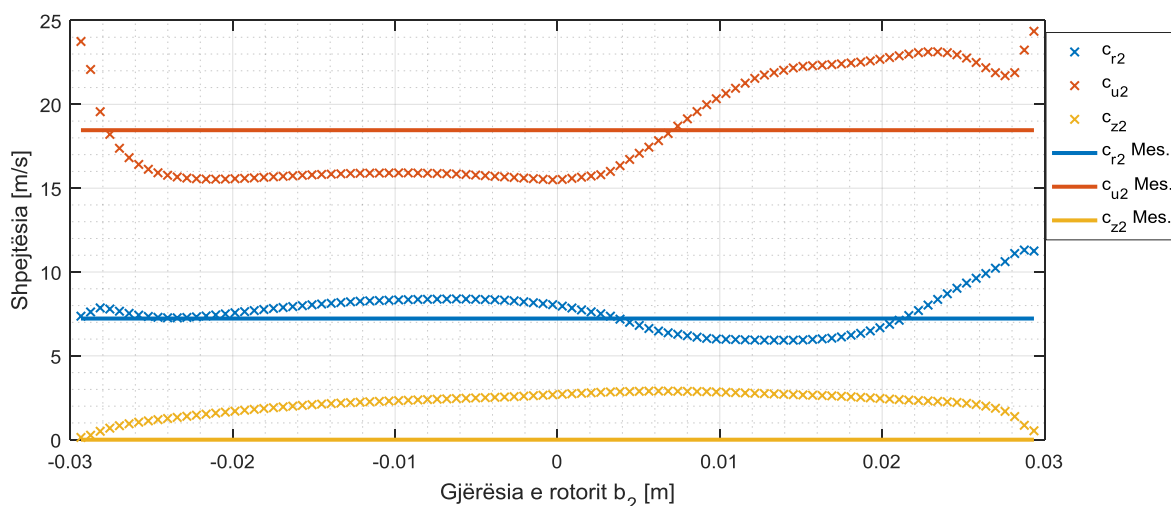


Figura 4.17 Profili i shpejtësisë nga rezultatet e CFD të rotorit dhe vlerat mesatare të tyre [2].

Nga rezultatet e simulimeve numerike të rotorit [2], të cilat janë baza e llogaritjes për studimin tonë, rezultatet në dalje të rotorit do të shërbejnë si parametrat në hyrje të karkasës. Në këtë mënyrë është treguar kujdes që të sigurohet i njëjti profil i shpejtësisë në dalje të rotorit dhe çdo qelize në hyrje të karkasës spirale. Në këtë rast siç tregohet edhe nga figura 4.17, do të kemi edhe komponente aksiale të shpejtësisë, gjë e cila në simulimet e mësipërme nuk është marrë në konsideratë. Për këtë grup simulimesh është zvogëluar akoma më shumë intervali i raportit së gjerësisë ($B/b_2 = 1.8 \div 2.6$).

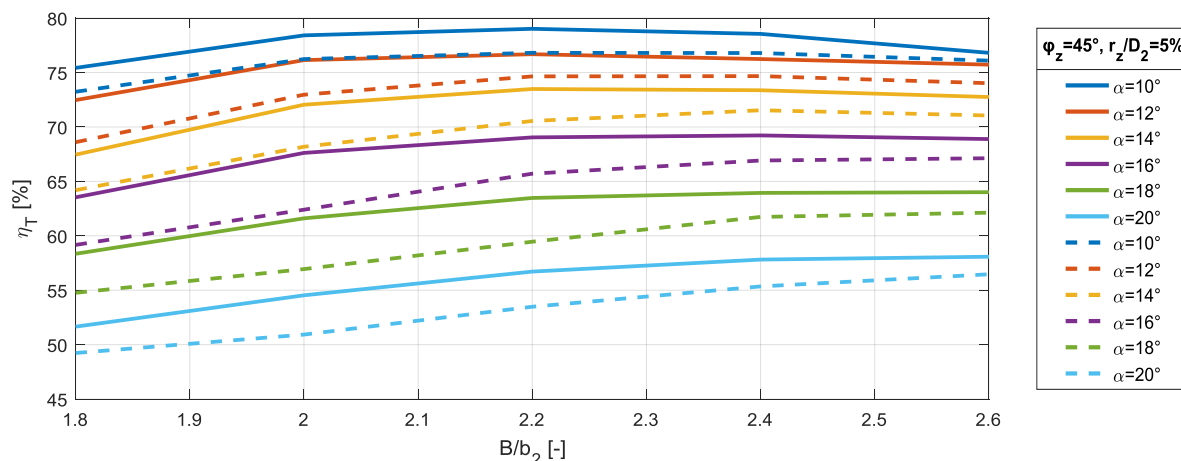


Figura 4.18 Krahasoni i rendimentit total të karkasës me shpejtësitë konstante (vijat e plota) dhe shpejtësitë jo uniforme (vijat e ndërprera)

Në figurën 4.18 paraqitet krahasimi i rezultateve për komponentët reale të shpejtësisë dhe vlerave mesatare të tyre. Në secilën prej rasteve komponentët e shpejtësisë ndikojnë në përkeqësimin e vlerës së rendimentit, të cilat rezultojnë me vlera më të vogla.

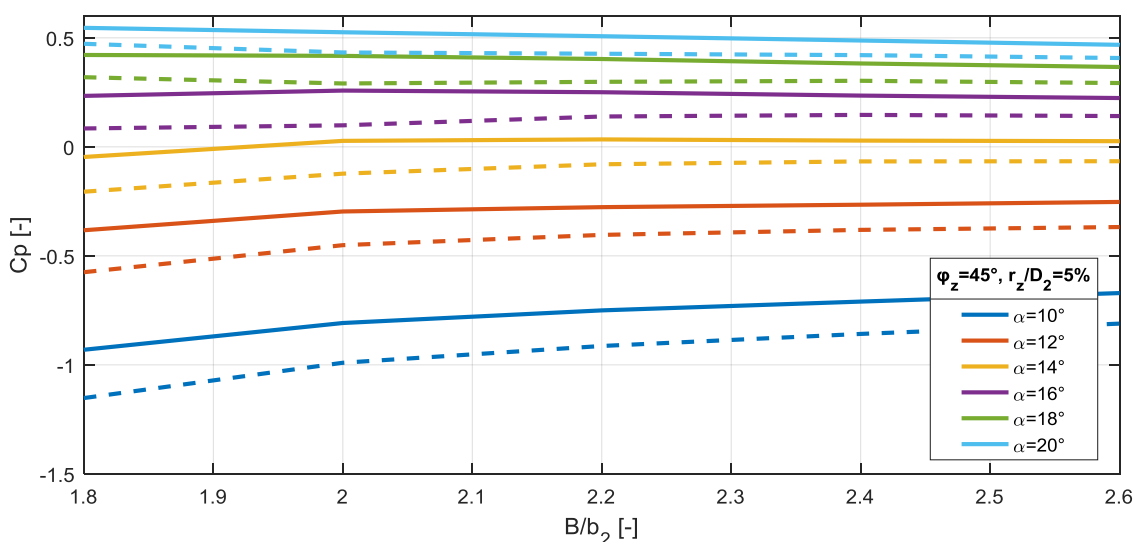


Figura 4.19 Krahasoni i koeficientit të rikuperimit të presionit statik në karkasë me shpejtësitë konstante (vijat e plota) dhe shpejtësitë jo uniforme (vijat e ndërprera)

Profili i shpejtësisë ka një ndikim të rëndësishëm në vlerën e koeficientit të rikuperimit të presionit statik dhe koeficientin total të humbjeve të presionit, ku për secilin prej rasteve, vërehen vlera më të ulëta të C_p dhe vlera më të larta të K_p .

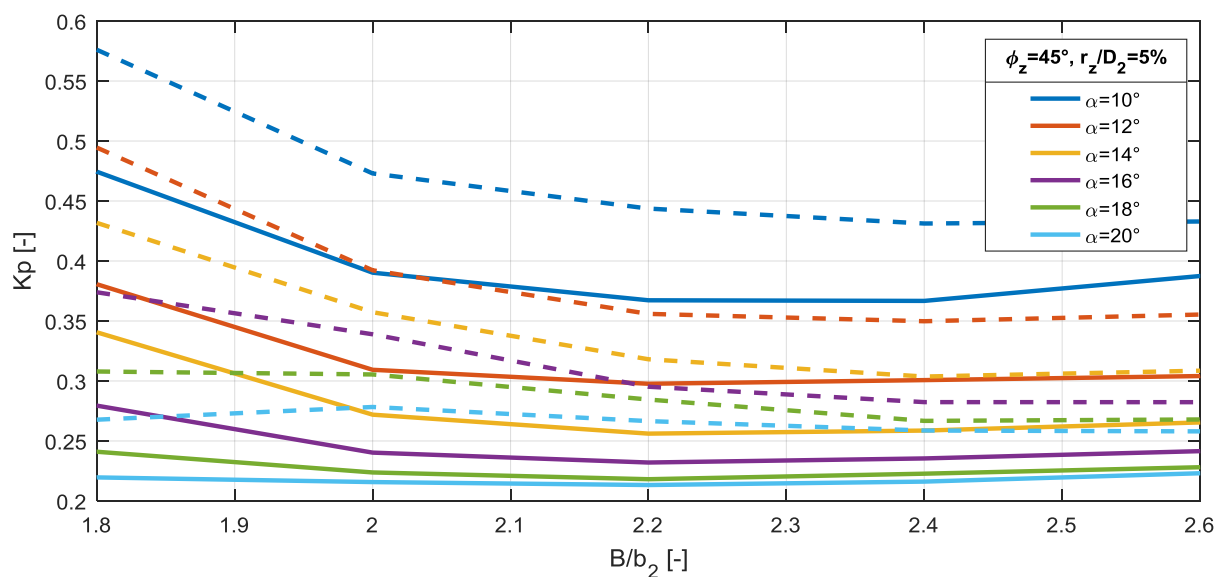


Figura 4.20 Krahاسi i koeficientit të humbjeve totale të presionit në karkasë me shpejtësitë konstante (vijat e plota) dhe shpejtësitë jo uniforme (vijat e ndërprera)

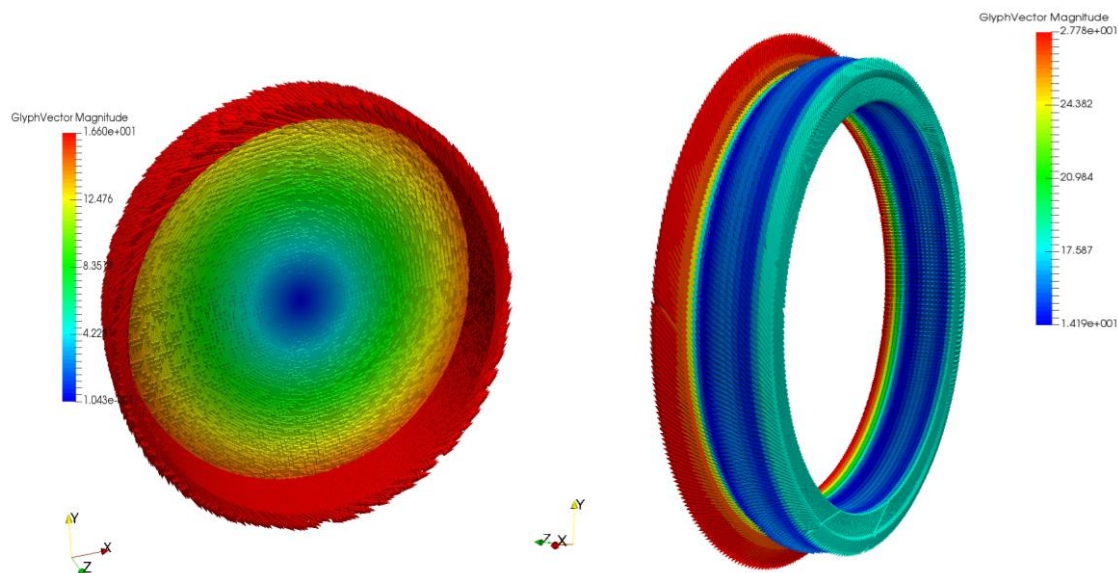


Figura 4.21 Krahاسi i profilit të shpejtësisë në rastin e komponentëve konstante dhe sipas profilit real

4.1.6 Ndikimi i pozicionit të rotorit në brendësi të karkasës

Në simulimet e para është pranuar që pozicioni i rotorit të jetë në mes të gjerësisë së karkasës, kjo është marrë për shkak të formës gjeometrike të thjeshtë të rotorit. Për shkak të formës reale të rotorit, pozicioni relativ i tij mund të ndryshojnë. Për këtë grup simulimesh është

pranuar vlerë konstante e këndit të spirales logaritmike $\alpha = 10^\circ$, këndit të gjuhës së karkasës $\phi_z = 45^\circ$ dhe rreze të gjuhës $r_z / D_2 = 5\%$.

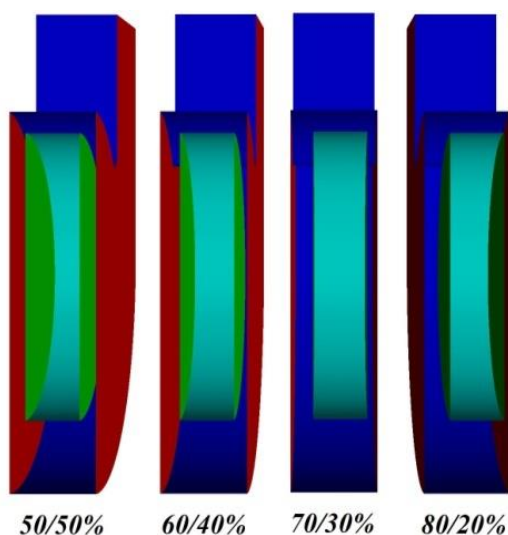


Figura 4.22 Paraqitja skematike e pozicionit relativ rotor/karkasë

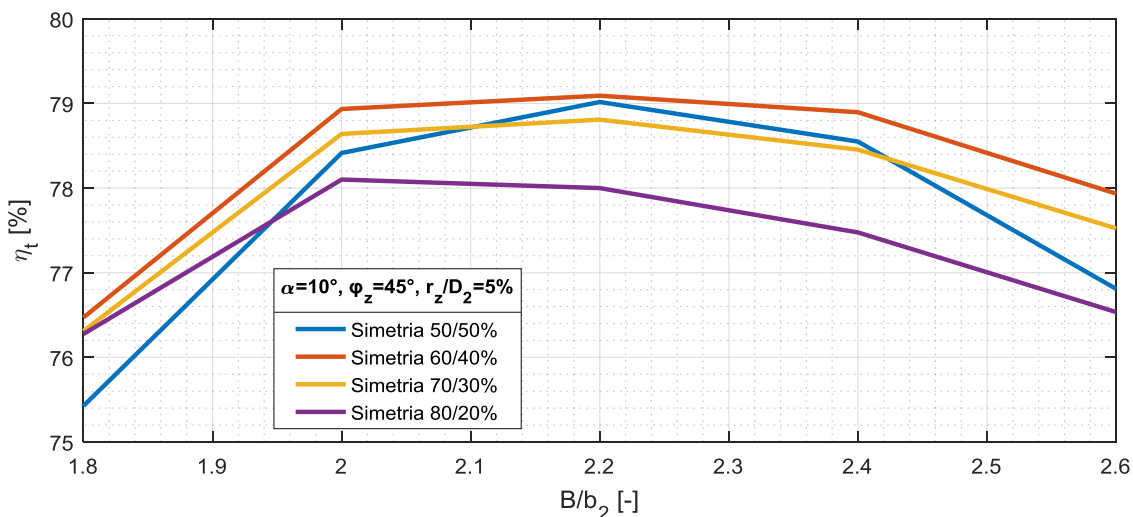


Figura 4.23 Rendimenti total i karkasës për pozicion të ndryshme të rotorit

Nga Figura 4.22 vërehet se për një shmangie të vogël nga pozicioni i simetrisë së plotë, kemi vlera më të larta të rendimentit total. Vërehet se vlera maksimale e rendimentit arrihet për një pozicion të rotorit dhe karkasës 60/40%, ndërsa vlera minimale arrihet për pozicion të rotorit në karkasë 80/20%.

4.1.7 Ndikimi i tubit të shkarkimit në dalje të karkasës

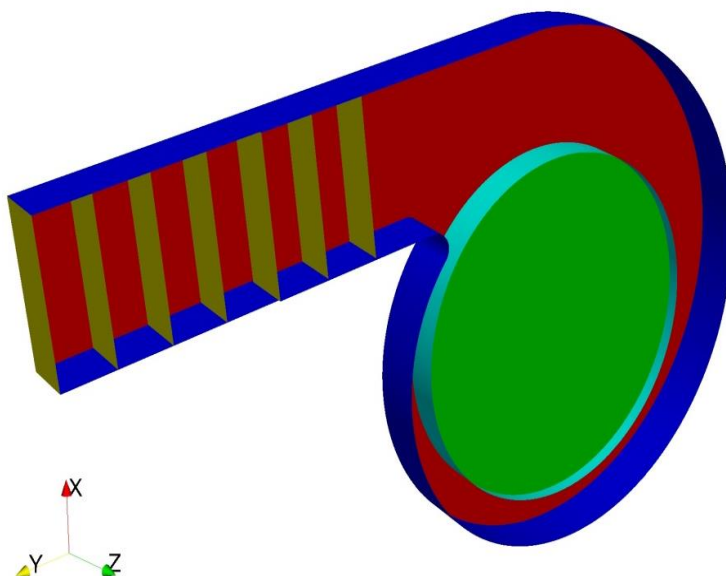


Figura 4.24 Paraqitja skematike e gjatësisë së tubit të shkarkimit

Zakonisht në dalje të karkasës spirale për kërkesa specifike mund të vendoset një difuzor tjetër. Gjatë këtyre simulimeve është pranuar një gjatësi e ndryshme e tubit të shkarkimit për të parë efektin që ka gjatësia e tubit në vlerën e rendimentit të përgjithshëm dhe koeficientit të rikuperimit të presionit statik. Rezultatet e përftuara për ndikimin në vlerën e rendimentit jepen në grafikun si me poshtë.

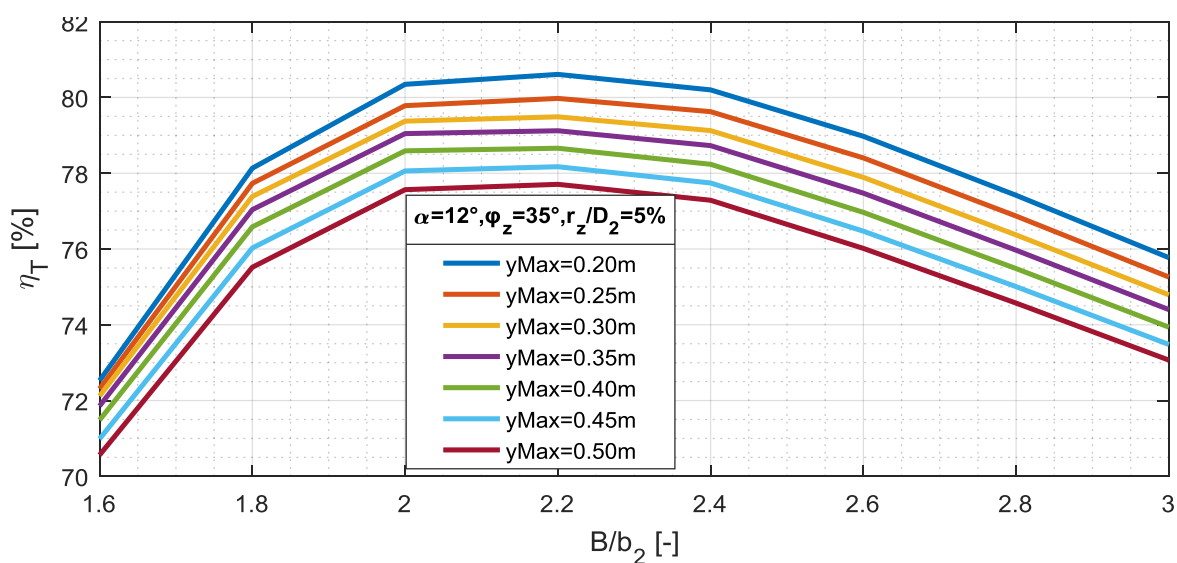


Figura 4.25 Rendimenti total i karkasës për gjatësi të ndryshme të tubit të shkarkimit

Rezultatet janë të pritshme, me rritjen e gjatësisë së tubit të shkarkimit, vlerat e rendimentit do të zvogëlohen. Kjo interpretohet me rritjen e humbjeve për shkak të rritjes së sipërfaqes në dalje. Parametri tjetër që duhet të kontrollohet është koeficienti i rikuperimit të presionit statik,

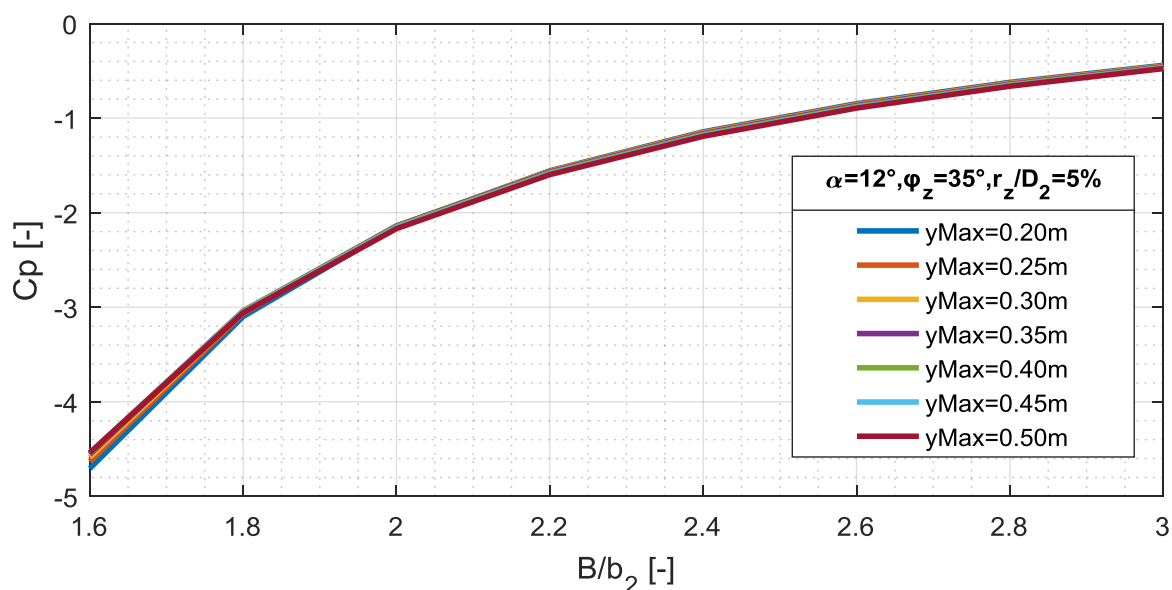


Figura 4.26 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të gjatësisë së tubit të shkarkimit

Nga grafiku i mësipërm dalim në konkluzionin se gjatësia e tubit të shkarkimit nuk shfaq ndikim në vlerën e rikuperimit të presionit statik. Nëse do të kemi interes në gjenerimin e presionit statik, duke vendosur një difuzor në dalje, do të ishte e rekomandueshme që difuzori të vendoset sa me afër seksionit në dalje të karkasës spirale, në mënyrë që të mos kemi ulje të rendimentit.

4.1.8 Ndikimi i formës reale të rotorit të ventilatorit centrifugal

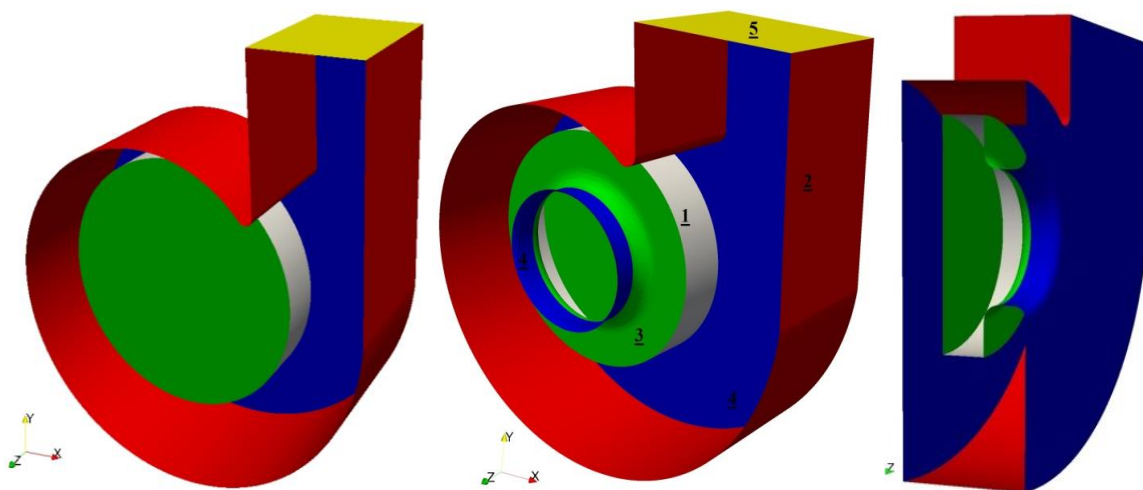


Figura 4.27 Krahasoni i formës gjeometrike të thjeshtësuar dhe gjeometrisë reale të rotorit

Ashtu siç e kemi përmendur në fillim të kapitullit, është pranuar formë e thjeshte gjeometrike e rotorit për grupin e parë të simulimeve, me qëllimin e vetëm të kursimit të kohës së zgjidhjes të simulimeve numerike. Në grafikun më poshtë do të tregohen ndryshimet që do të kemi në vlerat e rendimentit, koeficientit të rikuperimit të presionit statik dhe koeficientit të humbjeve totale në karkasë.

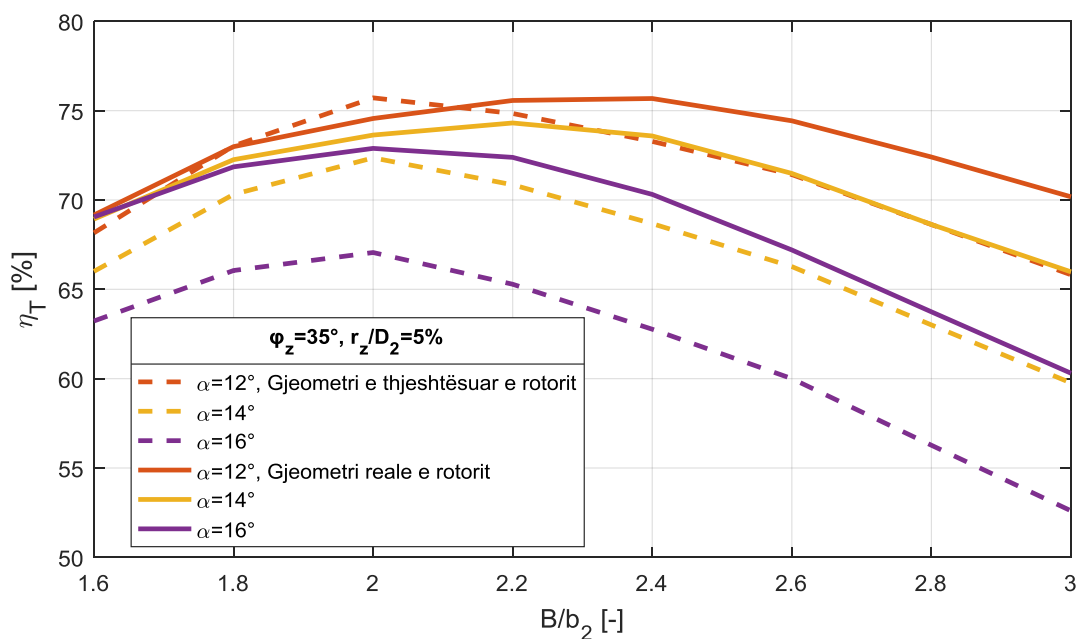


Figura 4.28 Rendimenti i karkasës për gjeometri të thjeshtësuar dhe gjeometri reale të rotorit

Forma reale e rotorit të ventilatorit centrifugal ndikon pozitivisht në vlerën e rendimentit të karkasës spirale. Për kënde të vogla të karkasës rritja e rendimentit është relativisht e vogël, ndërsa për kënde të mëdha rritja është e konsiderueshme.

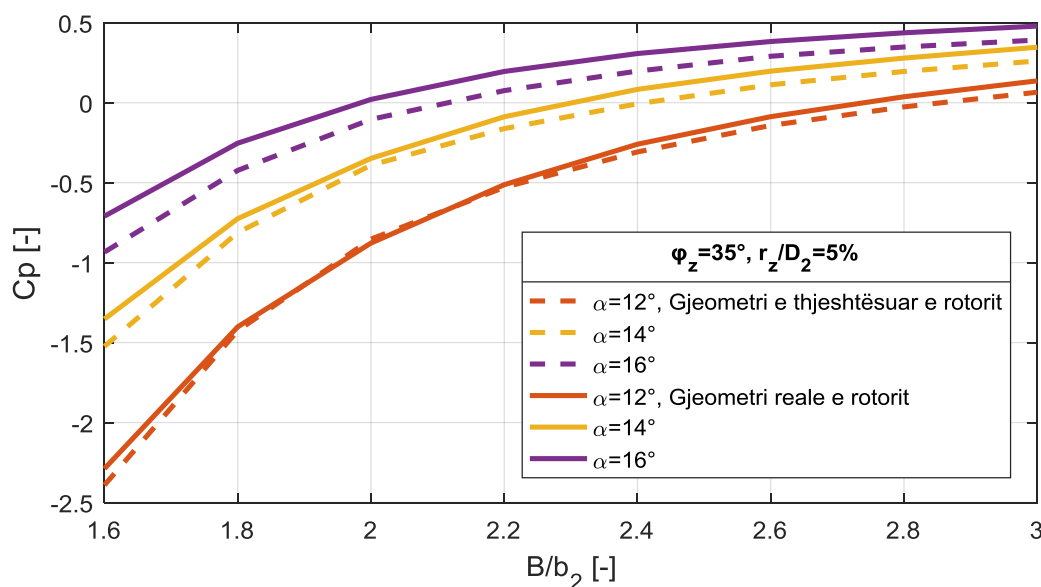


Figura 4.29 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë për gjeometri të thjeshtësuar dhe gjeometri reale të rotorit

Për secilën prej këndeve të spirales logaritmike vërehet një vlerë e rritur edhe në koeficientin e rikuperimit të presionit statik në karkasë, nëse përdorim rotorin me gjeometri reale.

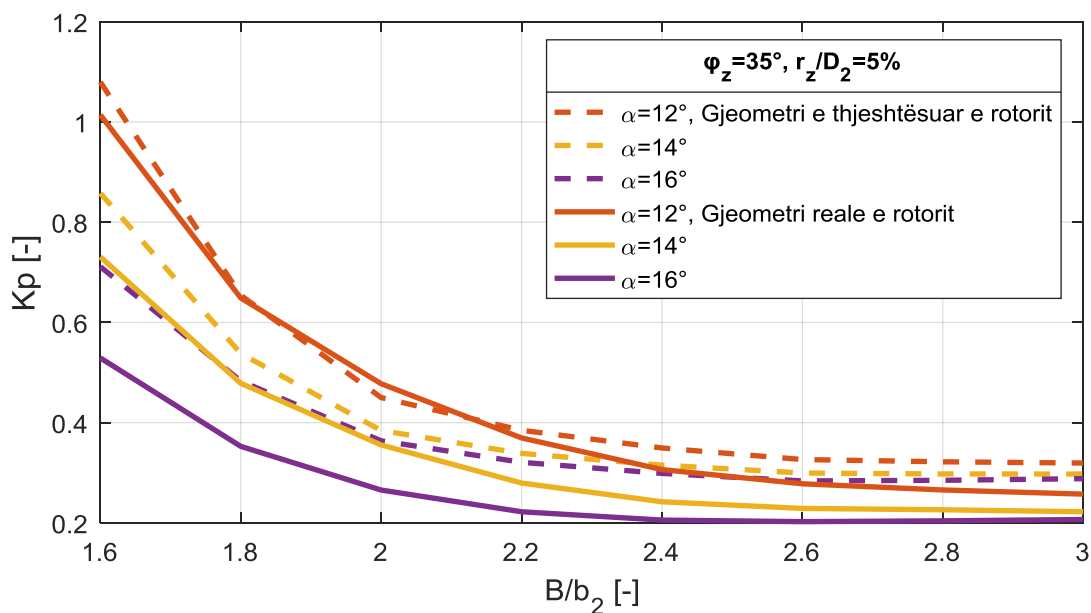


Figura 4.30 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë për gjeometri të thjeshtësuar dhe gjeometri reale të rotorit

Ndikim pozitiv vërehet edhe për koeficientin e humbjeve totale në karkasë, ku për secilin prej rasteve, rezultojnë në një vlerë më të vogël të K_p .

Me rezultatet e mësipërme mund të themi se forma reale e gjeometrisë së rotorit të ventilatorit ndikon në rritjen e performancës së karkasës.

Në këtë fazë të parë ngushtuam intervalin e vlerave që mund të marrin parametrat gjeometrikë të karkasës spirale. Në vijimësi të studimit, duhet të vazhdohet dhe të përmirësohen më tej këto parametra në mënyrë që të arrijmë në një performancë më të mirë të ventilatorëve centrifugale, me vlerat e rekomanduara të përfuara nga studimi.

4.2 PJESA EKSPERIMENTALE

4.2.1 Verifikimi i zgjidhjeve numerike nëpërmjet eksperimenteve

Pjesa eksperimentale e këtij punimi u realizua në laboratorin e Institutit të Fluideve dhe Termodinamikës në Universitetin e Siegen-it, Gjermani. Stenda laboratorike është e kalibruar dhe operon në përputhje me standardin Gjerman DIN 24163 pjesa I-rë dhe pjesa e II-të [42]. Gabimet e matjes janë përlogaritur nga Hensel [43] dhe Winkler [44], në vlerën 1% referuar koeficientit të prurjes ϕ , 0.5% referuar koeficientit të presionit ψ_{ts} dhe 2% referuar rendimentit η_{ts} . Në figurën 4.31 tregohet stenda laboratorike.



Figura 4.31 Stenda laboratorike për matjen e karakteristikave të ventilatorit, Universiteti i Siegen-it

4.2.2 Procedura e realizimit të eksperimenteve

Ajri merret nëpërmjet hundëzës në hyrje ku realizohet matja e vlerës së presionit statik. Me ndihmën e kurbës së kalibrit, vlerës së matur të presionit si dhe shpejtësisë së ajrit në hundëzën në hyrje realizohet matja në mënyrë të vazhduar e prodhimitarisë. Më pas ajri kalon në një ventilator ndihmës dhe në përsheptuesin e rrymës. Këto dy pajisje përdoren për të ndryshuar prodhimtarinë në intervale të ndryshme për ndërtimin e karakteristikës së

ventilatorit sipas pikave të punës së tij. Dhoma ka 4 vrima të vogla ku matet presioni. Për shkak të vlerës shumë të vogël të shpejtësisë në dhomë, presioni dinamik është i papërfillshëm, atëherë si rrjedhojë presioni statik i matur është supozuar i barabartë me presionin total. Hundëza në hyrje të rotorit është e integruar në pjesën e mbrapme të dhomës dhe në mënyrë aerodinamike lidh bango-provën me rotorin, i cili është vendosur në pjesën fundore të dhomës.

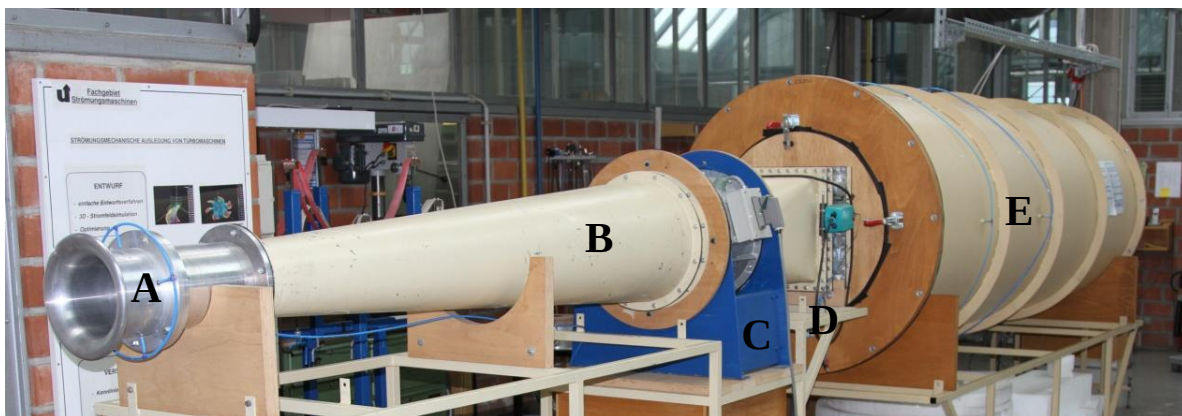


Figura 4.32 Bango prova në përputhje me standardin EN ISO 5801 [7]

- A. Hundëza në hyrje; matja e presionit e nevojshme për përcaktimin e prodhimtarisë.
- B. Drejtues i rrjedhjes
- C. Ventilatori ndihmës
- D. Përshpejtuesi (drosel)
- E. Dhoma, matja e presionit të rrymës në paretet e dhomës



Figura 4.33 Stenda laboratorike, EN ISO 5801 [7]

- F. Pasqyra fiksuese e karkasës spirale
- G. Elektromotori i cili shërben për të vënë në lëvizje ventilatorin.

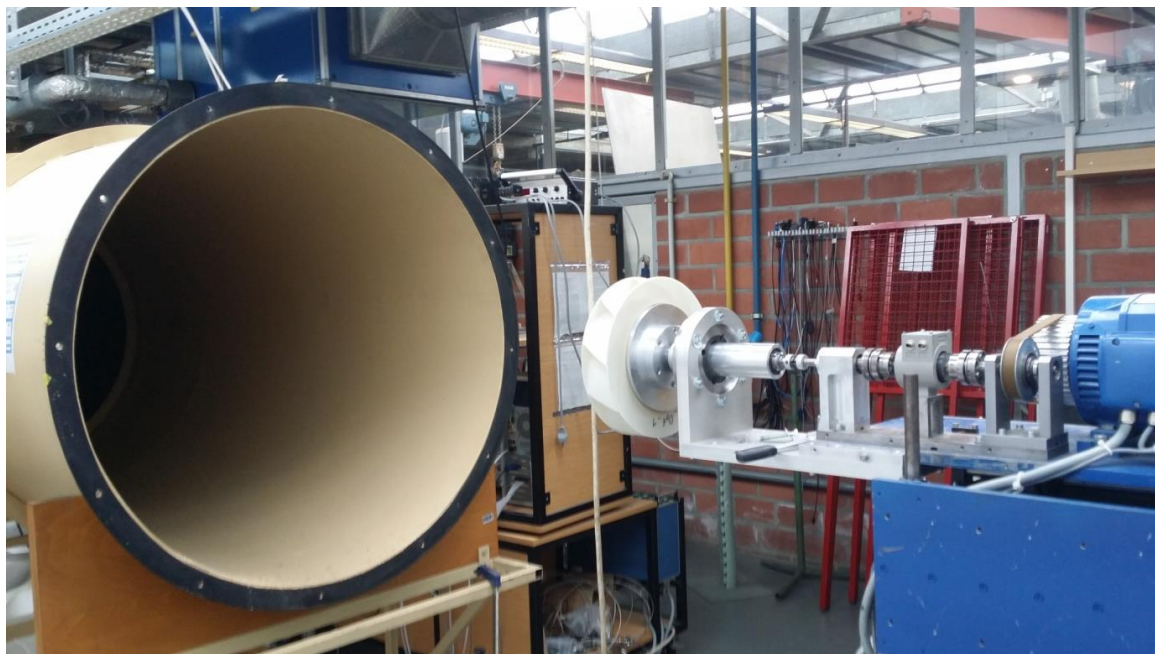


Figura 4.34 Bango prova për matjen e karakteristikave të ventilatorit në Universitetin e Siegen-it

Lidhja e boshtit të elektromotorit dhe ventilatorit realizohet nëpërmjet një pajisjeje (dinamometër) e cila shërben për të matur vlerën e momentit përdredhës si dhe numrin e rrotullimeve në boshtin e ventilatorit. Në pjesën e mbrapme të dhomës montohet ventilatori bashkë me karkasën spirale nëpërmjet një hundëze në hyrje. Ventilatori vendoset përballë dhomës, nga pjesa e thithjes dhe vihet në punë nëpërmjet elektromotorit. Fuqia e vënies në punë të ventilatorit përcaktohet duke matur momentin përdredhës në bosht dhe numrin e rrotullimeve të ventilatorit. Procedura e fillimit të eksperimentit kërkon kalibrimin e standës laboratorike, e cila konsiston në rakordimin e plotë të numrit të rrotullimeve midis boshtit të elektromotorit dhe boshtit të ventilatorit. Nëse vërehen mospërputhshmëri në vlerat e tyre atëherë në panelin kontrollit të standës vendosen vlerat reale të numrit të rrotullimeve e cila matet me anë të një pajisjeje me rreze drite me frekuencë të caktuar. Duke ditur fuqinë e ventilatorit, rendimentin e transmisionit me rrip si dhe duke realizuar matjen e momentit përdredhës në dalje të boshtit maten vlerat e humbjeve në kushineta (boshti i ventilatorit i shkëputur nga lidhja).



Figura 4.35 Pamja e hundzës nga pjesa e brendshme e standës laboratorike



Figura 4.36 Rotori i ventilatorit centrifugal bashkë me hundzën në hyrje



Figura 4.37 Kontrolli i vendosjes së rotorit dhe hundzës në hyrje nëpërmjet një kamere teleskopike



Figura 4.38 Pamja e elektromotorit që vë në lëvizje rotorin centrifugal



Figura 4.39 Pllaka e të dhënave teknike kryesore të elektromotorit



Figura 4.40 Rotori i ventilatorit centrifugal në lidhjen me elektromotorin



Figura 4.41 Paneli i kontrollit të elektromotorit

Modeli i rotorit të ventilatorit është ndërtuar duke përdorur printer 3D, nëpërmjet formatit .stl të gjeneruar nga forma e optimizuar gjatë simulimeve numerike.

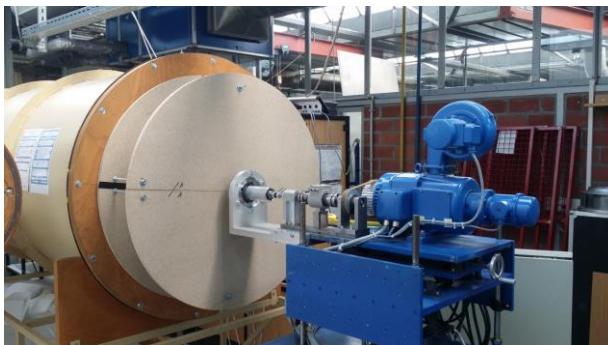


Figura 4.42 Pamje e plotë e njësies eksperimentale



Figura 4.43 Masë sigurie gjatë zhvillimit të eksperimenteve

4.2.3 Parametrat eksperimentale

Karakteristikat e ventilatorit do të ndërtohet nëpërmjet koeficientëve pa përmasa, p.sh prodhimtaria Q dhe presioni Δp janë parametra të varura nga diametri i ventilatorit, numri i rrotullimeve dhe densiteti i ajrit, kështu përftohen koeficientet pa përmasë si më poshtë:

$$\phi = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi^2}{4} D^3 n} \quad (4.1)$$

$$\psi = \frac{\Delta p}{\frac{\pi^2}{2} D^2 n^2 \rho} \quad (4.2)$$

Në përdorim, energjia kinetike në dalje të ventilatorit është e padobishme meqenëse ajri shpërndahet në ambientin e dhomës. Kështu që, rritja e presionit Δp përcaktohet si presioni statik-total (indeksi ts) i cili është presioni statik në dalje të ventilatorit (indeksi 2) minus presionin total në hyrje të tij (indeksi 1)

$$\Delta p_{ts} = p_2 - p_{t,1} \quad (4.3)$$

Për të përmirësuar efikasitetin e energjisë (rendimentin), fuqia e boshtit P duhet të jetë sa më e vogël e mundshme. Me fjalë të tjera, rendimenti statik i përgjithshëm i cili përcaktohet si më poshtë duhet të jetë sa më i lartë:

$$\eta_{ts} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{ts}}{P_{bosht}} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{ts}}{2\pi n \cdot M_{bosht}} \quad (4.4)$$

Rendimenti statik i përgjithshëm i ventilatorit dhe vlerat e presionit mund të llogaritet duke u bazuar në të dhënat eksperimentale dhe mund të llogaritet nga ekuacioni 4.5:

$$\Delta p_{ts} = p_3 - p_{t1} = (p_3 - p_2) + (p_2 - p_{t1}) = C_p \frac{\rho}{2} c_2^2 + \Delta p_{ts, \text{rotor}} \quad (4.5)$$

ku p_3 është presioni statik në dalje të karkasës

4.2.4 Krahاسimi i zgjidhjeve numerike dhe eksperimenteve

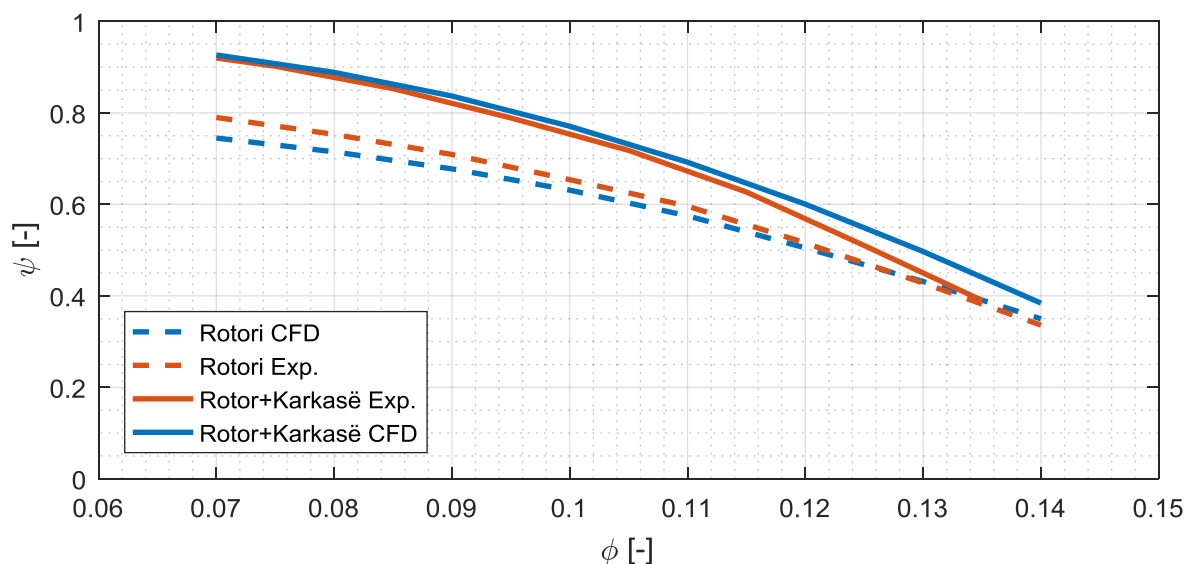


Figura 4.44 Krahاسimi i rezultateve nga eksperimentet dhe simulimet numerike për rotorin dhe ventilatorin

Për koeficientin e prurjes $\phi = 0.07 \div 0.14$, rezultatet nga simulimet numerike dhe nga eksperimentet janë të përafërta si për rotorin ashtu edhe për ventilatorin në tërësi. Për vlera të larta të koeficientit të prurjes, ka një shmangie të vogël por kjo vlerë nuk është më e madhe se 4.4%.

Për të krijuar një ide për vlerat reale të ventilatorit është paraqitur i njëjti rezultat si më sipër por në vlerë presioni Paskal [Pa] dhe prurje në vëllim [m^3/s].

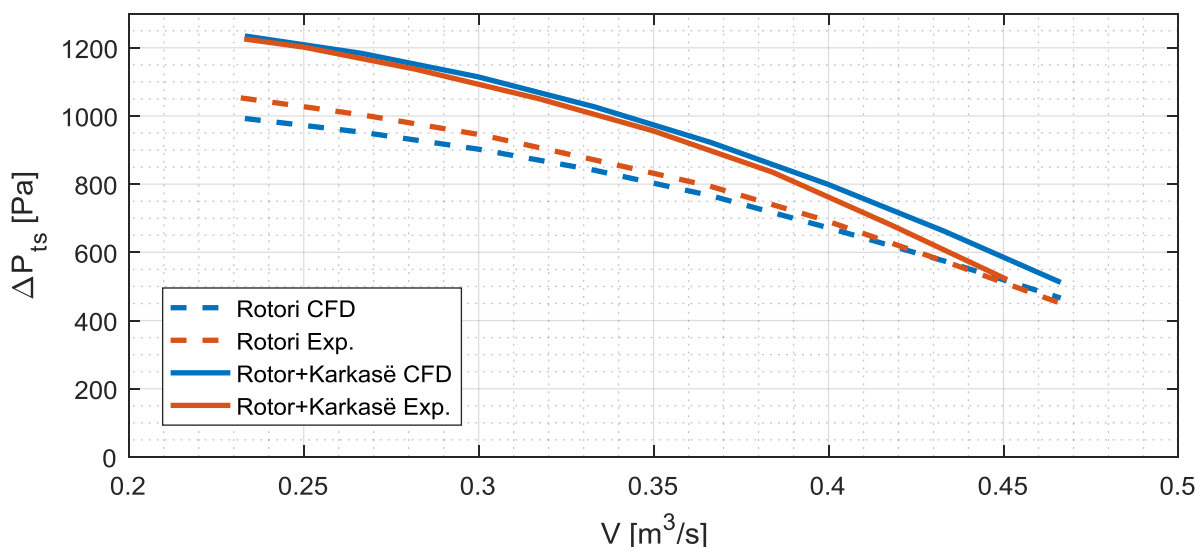


Figura 4.45 Krahاسimi i rezultateve nga eksperimentet dhe simulimet numerike për rotorin dhe ventilatorin

Rendimenti statik - i përgjithshëm i ventilatorit përcaktohet nga ekuacioni 4.6:

$$\eta_{ts} = \frac{\Delta p_{ts} \dot{V}}{P_{bosht}} = \frac{C_p \frac{\rho}{2} c_2^2 \dot{V}}{P_{bosht}} + \frac{\Delta p_{ts, rotor} \dot{V}}{P_{bosht}} = \frac{C_p \frac{\rho}{2} c_2^2 \dot{V}}{P_{bosht}} + \eta_{ts, rotor} \quad (4.6)$$

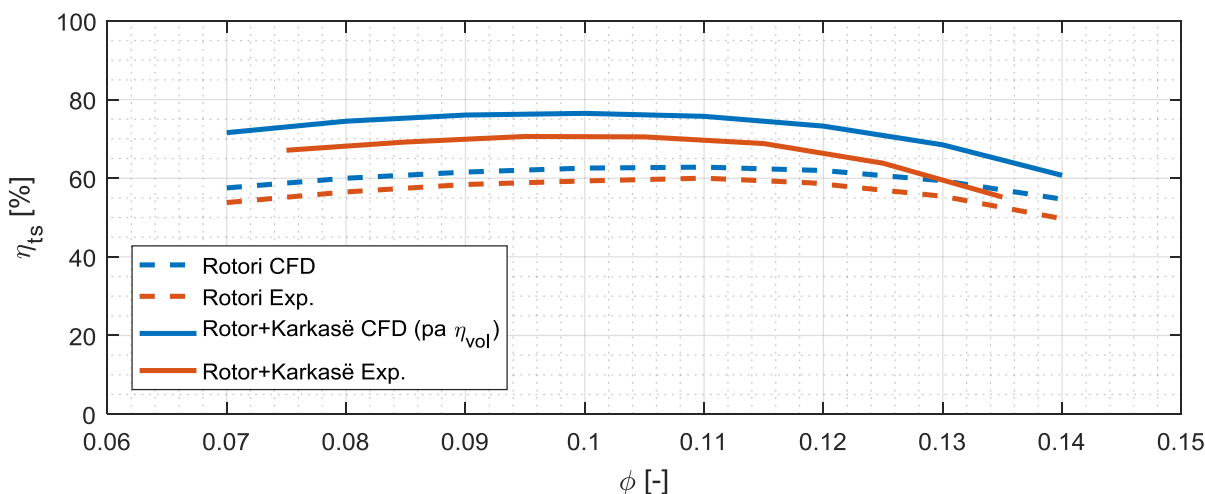


Figura 4.46 Krahasimi i rendimentit statik - të përgjithshme nga eksperimentet dhe simulimet numerike për rotorin dhe ventilatorin

Bazuar në të dhënat eksperimentale, rezultatet nga simulimet numerike janë më të larta. Por ajo që vërehet është se kurba e rendimentit nga rezultatet e simulimeve është gjithmonë më e madhe referuar çdo pike funksionimi të ventilatorit. Por ky ndryshim në rezultate, vjen si pasojë e efektit të riqarkullimit në karkasë, efekt i cili nuk është marrë parasysh në simulimet numerike të karkasës. Ky efekt lidhet me distancën e sigurisë që duhet të ketë rotorin nga karkasa. Për shkak të kësaj distance një pjesë e fluidit riqarkullon sërish brenda rotorit. Nga të dhënat e simulimeve numerike të rotorit, kjo vlerë është përcaktuar si më poshtë.

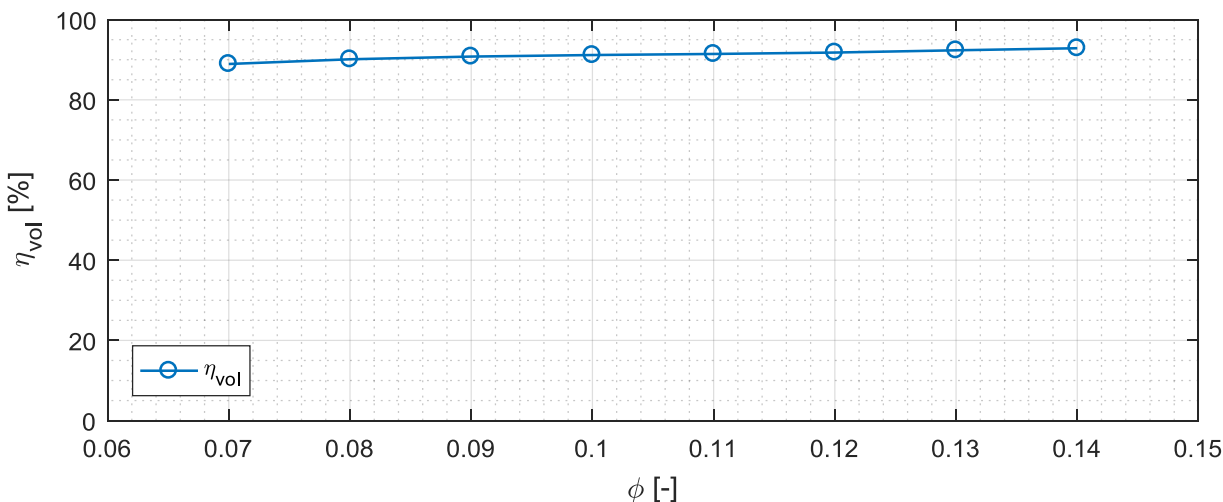


Figura 4.47 Rendimenti volumetrik i rotorit centrifugal

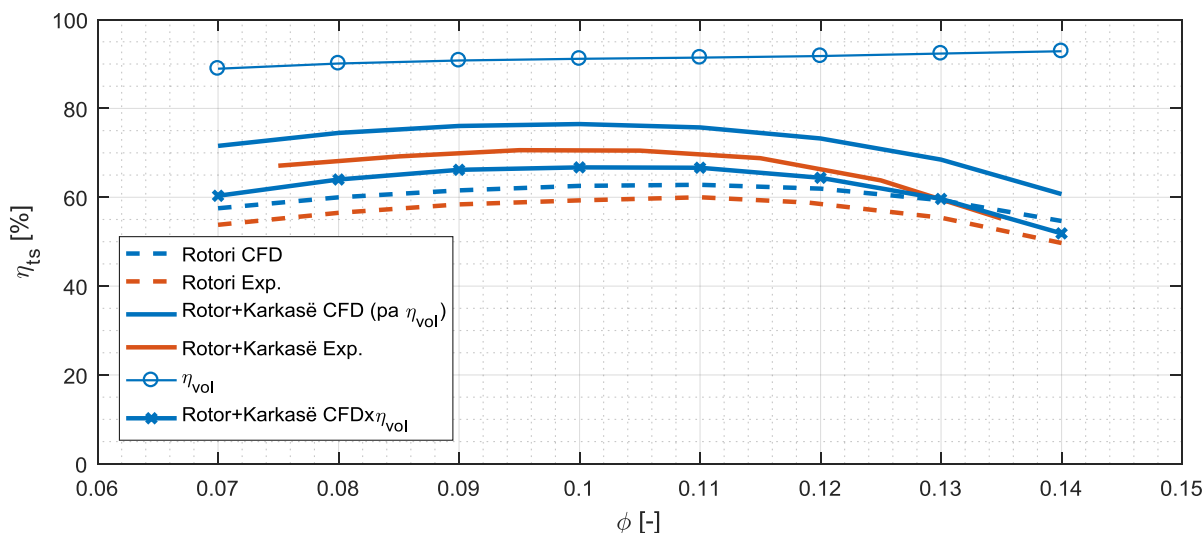


Figura 4.48 Krahasoni final i rendimentit nga rezultatet e simulimeve numerike dhe eksperimenteve

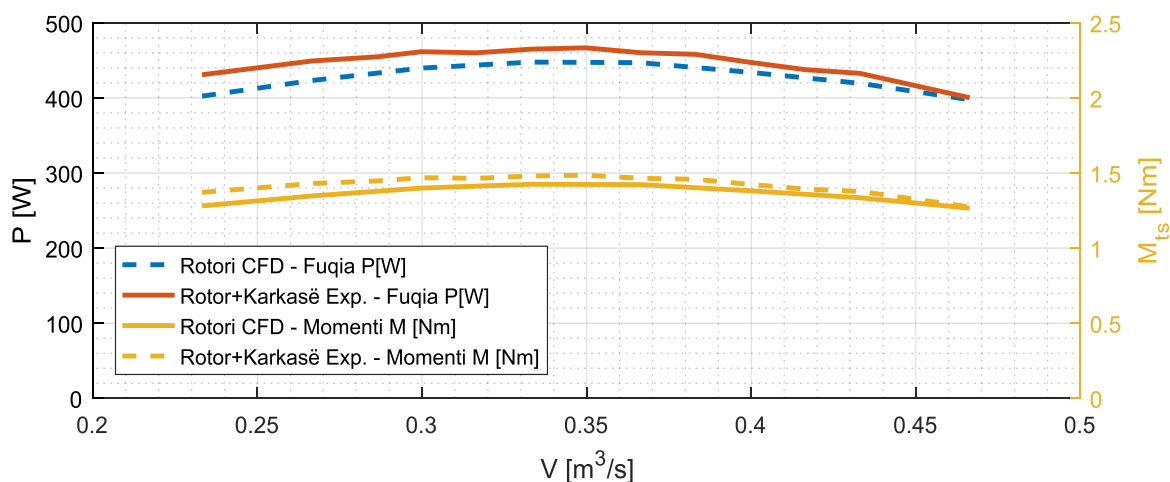


Figura 4.49 Krahasoni final i fuqisë dhe momentit përdredhës nga rezultatet e simulimeve numerike dhe eksperimenteve

Në këtë rast shohim se rezultatet janë shumë të përafërta dhe gabimi maksimal midis rezultateve arrin në vlerën 4.4%. Në këtë mënyrë rezultatet nga simulimet numerike marrin vërtetësinë e zgjidhjes.

4.2.5 Mirënjohje

Pjesa eksperimentale e prezantuar në këtë punim doktore është realizuar në Institutin e Fluideve dhe Termoteknikës në Universitetin e Siegen-it, Gjermani. Mirënjohje për të gjithë anëtarët e institutit dhe në veçanti për Prof. Dr. Thomas Carolus dhe Dipl.-Ing. Bernd Homrighausen, për mbështetjen e vazhdueshme gjatë qëndrimit në Siegen dhe krijimin e mundësisë për realizimin e eksperimenteve.

4.3 REZULTATET NGA SIMULIMET NUMERIKE – Pjesa II

Në këtë grup simulimesh, studimi do të fokusohet në efektin e hapësirës së sigurisë midis rotorit dhe karkasës spirale. Nga rezultatet e kryera deri më tani, ndikimi dhe efekti i parametrave gjeometrike, janë dhënë në mënyrë të veçantë dhe jo si funksion i hapësirës së sigurisë. Duke u nisur nga mënyra e ndërtimit, gjuha e karkasës spirale është funksion i këndit të spirales logaritmike α , rrezes së gjuhës r_z si edhe këndit të fillimit të gjuhës φ_z . Meqenëse fokusi i studimit tonë trajton çdo pikë funksionimi të ventilatorit atëherë këndi i karkasës spirale do të variojë nga vlera $\alpha = 12 \div 20^\circ$. Përsa i përket gjerësisë së karkasës B është pranuar një vlerë konstante pasi ky parametër nuk ndikon në hapësirën e sigurisë, (shiko figurën 2.4). Duke iu referuar literaturës, përcaktojmë vlerat e rekomanduara që mund të marrin këto parametra (Bommes 2003) [26]. Fillimisht disa parametra gjeometrike do ti pranojmë konstante dhe më pas në mënyrë të vazhdueshme shqyrtojmë edhe parametrat e tjerë influencues.

4.3.1 Ndikimi i rrezes së gjuhës së karkasës

Për këtë rast kemi pranuar një vlerë mesatare të këndit $\alpha = 16^\circ$ dhe këndin e gjuhës së karkasës $\varphi_z = 35^\circ$, dhe do të ndryshojmë rrezën e gjuhës së karkasës në vlerat $\frac{r_z}{D_2} = 2.5 \div 5\%$. Rezultatet e simulimeve numerike të realizuar për këto kushte jepen si më poshtë.

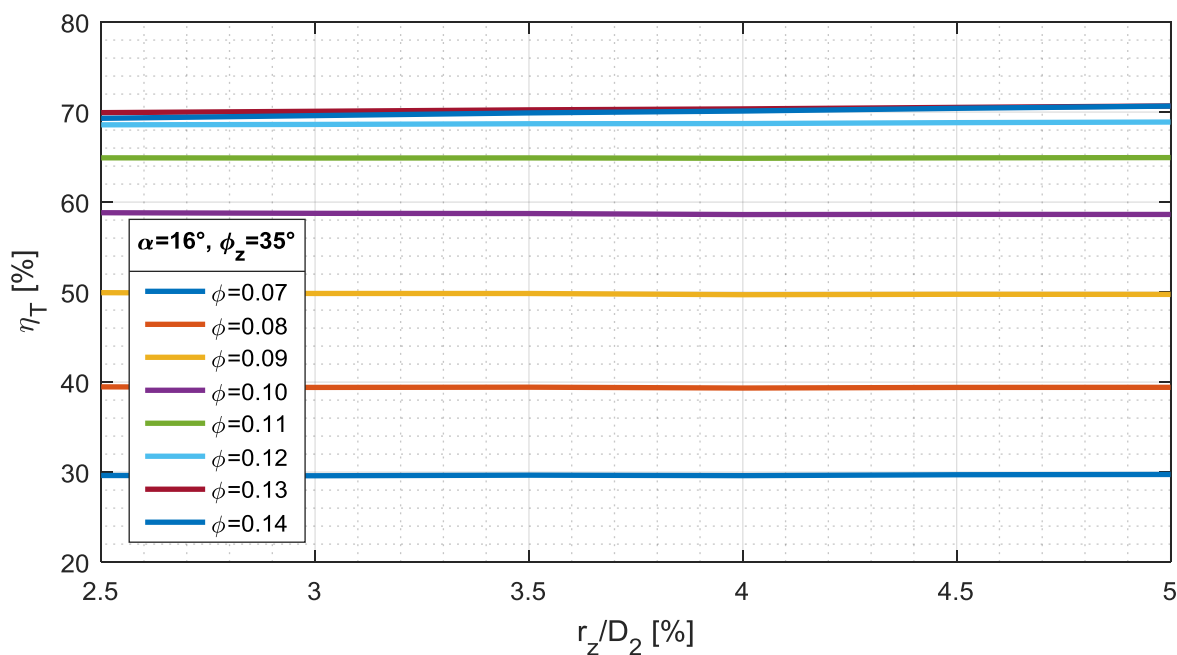


Figura 4.50 Efekti i rrezes së gjuhës së karkasës në efencën totale të karkasës

Nga figura 4.50 vihet re se ndryshimi i rrezes së gjuhës së karkasës nuk ka ndikim në rendimentin total të karkasës për secilën pikë funksionimi. Rendimenti maksimal i arritur në karkasë i referohet koeficientit të prurjes $\phi = 0.12 \div 0.14$. Prandaj del e nevojshme të verifikohet efekti mbi koeficientin e rikuperimit të presionit statik të karkasës.

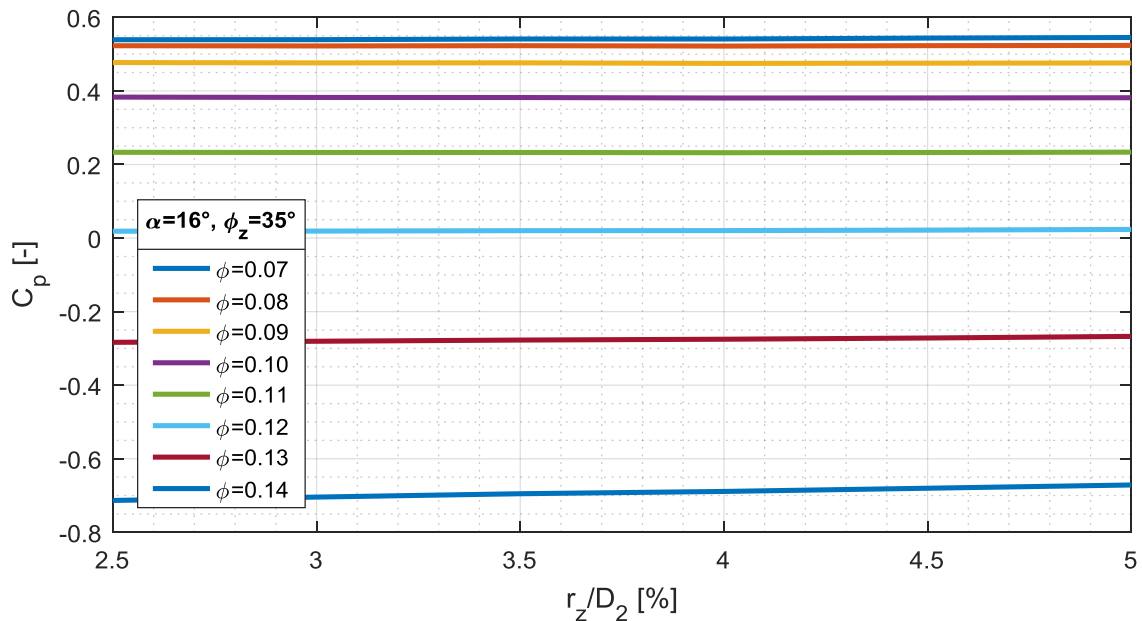


Figura 4.51 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të rrezes së gjuhës së karkasës

Të njëjtën gjë mund të themi edhe për koeficientin e rikuperimit të presionit statik në karkasë. Por në ndryshim nga rendimenti i karkasës, koeficienti i rikuperimit të presionit statik merr vlerat maksimale për koeficient të prurjes minimale dhe vlera pozitive për koeficientin e prurjes për koeficientin e prurjes nga $\phi = 0.07 \div 0.11$.

4.3.2 Ndikimi i këndit të gjuhës së karkasës

Meqenëse rrezja e gjuhës së karkasës nuk ka efekt mbi rendimentin e karkasës së ventilatorit atëherë duhet të merren në konsideratë vlera të tjera të këndit të gjuhës së karkasës. Për të siguruar një distancë minimale të hapësirës së sigurisë prej 3.5% [26] është pranuar si vlerë minimale e gjuhës së karkasës, 35°. Në fund të simulimeve jepen grafikisht lidhja midis parametrave si më poshtë:

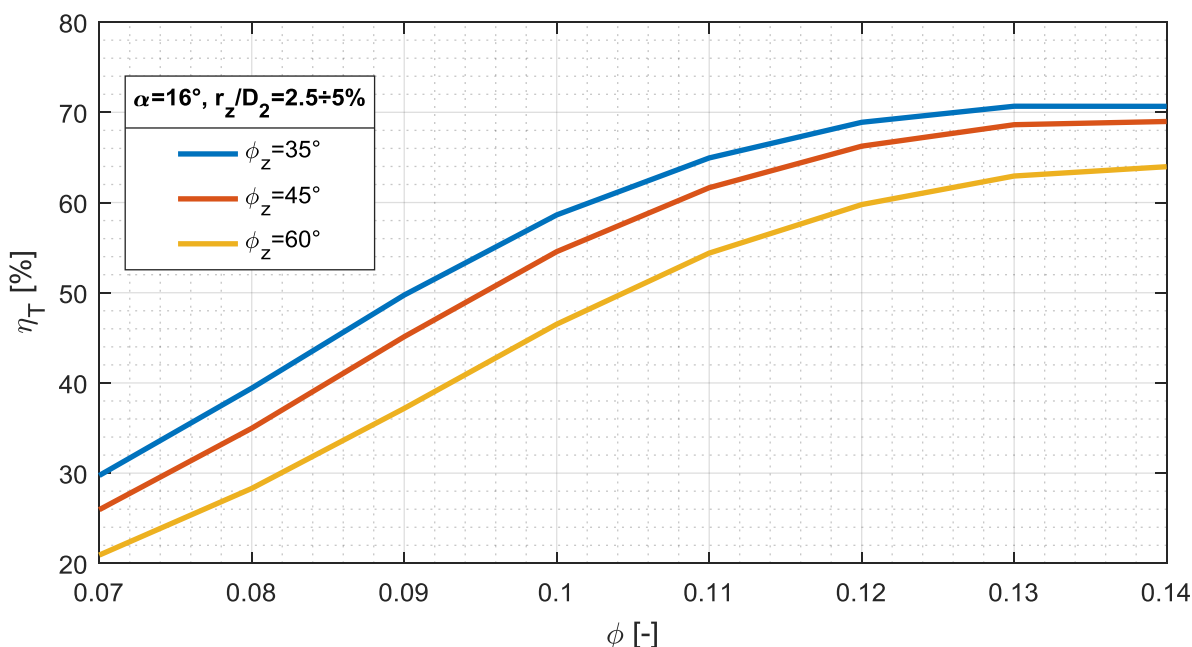


Figura 4.52 Rendimenti total i karkasës në funksion të koeficientit të prurjes

Nga figura 4.52, vihet re një rritje e vazhdueshme e rendimentit me rritjen e koeficientit të prurjes, dhe kjo tendencë është e njëjtë për çdo vlerë të këndit të gjuhës së karkasës. Por me rritjen e këndit të gjuhës së karkasës ϕ_z , do të kemi zvogëlim të rendimentit të karkasës.

Nëse do të analizonim vlerat e rikuperimit të presionit statik do të vërenim se për koeficient të prurjes minimale arrihen vlerat maksimale të rikuperimit të presionit. Në këtë rast me rritjen e këndit të gjuhës së karkasës, kemi gjithashtu rritjen e vlerave të koeficientit të rikuperimit të presionit statik. Vlera optimale maksimale arrihet për koeficient të prurjes $0.07 \div 0.08$. Nëse i referohemi vlerave të mëdha të koeficientit të prurjes, vërehen gjithashtu vlera negative të koeficientit të rikuperimit të presionit statik.

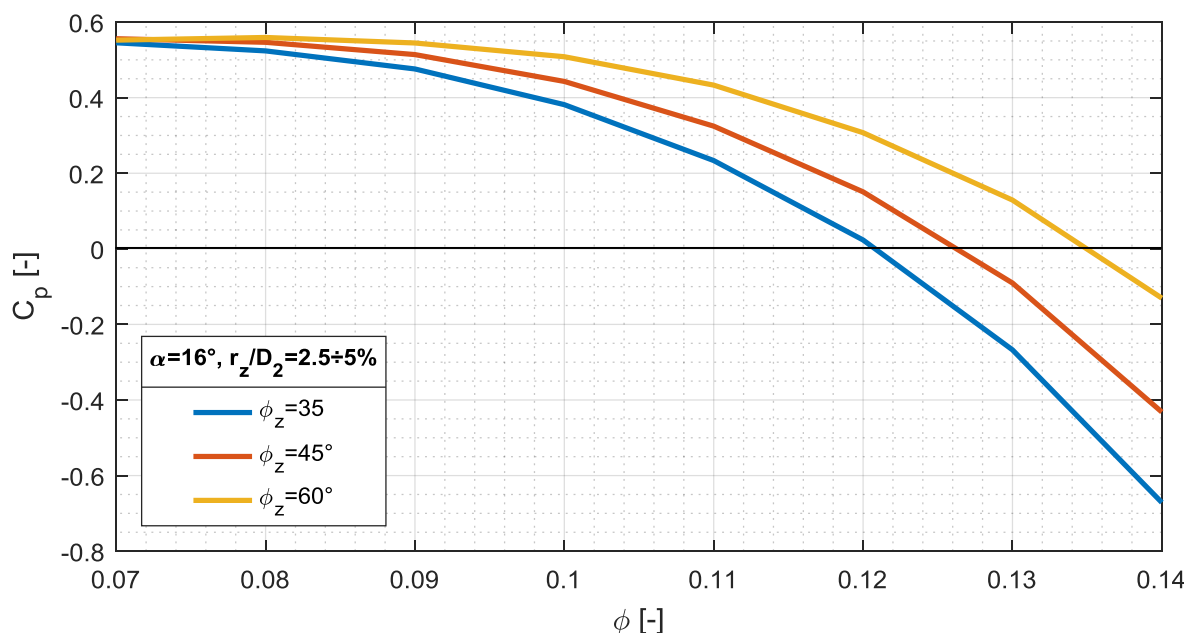


Figura 4.53 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik funksion të koeficientit të prurjes

Gjithsesi, për të kuptuar më mirë efektin e secilit parametër do të duhet të verifikohen edhe vlerat e koeficientit të humbjeve totale të presionit.

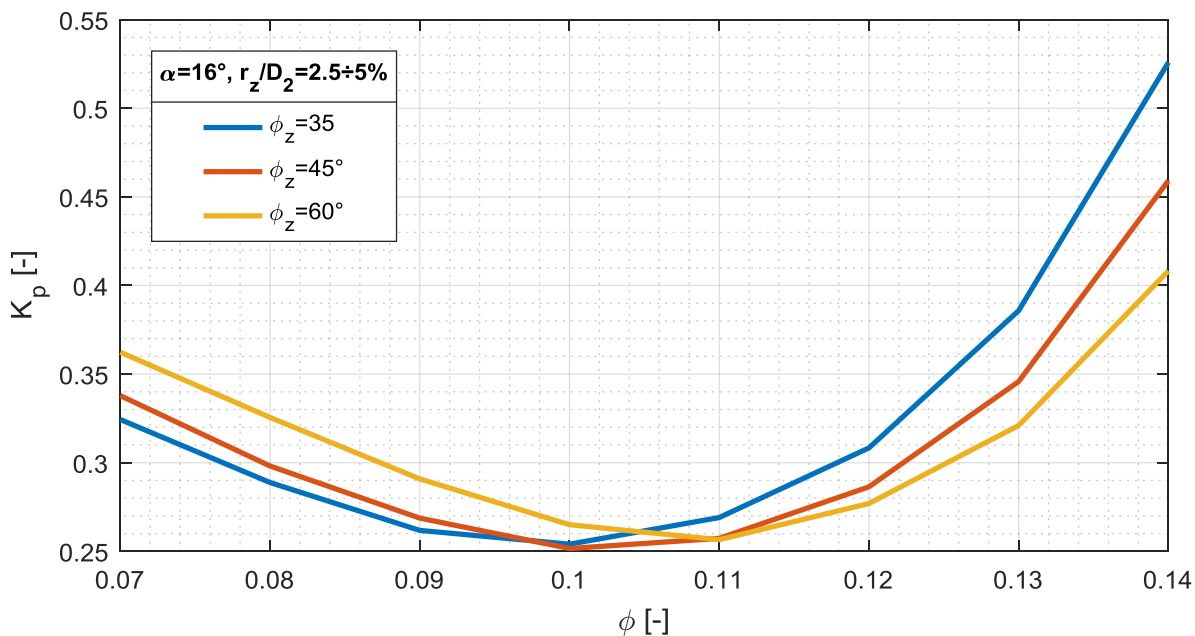


Figura 4.54 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të koeficientit të prurjes

Meqenëse për koeficientin e humbjeve totale të presionit kërkojmë një vlerë sa më të vogël të mundshme, atëherë vlerat optimalet rezultojnë në intervalin nga $\phi=0.10 \div 0.11$. Kjo është edhe zona e punës që rekomandohet të punojë ky tip ventilatori për këtë tip karkase spirale. Nëse do të largohemi përtej kësaj zone pune, vlera e humbjeve të presionit do të jenë më të

mëdha. Vihet re se për koeficient të prurjes $\phi = 0.07 \div 0.10$, vlera minimale e K_p rezulton për $\varphi_z = 60^\circ$, ndërsa për $\phi = 0.11 \div 0.14$, vlera minimale e K_p është për $\varphi_z = 35^\circ$.

4.3.3 Ndikimi i këndit të spirales logaritmike

Tjetër parametër që ka ndikim në hapësirën e sigurisë ndërmjet rotorit dhe karkasës është këndi spirales logaritmike alfa. Kemi pranuar 2 vlera ekstreme, për karkasa spirale kompakte kemi zgjedhur këndin alfa 12° (duke siguruar hapësirën e sigurisë minimale) dhe për karkasa spirale të mëdha këndin 20° . Meqenëse këndi alfa ndikon drejtpërdrejt në përmasat fizike të karkasës, por rritja e këndit alfa rezulton në vlera të vogla të rendimentit dhe vlera të rritura në koeficientin e rikuperimit të presionit statik. Për të përcaktuar vlerat optimale të punës së karkasës duhet ti referohemi vlerave të koeficientit të humbjeve totale të presionit.

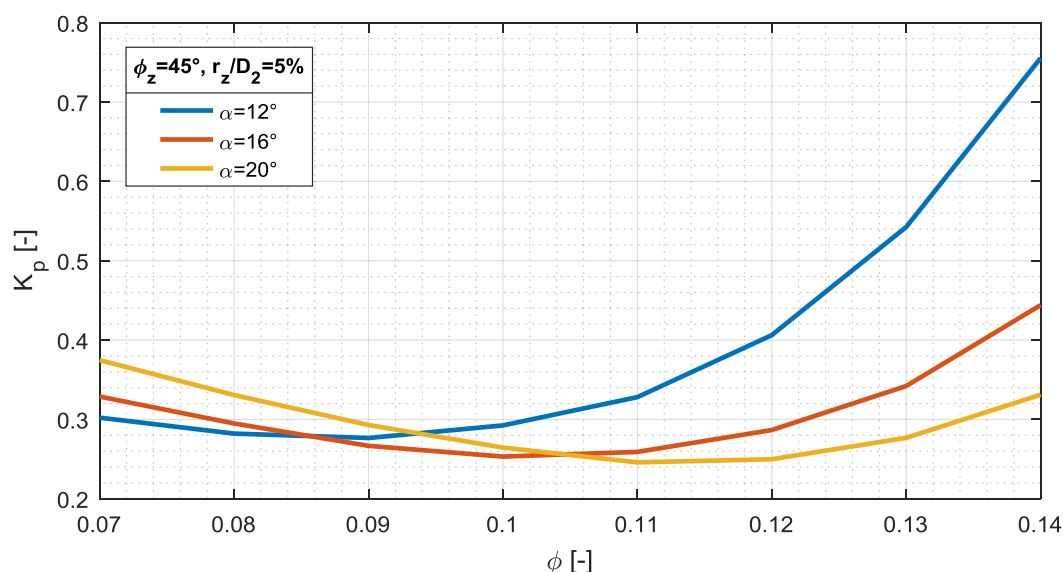


Figura 4.55 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të koeficientit të prurjes

Për secilën prej këndeve të spirales logaritmike, kemi një vlerë optimale minimale të koeficientit të humbjeve totale të presionit. Dhe në këtë rast vlerat e rekomanduara të pikës së punës janë në intervalin $\phi = 0.09 \div 0.12$. Për të kontrolluar këtë vlerë duhet të analizohet edhe një parametër tjetër, i quajtur raporti i energjive kinetike në dalje me atë në hyrje $(c_3/c_2)^2$, ku për të pasur rikuperim duhet të sigurohet që ky raport të jetë më i vogël se 1. Në grafikun e mëposhtëm tregohen se edhe për këndin $\alpha = 12^\circ$, raporti $(c_3/c_2)^2$ është më i vogël se 1 ku vlera e koeficientit të prurjes $\phi < 0.12$.

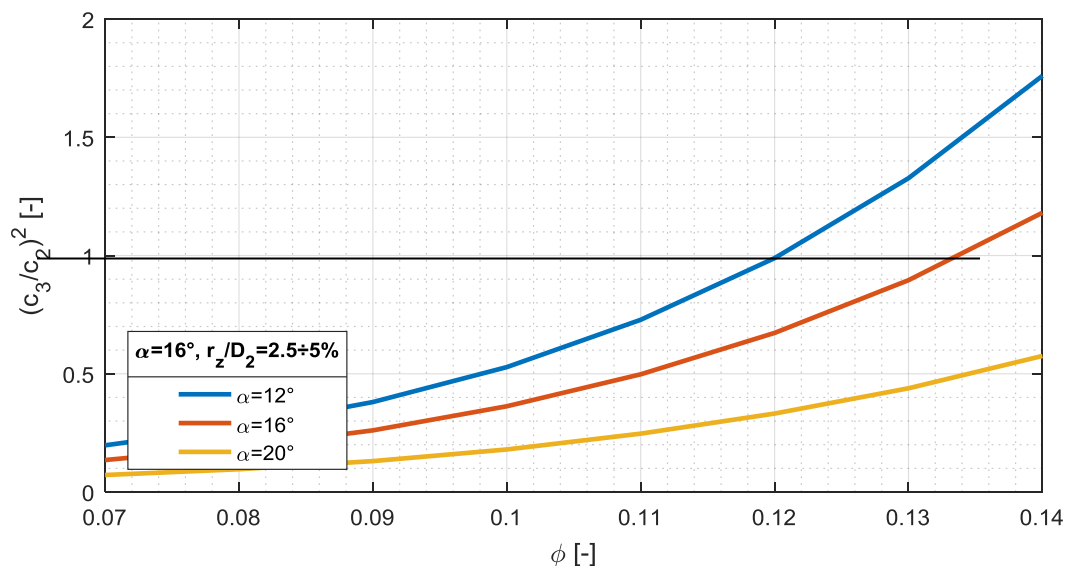


Figura 4.56 Raporti i energjive kinetike në dalje dhe në hyrje të karkasës në funksion të koeficientit të prurjes

4.3.4 Ndikimi i hapësirës së sigurisë në performancën e karkasës spirale

Meqenëse në këtë studim u trajtua efekti i 3 parametrave të ndryshëm, në figurën 4.57 paraqitet ndikimi që ka hapësira e sigurisë, si parametër funksion i tre parametrave të tjerë të mësipërm $s_z = f(\alpha, r_z, \phi_z)$.

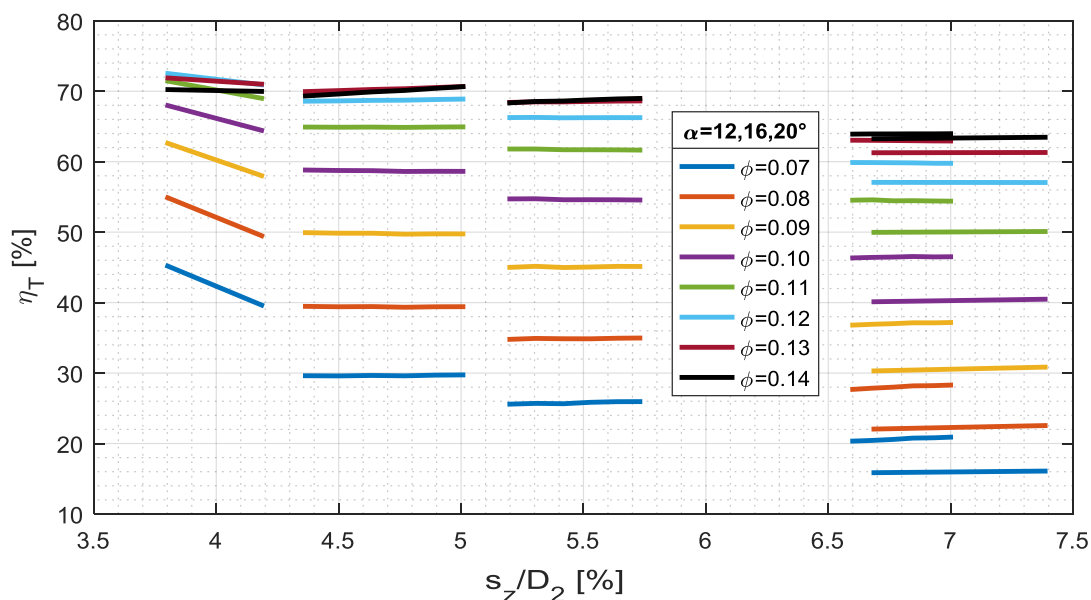


Figura 4.57 Rendimenti total i karkasës spirale në funksion të hapësirës së sigurisë

Nëse do të kemi hapësirë të vogël të sigurisë ndërmjet rotorit dhe karkasës spirale, do të kemi vlera të larta në rendimentit për shkak të vlerave të ulta të riqarkullimit të ajrit, e cila

manifestohet me koeficient të prurjes maksimale dhe si rezultat do të kemi rritje të rendimentit total të karkasës.

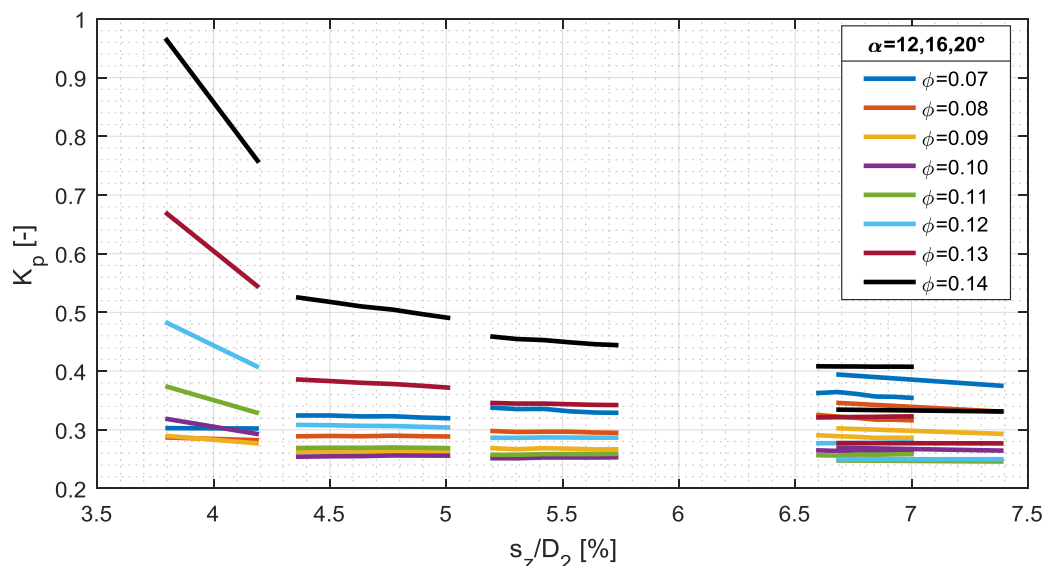


Figura 4.58 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të hapësirës së sigurisë

Nëse do të kemi hapësirë të vogël të sigurisë ndërmjet rotorit edhe karkasës spirale, do të kemi vlera të larta në rendimentit por ne nuk mund të shkojmë përtej vlerës 3.5%, për shkak të hapësirës së sigurisë (R.K. Turton 1995). Meqenëse vlerat e rekomanduara të koeficientit të prurjes janë në intervalin $\phi = 0.09 \div 0.12$ atëherë në figurën 4.59 jepet lidhja korrelative e K_p me raportin s_z/D_2 për vlera të ndryshme të këndit alfa.

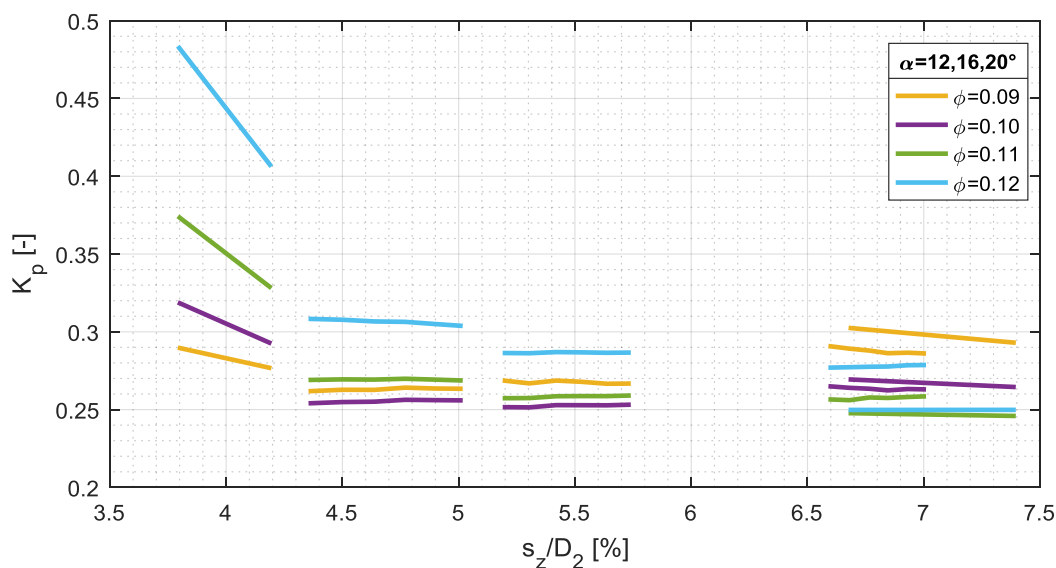


Figura 4.59 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasën spirale në funksion të hapësirës së sigurisë

Nëse do të analizojmë intervalin e rekomanduar të punës së ventilatorit për këtë tip karkase, vihet re se për vlerë të prurjes $\phi = 0.09$, vlera minimale e K_p rezulton në intervalin $s_z = 4.5 \div 5\%$, për vlerë të koeficientit të prurjes $\phi = 0.10$, vlera minimale arrihet për hapësirë të sigurisë $s_z = 5.25 \div 5.75\%$, ndërsa për koeficient të prurjes $\phi = 0.11 \div 0.12$, vlera më e vogël e koeficientit i humbjeve totale të presionit vërehet për hapësirë të sigurisë më të madhe në diapazonin $s_z = 6.6 \div 7.5\%$.

4.4 REZULTATET NGJA SIMULIMET NUMERIKE – Pjesa III

Në kapitullin II është trajtuar mënyra e ndërtimit të karkasës spirale. Përkrah metodës tradicionale të ndërtimit, janë shqyrtuar edhe disa metoda alternative të ndërtimit të formës së karkasës. Për të kryer krahasimin e secilës formë, forma bazë do të mbetet sërish mënyra tradicionale, pra ajo e spirales logaritmike. Janë marrë vlera të ndryshme të këndit të spirales logaritmike dhe në bazë të hapjes maksimale të karkasës nga metoda tradicionale e ndërtimit, janë ndërtuar edhe mënyrat e tjera alternative. Janë marrë në studim të gjitha pikat e punës së ventilatorit në diapazonin e koeficientit të prodhimitarisë ($\phi = 0.07 \div 0.14$) dhe kemi krahasuar rezultatet në funksion të rendimentit total të karkasës, koeficientit të rikuperimit të presionit statik si dhe koeficientit të humbjeve totale të presionit në karkasë.

Parametri i parë që do të kontrollohet është rendimenti total i karkasës spirale. Në këtë grup simulimesh disa parametra janë mbajtur të pandryshuar, si p.sh këndi i gjuhës, rrezja e gjuhës dhe shkalla e gjerësisë.

4.4.1 Rendimenti total i karkasës

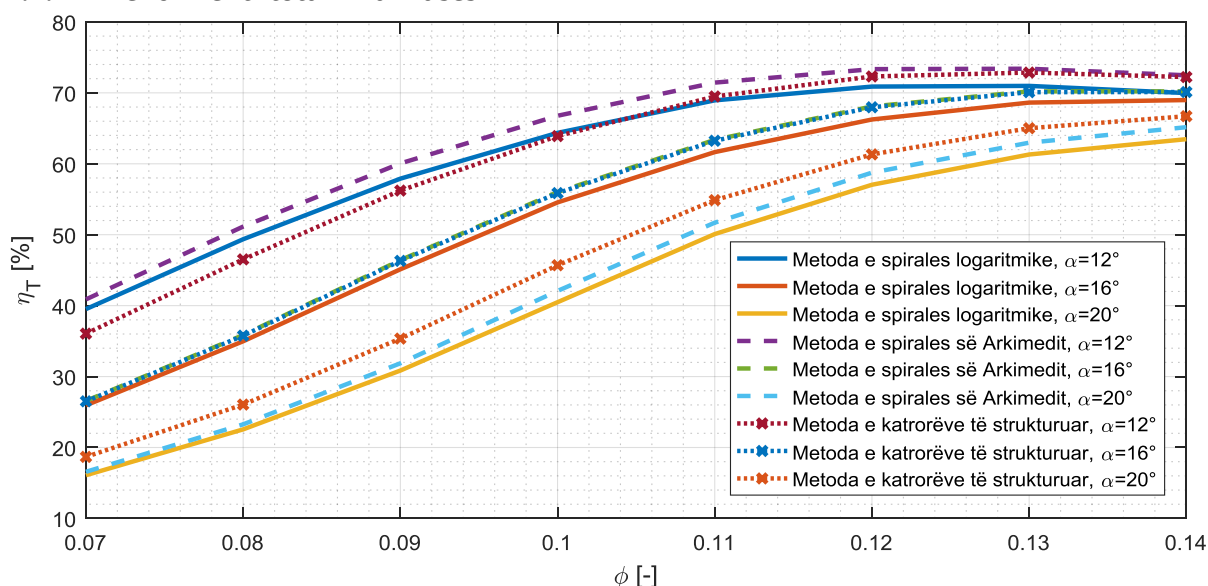


Figura 4.60 Rendimenti maksimal i karkasës në funksion të koeficientit të prurjes

Nga grafiku vërejmë se:

- për këndin alfa 12° , rendimentin më të lartë e ka metoda e Arkimedit, ndërsa metoda e spirales logaritmike, për koeficient të prurjes $\phi = 0.07 \div 0.10$ ka rendiment më të lartë krahasuar me metodën e katrorëve të strukturuar, ndërsa në intervalin $\phi = 0.10 \div 0.14$ është metoda e katrorëve të strukturuar ajo që ka vlerë të rendimentit më të lartë.
- Për këndin alfa 16° rezultatet e metodës së Arkimedit dhe të katrorëve të strukturuar janë pothuajse identike dhe rezultojnë me vlera më të larta krahasuar me metodën e spirales logaritmike.
- Për këndin alfa 20° , rendiment me të lartë siguron forma e karkasës sipas metodës së katrorëve të strukturuar dhe më pas metoda e Arkimedit dhe në fund metoda e spirales logaritmike.

4.4.2 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë

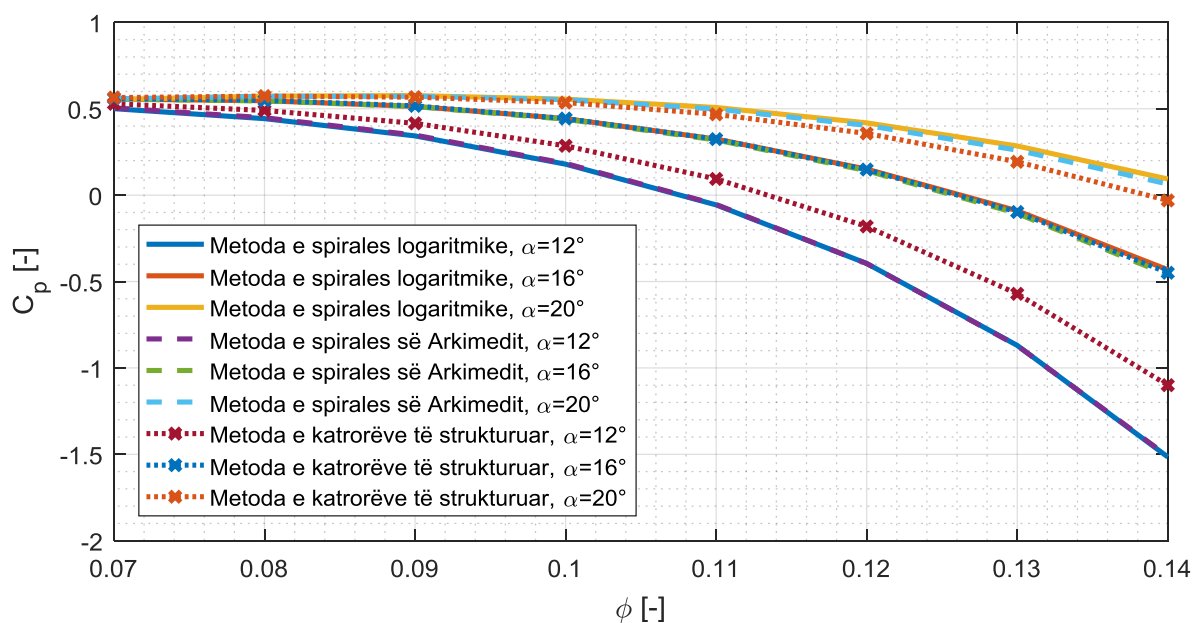


Figura 4.61 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në funksion të koeficientit të prurjes

Përsa i përket koeficientit të rikuperimit të presionit statik në karkasë, vërejmë se kjo vlerë është e pothuaj e njëjtë për metodën e spirales logaritmike dhe spirales së Arkimedit. Kjo është përparësia e metodës së Arkimedit, duke mos sakrifikuar koeficientin e rikuperimit të presioni, kemi një vlerë më të lartë të rendimentit të karkasës. Ndërsa për metodën e katrorëve të strukturuar mund të vërejmë se për këndin alfa 12° për çdo pikë funksionimi të ventilatorit siguron një vlerë më të madhe të koeficientit të rikuperimit të presionit statik, ndërsa për këndin alfa 20° verehet një vlerë pak më e vogël por jo e konsiderueshme. Mund

të themi së metoda e katrorëve të strukturuar mund të rekomandohet si metoda më e mirë për formën e karkasës nëse do të kishim karkasa kompakte në përmasa, pra të dedikuara për rikuperim të presioni statik meqenëse këto karkasa kanë edhe rendiment në vlerë të rritur.

Parametri tjetër që duhet të analizohet është koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë.

4.4.3 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë

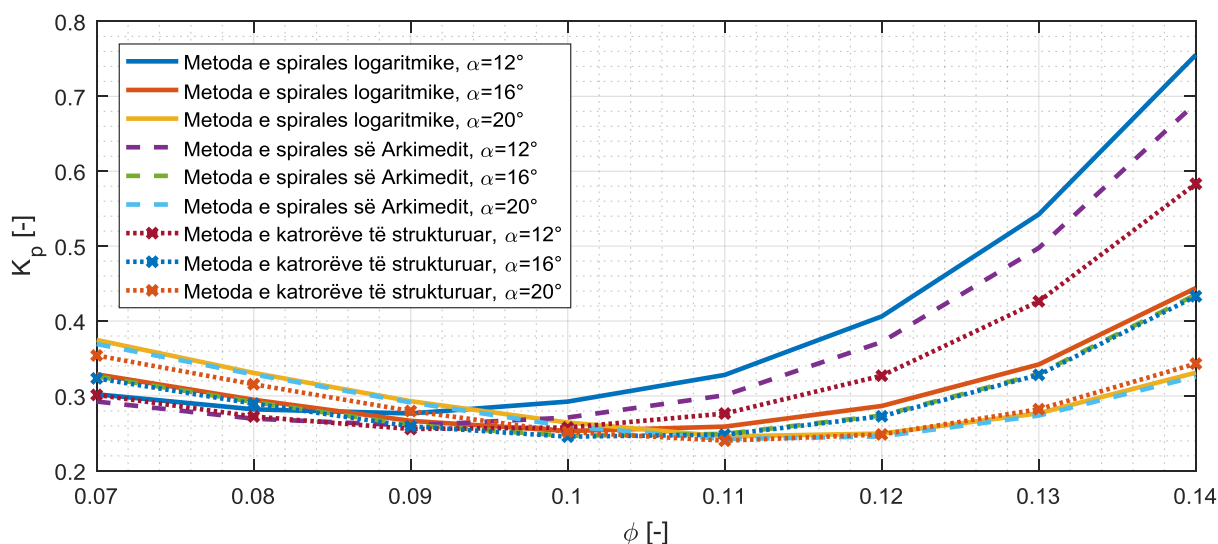


Figura 4.62 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në funksion të koeficientit të prurjes

Rezultatet e marra nga grafiku në figurën 5.55, përforcojnë edhe njëherë konkluzionin së për voluta kompakte, metoda e katrorëve të strukturuar, përveç rritjes së koeficientit të rikuperimit të presionit statik në karkasë, siguron edhe një vlerë më të vogël të koeficientit të humbjeve totale të presionit. Kjo është e vërtetë edhe për voluta me këndin alfa 16 gradë, por në vlerë më të vogël, ndërsa për voluta të mëdha, rezultatet janë pothuaj të krahasueshme.

Parametri i fundit është raporti i energjive kinetike në dalje dhe në hyrje të karkasës, si një parametër i cili është funksion i të dy parametrave të trajtuar më sipër, koeficientit të rikuperimit të presionit statik dhe atij të humbjeve totale të presionit, sipas ekuacionit 4.7:

$$\frac{c_3^2}{c_2^2} = 1 - K_p - C_p \quad (4.7)$$

4.4.4 Raporti i energjive kinetike në dalje/hyrje të karkasës

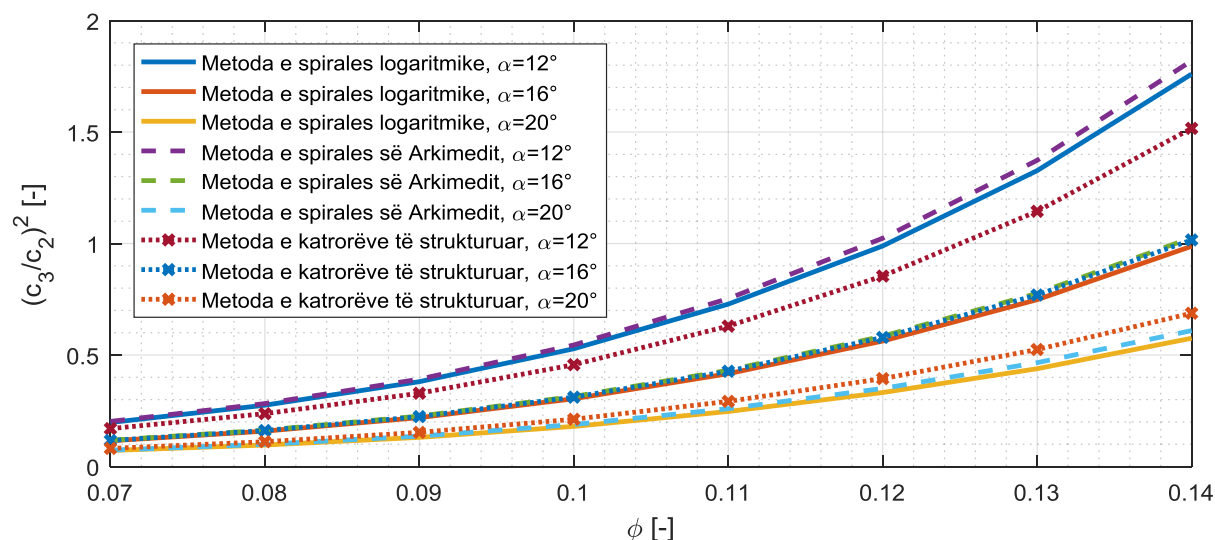


Figura 4.63 Raporti i energjive kinetike në dalje/hyrje të karkasës si funksion të koeficientit të prurjes

Meqenëse ky parametër tregon raportin e energjive kinetike në dalje dhe në hyrje të karkasës, i cili shpreh raportin e shpejtësisë në dalje c_3 dhe atë në hyrje c_2 , tendenca për këtë tregues është të jetë sa më e vogël e mundshme. Për voluta kompakte, metoda e katrorëve të strukturuar siguron një vlerë minimale, ndërsa me rritjen e përmasave të karkasës, vlerën më të vogël të këtij raporti e siguron metoda e spirales logaritmike.

4.5 PËRFUNDIME DHE REKOMANDIME

Në këtë punim doktore është studiuar efekti i parametrave gjeometrikë të karkasës spirale të cilët ndikojnë në performancën e përgjithshme të ventilatorit centrifugal. Simulimet numerike për rrjedhje të qëndrueshme janë realizuar me qëllimin e vetëm të studimit të karakteristikave të karkasave spirale të ventilatorit centrifugal, për konfigurimeve të ndryshme të parametrave gjeometrikë. Konfigurimet e karkasave u ndryshuan në mënyrë sistematike duke parashikuar rrjedhjen tre-përmasore në brendësi të karkasës spirale duke përdorur për simulimet numerike, programin CFD pa pagesë OpenFOAM.

Ky studim u mbështet në analizën e: i) koeficientëve të rikuperimit të presionit statik, ii) koeficientëve të humbjeve totale të presionit si dhe iii) të rendimentit total të karkasës. Pas një numri të konsiderueshëm simulimesh për variabla të ndryshme gjeometrikë të karkasës spirale, u arrit në konkluzionet dhe rekomandimet e mëposhtme:

- a) Karkasat e vogla në përmasë për kënd të spirales alfa 10° , kanë vlerë të rritur të rendimentit, por nuk kemi rikuperim të presionit statik. Rritja e pamjaftueshme e rrezes të karkasës spirale të seksionit tërthor, krijon një përshpejtim të fluidit dhe pjesërisht "**shkatërron**" presionin statik të gjeneruar në difuzor, prandaj rekomandohet që vlerat e këndit të spirales logaritmike (alfa) të jenë më të mëdha se 10° , përkatësisht në diapazonin $14^\circ \div 20^\circ$.
- b) Shpërndarja e brendëshme e rrymës mund të përmirësohet duke reduktuar këndin e gjuhës së karkasës, por me kushtin që hapësira e sigurisë midis gjuhës së karkasës dhe rotorit të ventilatorit centrifugal të jetë brenda vlerave të rekomanduara.
- c) Rrezja e gjuhës së karkasës nuk ka ndikim në koeficientin e rikuperimit të presionit statik në karkasë C_p dhe në koeficientin e humbjeve totale të presionit K_p . Për kënde të vogla të spirales logaritmike, (për karkasa kompakte) vlera maksimale e rendimentit merret për vlerë të rritur të rrezes së gjuhës së karkasës, ndërsa e kundërta mund të thuhet për vlera të rritura të këndit të spirales logaritmike alfa.
- d) Vlerë pozitive të rikuperimit të presionit statik mund të arrihet për kënde të spirales logaritmike më të mëdha se 14.8° dhe raporti i energjisë kinetike në dalje dhe në hyrje mund të jetë më i vogël se 1 për kënde të spirales logaritmike më të mëdha se 12.8° .
- e) Profili i shpejtësisë në dalje të rotorit të ventilatorit ndikon në përkeqësimin e vlerave të koeficientit të rikuperimit të presionit statik, të humbjeve totale të presionit si edhe në vlerën e rendimentit. Për këtë arsye profili i shpejtësisë duhet të merret patjetër në konsideratë.

- f) Për të pasur një vlerë të rritur të rendimentit, preferohet që të kemi një asimetri të lehtë midis rotorit të ventilatorit centrifugal dhe karkasës.
- g) Nëse interesi kryesor i një karkasë është gjenerimi i presionit statik duke vendosur një difuzor në dalje, do të ishte e rekomandueshme që difuzori të vendoset sa më afër seksionit në dalje të karkasës spirale, në mënyrë që të mos kemi ulje të rendimentit.
- h) Forma reale e gjeometrisë së rotorit të ventilatorit ndikon në rritjen e performancës së karkasës. Ky rezultat vërteton edhe njëherë përfundimin e pikës f), që lidhet me asimetrinë e rotorit dhe karkasës spirale.
- i) Rezultatet e përftuara nga eksperimentet tregojnë se kemi një përputhje me ato të simulimeve numerike. Në këtë mënyrë kryhet kontrolli (validimi) i modelit të zgjedhur në simulimet numerike.
- j) Rendimenti maksimal i karkasës arrihet për koeficient të prurjes $\phi = 0.12 \div 0.14$, ndërsa koeficienti maksimal i rikuperimit të presionit statik arrihet për vlera të koeficientit të prurjes $\phi = 0.07 \div 0.11$.
- k) Me rritjen e këndit të gjuhës së karkasës do të kemi zvogëlim të rendimentit ndërsa rritje të koeficientit të rikuperimit të presionit statik në karkasë.
- l) Nëse i referohemi këndit të gjuhës së karkasës, zona e punës e rekomanduar për këtë tip ventilatori dhe për këtë tip karkase spirale është për koeficient të prurjes $\phi = 0.10 \div 0.11$.
- m) Nëse i referohemi këndit të spirales logaritmike të karkasës, zona e punës e rekomanduar për këtë tip ventilatori dhe për këtë tip karkase spirale është për koeficient të prurjes $\phi = 0.09 \div 0.12$.
- n) Nëse do të referohemi efektit të hapësirës së sigurisë si funksion i tre parametrave të mësipërme $s_z = f(\alpha, r_z, \varphi_z)$ do të kemi:
 - për $\phi = 0.09$, vlera minimale e Kp është në intervalin $s_z = 4.5 \div 5\%$
 - për $\phi = 0.10$, vlera minimale e Kp është në intervalin $s_z = 5.25 \div 5.75\%$
 - për $\phi = 0.11 \div 0.12$, vlera minimale e Kp është në intervalin $s_z = 6.6 \div 7.5\%$.

Në pjesën e fundit të studimit janë shqyrtuar 2 metoda të tjera alternative të ndërtimit të formës së karkasës së ventilatorit centrifugal. Në bazë të rezultateve nga zgjidhjet numerike kemi vlerësuar metodën e ndërtimit të formës së karkasës më efikase në funksion të mënyrës së përdorimit të ventilatorit centrifugal. Vlerësimi është realizuar duke analizuar rendimentin e karkasës, koeficientin e rikuperimit të presionit statik si edhe koeficientin e humbjeve totale

të presionit në karkasë. Nga rezultatet e simulimit mund të përmbledhim konkluzionet e mëposhtme:

- o) Metoda e spirales logaritmike si mënyra më tradicionale e ndërtimit të formës së karkasës spirale, nuk siguron vlerë të lartë të rendimentit dhe koeficientit të rikuperimit të presionit statik
- p) Metoda e Arkimedit, në ndryshim nga metoda e spirales logaritmike, siguron një vlerë të rendimentit më të lartë pa ndikuar negativisht në vlerën koeficientit të rikuperimit të presionit statik
- q) Për karkasa (voluta) kompakte, edhe pse metoda e katrorëve të strukturuar ka vlerë të rendimentit me të vogël krahasuar me metodën e Arkimedit, kjo është metoda që rekomandohet të përdoret pasi sigurojmë një vlerë të koeficientit të rikuperimit të presionit statik të rritur si dhe gjithashtu vlerë minimale të koeficientit të humbjeve totale të presionit
- r) Për karkasa (voluta) të mesme në përmasë, mund të rekomandojmë të dy metodat, metoda e Arkimedit dhe metoda e katrorëve të strukturuar, pasi rezultatet janë pothuaj të njëjta me njëra-tjetrën, por ofrojnë dukshëm rezultate më pozitive krahasuar me metodën e spirales logaritmike.
- s) Ndërsa për karkasa (voluta) të mëdha në përmasa, edhe pse rendimentin më të lartë e siguron metoda e katrorëve të strukturuar, nëse fokusi kryesor është tek koeficientit i rikuperimit të presionit statik atëherë rekomandohet metoda e spirales logaritmike.

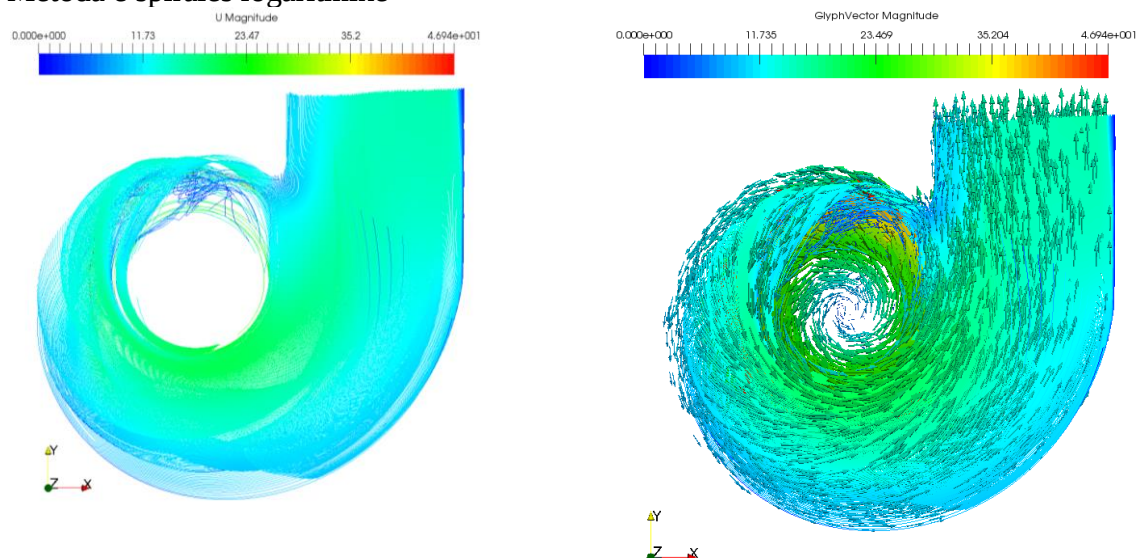
Referuar rendimentit total të karkasës japim rekomandimet për ndërtimin e karkasës spirale:

Metoda e ndërtimit të karkasës	Karkasa kompakte	Karkasa mesatare	Karkasa të mëdha
Metoda e spirales logaritmike	✗	✗	✗
Metoda e spirales së Arkimedit	✓	✓	✗
Metoda e katrorëve të strukturuar	✗	✓	✓

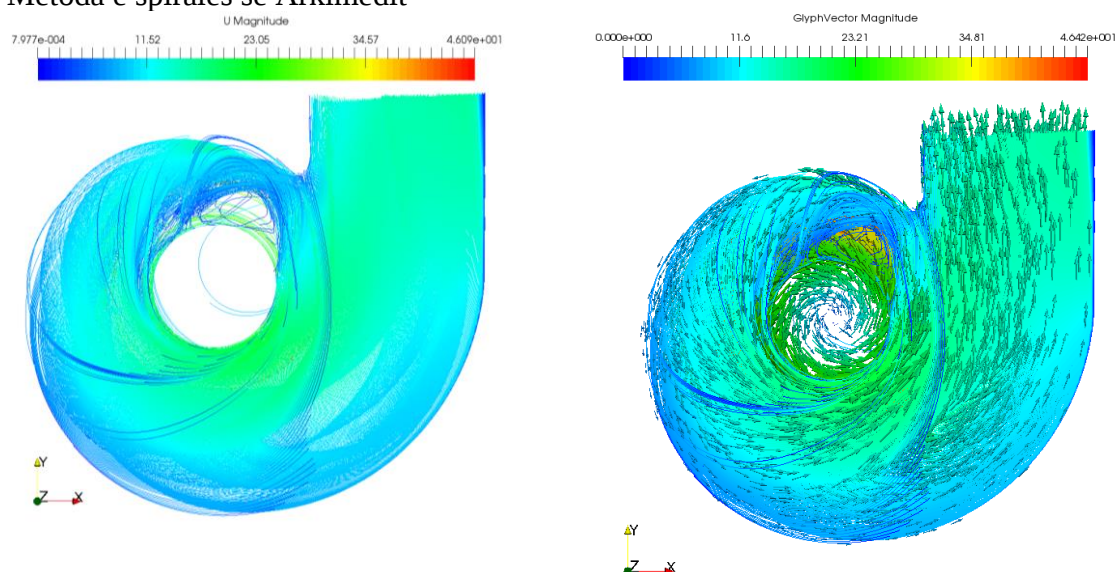
Referuar koeficientit të rikuperimit të presionit statik japim rekomandimet për ndërtimin e karkasës spirale:

Metoda e ndërtimit të karkasës	Karkasa kompakte	Karkasa mesatare	Karkasa të mëdha
Metoda e spirales logaritmike	✗	✓	✓
Metoda e spirales së Arkimedit	✗	✓	✗
Metoda e katrorëve të strukturuar	✓	✓	✗

Metoda e spirales logaritmike



Metoda e spirales së Arkimedit



Metoda e katrorëve të strukturuar

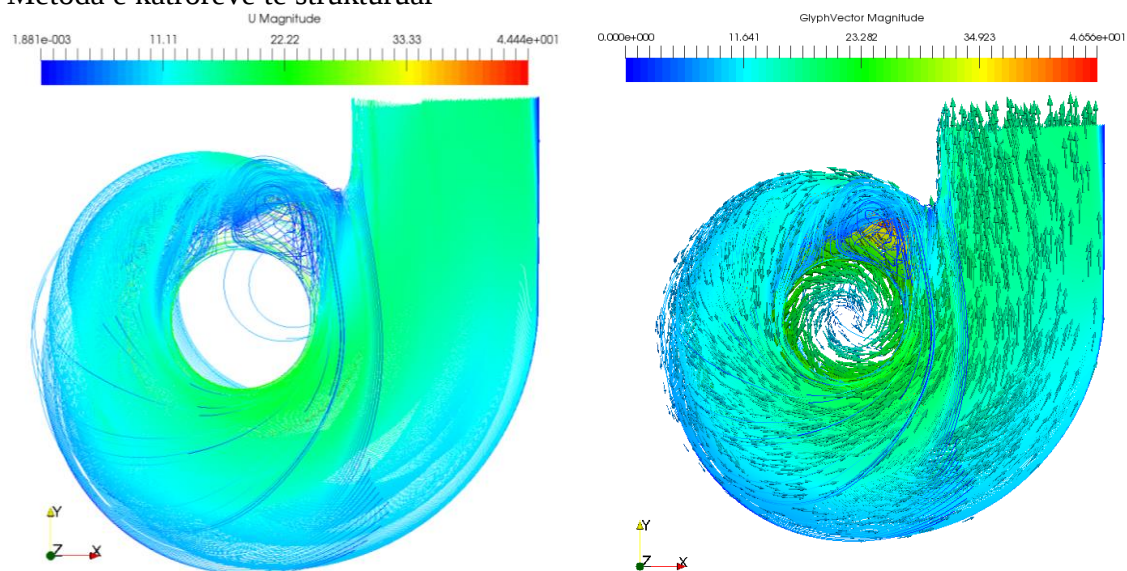


Figura 4.64 Krahasimi i fushave të shpejtësive midis metodave të ndërtimit të karkasave

KAPITULLI V

NDËRTIMI I NDËRFAQES GRAFIKE TË PËRDORUESIT

5.1 Hyrje

Ndërfaqja Grafike e Përdoruesit (NGP) në përgjithësi paraqitet në formën e një programi kompjuterik, i cili përdor një kombinim të pajisjeve dhe kontrolleve grafike si ikona dhe tregues vizualë për të siguruar një platformë me të cilën përdoruesi mund të bashkëveprojë, me qëllim mbledhjen dhe marrjen e informacionit. Mënyra e organizimit të pamjes vizuale të një NGP është pjesë e rëndësishme e programimit të aplikacionit në fushën e bashkëveprimit përdorues-kompjuter. Qëllimi i tij është të përmirësojë efikasitetin dhe të paraqesë thjeshtësi në përdorim. Kjo e bën më të lehtë për inxhinieret apo studentët, të cilët nuk kanë aftësi të përparuara kompjuterike, të performojnë simulimet numerike në mënyrën më të thjeshtë. Komponentët e NGP duhet të ndërtohen në varësi të një këndvështrimi inxhinierik. Gjatë hartimit të faqes kryesore të programit, përbërësit grafikë përfaqësohen nga emri, madhësia, pozicioni dhe funksioni në këtë dritare duke pritur që përdoruesi të ndryshojë vlerat fillestare dhe të marrë rezultatet për secilin veprim të bërë prej tij. Për më tepër, të gjithë këta elementë duhet të rregullohen në pjesët përkatëse të NGP pasi paraqesin thjeshtësi që përdoruesi t'i gjejë ato lehtësisht. Karakteristikat dhe vlerat e tyre vendosen automatikisht nga Matlab, dhe përdoruesi mund të ndryshojë vlerat brenda vendeve të përcaktuara.

Pas hartimit të faqes së parë të ndërfaqes grafike të përdoruesit dhe vlerësimit të vetive për secilën përbërës të objektit, dy skedarë ruhen automatikisht. E para si figurë (.fig) dhe e dyta si skedar Matlab (.m). Kodi ofron "**funksione të thirrjeve**" që lidhen me komponentët. Thirrjet janë në thelb në kodin e skedarit .m sepse ato ekzekutohen sa herë që kryhet një veprim i caktuar pranë ose mbi një objekt. Pra, thirrjet sigurojnë një mjet të përshtatshëm për të shkruar fillimisht dhe pastaj modifikuar në kodin M-skedar, në mënyrë që të ekzekutohet siç dëshiron përdoruesi.

Skema e funksionimit të Matlab-OpenFOAM është ndërtuar sipas strukturës së OpenFOAM. Në fazën e parë, përcaktohen të dhënat paraprake, të cilat kanë të bëjnë me të dhënat e gjeometrisë, si dhe të dhënat e nevojshme të simulimit numerik, siç janë kushtet fillestare dhe ato kufitare. Kodi Matlab siguron shkrimin e skedarëve në gjuhën C++ të nevojshme për t'u përdorur nga programi CFD OpenFOAM. Çdo skedar shkruhet dhe ruhet në direktori të përcaktuara dhe thirren sa herë përdoruesit i nevojiten.

5.2 Skema e funksionimit Matlab – OpenFOAM

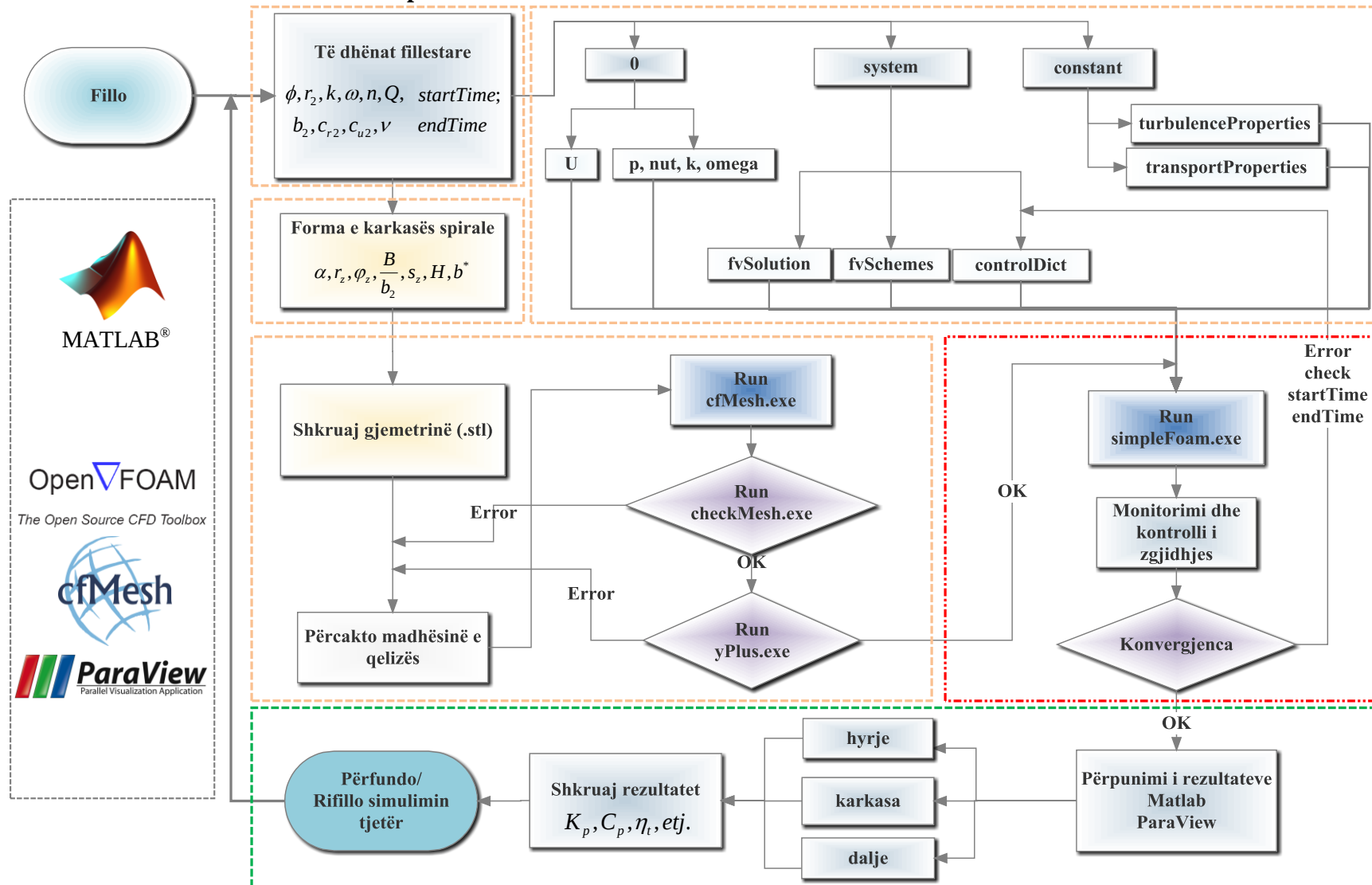


Figure 5. 1 Skema e funksionimit Matlab – OpenFOAM

Çdo parametër shkruhet në skedarë të veçantë, të cilat ruhen në direktori të veçanta. Për të simuluar një rrjedhje turbulente, në dosjen "0", janë të nevojshme minimalisht 5 skedarët e mëposhtëm:

"U" - skedari i shpejtësisë;

"p" - Informacion mbi vlerën e presionit;

"nut" - vlera e viskozitetit kinematik;

"k" - energji kinetike e turbulencës dhe,

"omega" - shkalla specifike e shpërndarjes turbulente.

Direktoria "system" për përcaktimin e parametrave të lidhur me vetë procedurën e zgjidhjes. Ai përmban të paktën 3 skedarët e mëposhtëm:

"controlDict", ku janë vendosur parametrat e kontrollit të simulimit numerik, përfshirë kohën e fillimit/mbarimit, hapin e kohës dhe parametrat për regjistrimin e rezultateve; "fvSchemes", jepet informacion mbi mënyrën e diskretizimit të fushës së zgjidhjes; dhe, "fvSolution", ku përcaktohen zgjidhësit e ekuacioneve, tolerancat dhe kontrollet e tjera të algoritmit.

Direktoria "constant" që përmban një informacion të plotë mbi rrjetëzimin në një folder "polyMesh" dhe skedarë që specifikojnë vetitë fizike për aplikacionin në fjalë, p.sh. "turbulenceProperties" – karakteristikat e modelit të turbulencës së përdorur: p.sh. komegaSST, "transportProperties" - karakteristikat e fluidit, p.sh. vlerën e viskozitetit kinematik të ajrit.

Faza e dytë është gjenerimi i rrjetës numerike. Rrjetëzimi duhet të kontrollohet për çdo gabim të mundshëm dhe nëse ka ndonjë problem me rrjetën ose me vlerat e y^+ (shiko paragrafin 3.12), atëherë mund të ndryshojmë madhësinë e qelizave. Vetëm pasi të jenë përmbushur këto dy kushte, mund të vazhdohet me zgjidhjen. Zgjidhësi i rrjedhjes së qëndrueshme turbulente, për fluidet e pangjeshme emërtohet "simpleFoam", i cili përdor algoritmin SIMPLE [4], [17]. Ndërsa procesi i zgjidhjes vazhdon, ai mund të monitorohet përmes vlerave të gabimit numerik të zgjidhjes. Nëse numri i përsëritjeve numerike nuk është i mjaftueshëm për të arritur vlerën e gabimit prej 10^{-5} , atëherë ndryshohen vlerat e "startTime" dhe "endTime". Zëvendësohen "startTime" me vlerën "endTime" dhe dyfishohet vlera e re e "endTime". Ky ndryshim duhet të pasqyrohet në skedarin "controlDict". Vetëm pasi të jetë kontrolluar dhe arritur vlera e gabimit e rendit 10^{-5} , procesi i zgjidhjes ndalet automatikisht.

Hapi i radhës është përpunimi i rezultateve nga simulimi numerik i rrjedhjes, i cili do të kryhet nëpërmjet përdorimit të programit Matlab. OpenFOAM siguron një serë funksionesh për marrjen e të dhënave, sipas një vije lineare 1D, të dhënat sipas një plani të caktuar 2D apo të dhëna në një sipërfaqe të caktuar 3D. Në studimin tonë është përdorur funksioni 3D për sipërfaqet në “hyrje”, “karkasa spirale” dhe atë në “dalje”. Parametri që duhet të përcaktohet për sipërfaqen në “hyrje” është presioni statik, meqenëse njihen vektorët e shpejtësive dhe për sipërfaqen në “dalje” është fusha e vektorëve të shpejtësisë, meqenëse vlera reference e presionit njihet. Pas përcaktimit të vektorëve të shpejtësive, përftohet vlera e presionit dinamik, nga katrori i çdo vektori të shpejtësisë shumëzuar me gjysmën e vlerës së densitetit. Pasi përcaktojmë këto parametra është e lehtë të përcaktohet performanca e karkasës spirale. Performanca e përgjithshme e karkasës mund të analizohet duke përdorur:

Rendimentin total të karkasës spirale:

$$\eta_T = \frac{p_{t3}}{p_{t2}} \quad (5.1)$$

Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë:

$$C_p = \frac{p_3 - p_2}{p_{t2} - p_2} = \frac{p_3 - p_2}{\frac{\rho}{2} c_2^2} \quad (5.2)$$

C_p , është raporti i presionit statik të rikuperuar në karkasë me presionin dinamik në dalje të rotorit të ventilatorit.

Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë:

$$K_p = \frac{p_{t2} - p_{t3}}{p_{t2} - p_2} = \frac{p_{t2} - p_{t3}}{\frac{\rho}{2} c_2^2} \quad (5.3)$$

K_p , është raporti i humbjeve totale të presionit në karkasë me presionin dinamik në dalje të rotorit të ventilatorit.

Pas përcaktimit të 3 parametrave për vlerësimin e performancës së karkasës spirale, të gjitha rezultatet nga simulimi numerik ruhen në formën e një skedari Matlab (.m), me datën dhe kohën e zgjidhjes numerike dhe pothuajse çdo parametër tjetër të nevojshëm. Skedari me rezultate është lehtësisht i lexueshëm nga kodi Matlab dhe më pas përpunohet grafikisht, duke e ruajtur atë në formën e figurës Matlab (.fig). për më shumë detaje referojuni figurave 5.7 – 5.9.

5.3 Ndërfaqja Grafike e Përdoruesit Matlab për projektimin e karkasës spirale

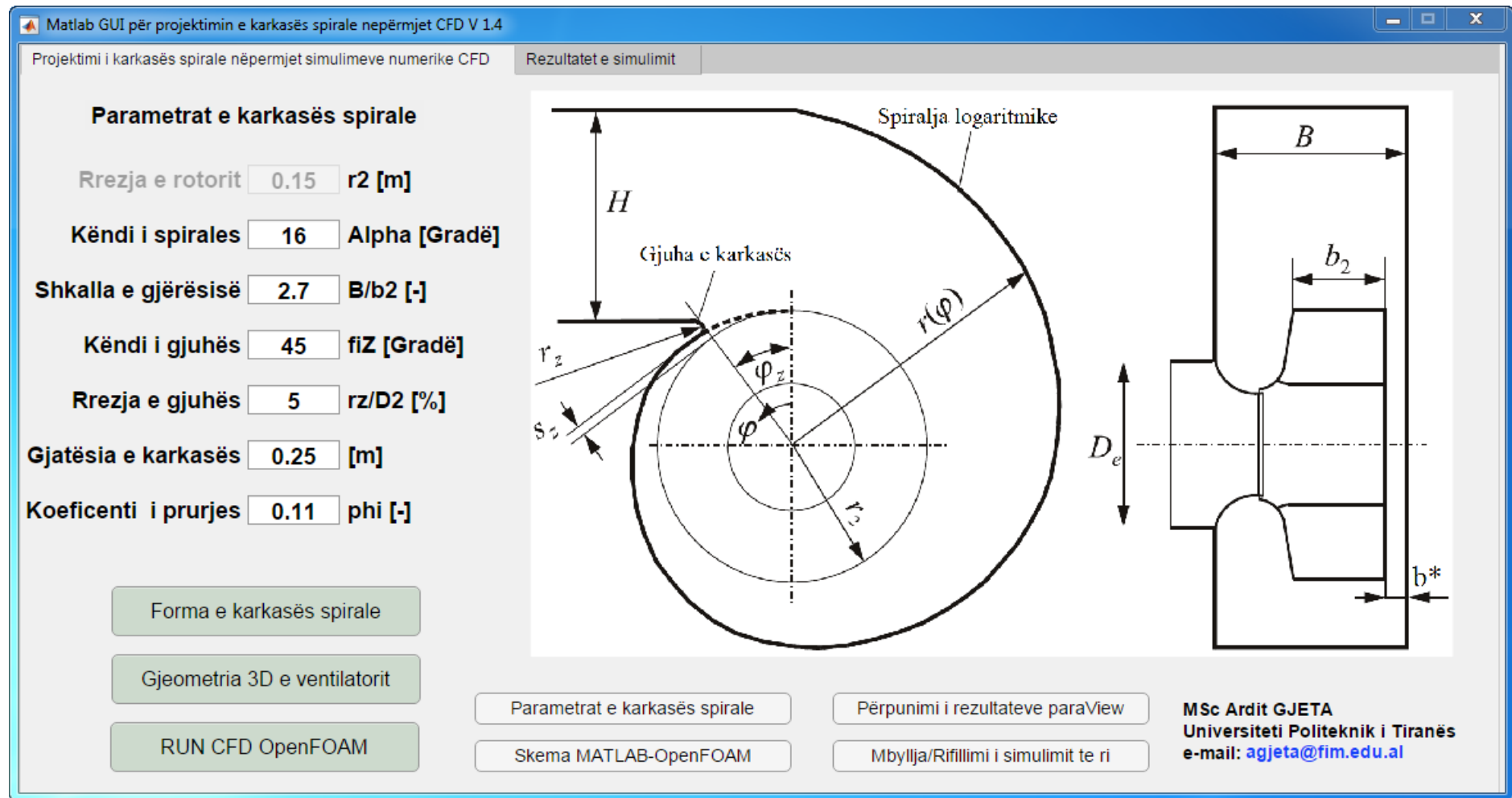


Figure 5. 2 Grafika e përdoruesit për projektimin e karkasës spirale

Secili nga parametrat gjeometrike të projektimit të karkasës spirale mund të ndryshohet në bazë të vlerës që përdoruesi dëshiron. Përveç rrezes së rotorit, i cili për këtë rast do të pranohet i pandryshuar. Ndërfaqja grafike mund të përshtatet për të funksionuar me çdo gjeometri të mundshme të rotorit.

1. Butoni "*Forma e karkasës spirale*", do të gjenerojë sipas grafikës në Matlab, formën e karkasës spirale, sipas parametrave të vendosura paraprakisht nga përdoruesi (Figura 3.10).

Përveç parametrave që përdoruesi vendos në fillim nga programi, në figurën e gjeneruar nga programi Matlab, mund të analizohen informacione mbi parametra të tjerë si p.sh mbi vlerën e hapësirës së sigurisë midis rotorit dhe karkasës spirale, i cili në këtë rast konkret është $s_z/D_2=5.5\%$, si edhe hapjen maksimale të karkasës spirale $H=0.177m$.

2. Butoni "*Gjeometria 3D e ventilatorit*", na jep një paraqitje të gjeometrisë 3D të ventilatorit si njësi e plotë (Figura 3.11). Nëpërmjet kësaj veçorie, përdoruesi mund të verifikojë pozicionin e rotorit dhe karkasës spirale, si dhe të kontrollojë për ndonjë gabim të mundshëm të gjeometrisë përpara se të kryejë procesin e rrjetëzimit të gjeometrisë. Kjo mund të realizohet direkt nëpërmjet grafikës së gjeneruar nga Matlab-i. Për të parë më në detaje gjeometrinë e gjeneruar, kodi i Matlab-it krijon mundësinë e gjenerimit të rrjetës gjeometrike në një skedar të veçantë (.stl), i cili mund të shikohet nëpërmjet programit paraView (Figura 3.12). Software-i paraView duhet paraprakisht të jetë i instaluar dhe mund të aksesohet direkt nga grafika e përdoruesit Matlab duke klikuar butonin "*Përpunimi i rezultateve paraView*".

Informacion shtesë mund të marrim për sa i përket sipërfaqes në dalje të karkasës spirale si edhe pozicionit relativ të rotorit brenda në karkasës, të cilën ne e kemi përcaktuar si asimetri.

3. Butoni "*RUN CFD OpenFOAM*", do të fillojë simulimin numerik me parametrat e përcaktuara nga përdoruesi.

4. Butoni "*Parametrat e karkasës spirale*", na jep një pamje të përgjithshme mbi parametrat e karkasës spirale si edhe vlerat e rekomanduara të tyre [9], [10].

5. Butoni "*Skema Matlab-OpenFOAM*", jep informacionin e treguar në figurën 5.1, e cila është siguruar nëse përdoruesi kërkon të dijë më shumë informacion mbi skemën e implementimit të simulimeve numerike nëpërmjet programit OpenFOAM dhe Matlab.

6. Butoni "*Përpunimi i rezultateve paraView*" hap dritaren e programit ParaView, i cili është një program pa pagesë, i fokusuar në përpunimin e të dhënave dhe vizualizimin e rezultateve të zgjidhjeve të simulimeve numerike.

7. Butoni "*Mbyllja/Rifillimi i simulimit të ri*", mbyll të gjitha dritaret e hapura me rezultatet të ruajtura paraprakisht në dy formate (.fig dhe .m) si edhe krijon kushtet për të kryer simulimin e radhës.

Për të konkretizuar mënyrën e paraqitjes së rezultateve po trajtojmë një rast zgjidhjeje simulimi numerik me parametra e treguar në grafikën e përdoruesit në figurën 5.2.

5.3.1 Kontrolli i konvergjencës

Pas përfundimit të simulimit numerik parametri i parë që të kontrollohet është konvergjenca e zgjidhjes. Kur simulimi numerik përfundon, do të thotë që ka rezultuar të ketë një zgjidhje të sistemit të ekuacioneve në të cilën gabimi është i vlerës 10^{-5} . Në këtë rast mund të analizohet se cili prej parametrave konvergjon më ngadalë, p.sh nga figura 5.3, vihet re se parametri "Uz" konvergjon më vonë dhe më pas vjen parametri i presionit. Informacion shtesë mund të merret mbi numrin e iteracioneve numerike si dhe koha kompjuterike e nevojshme për zgjidhjen. Siç shihet simulimi numerik në këtë rast arrihet për 604 iteracione dhe koha kompjuterike e nevojshme për zgjidhjen është rreth 72 minuta. Konvergjenca për çdo parametër fizik të simulimit jepet në figurën 5.3.

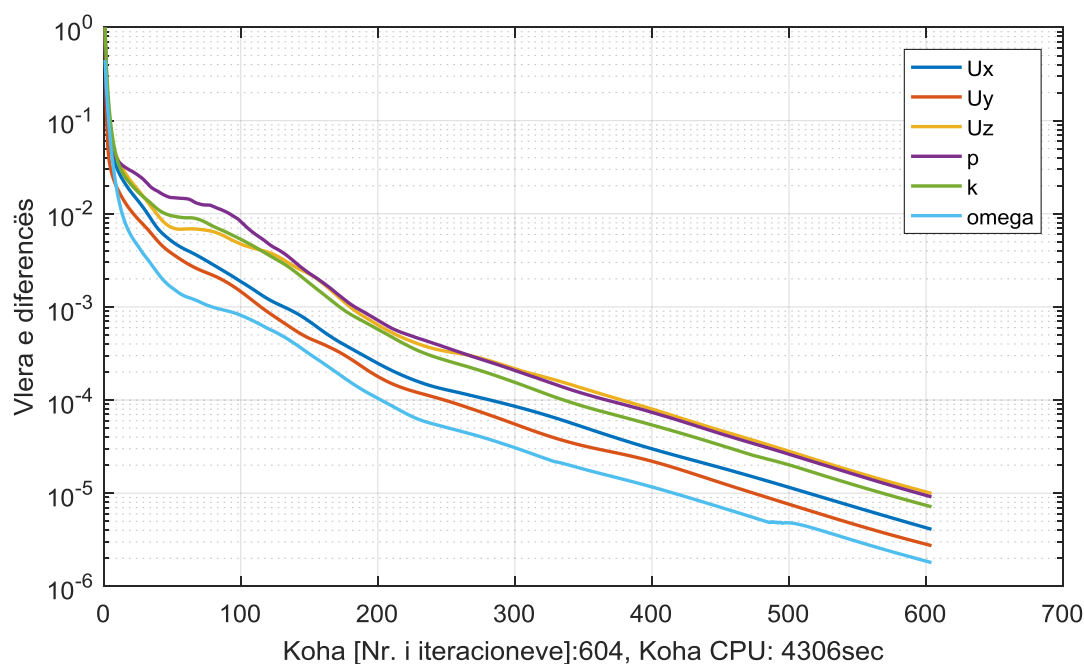


Figure 5.3 Kontrolli i konvergjencës së zgjidhjes

5.3.2 Përcaktimi i presionit statik në hyrje të karkasës

Për çdo qelizë të diskretizimit në hyrje të karkasës marrim një vlerë të presionit

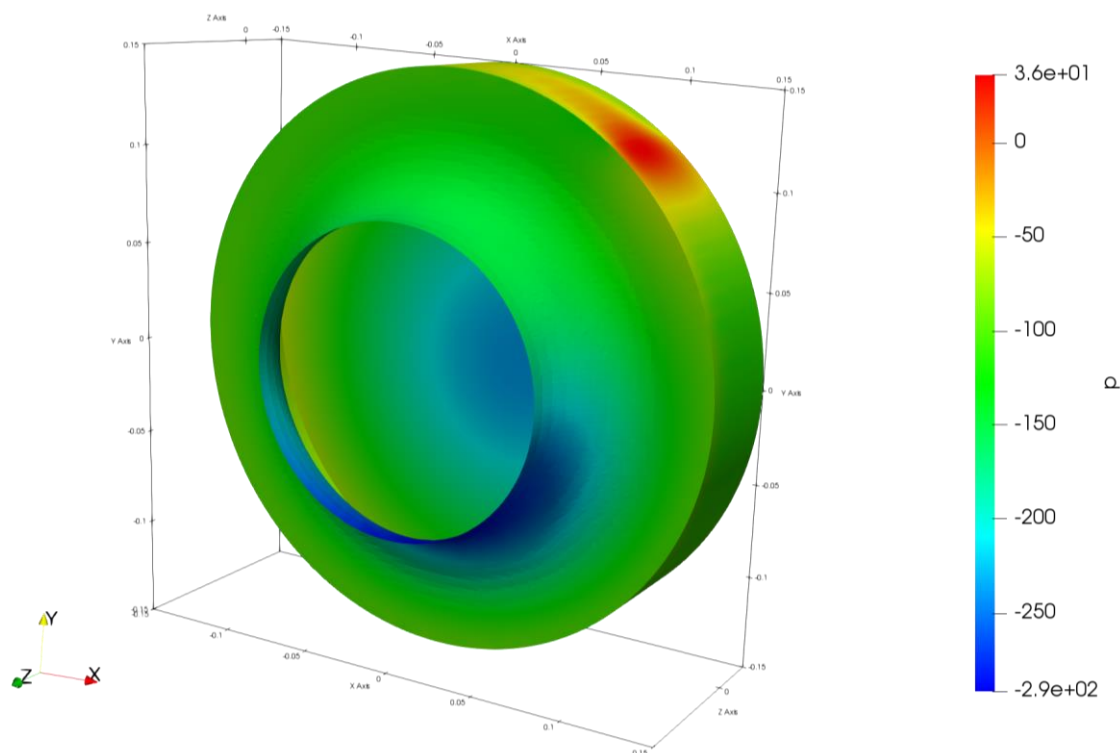


Figure 5. 4 Fusha e presionit në hyrje të karkasës (dalje të rotorit)

5.3.3 Përcaktimi i presionit dinamik në dalje të karkasës

Për të përcaktuar presionin dinamik në dalje të karkasës, për çdo qelizë përcaktohet vektori i shpejtësisë dhe më pas llogaritet presioni dinamik në funksion të këtyre vlerave të shpejtësive.

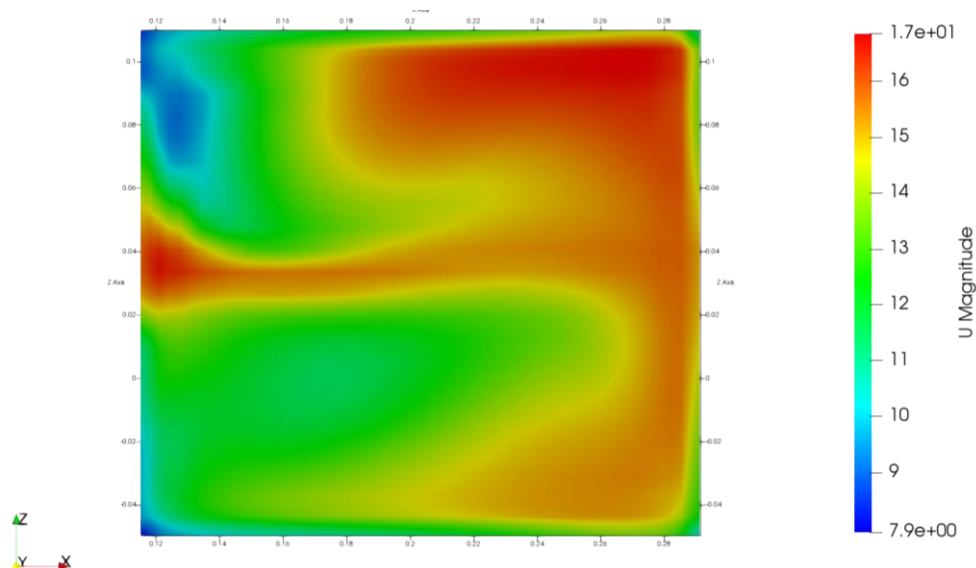


Figure 5. 5 Fusha e shpejtësive në dalje të karkasës

5.3.4 Kontrolli i distancës të qelizës në afërsi të murit

Pas përfundimit të simulimit numerik, duhet të kontrollohet kushti i aplikimit të funksioneve të murit. Për të kontrolluar këtë kusht, vlerësohet parametri y^+ . Kjo vlerë duhet të jetë midis vlerave $30 < y^+ < 200$

\$ yPlus.exe

```
Patch 1 named volute, wall-function nutkWallFunction,
y+ : min: 54.145356 max: 109.45353 average: 84.129767
Patch 2 named frontAndBackInlet, wall-function nutkWallFunction,
y+ : min: 27.0393 max: 116.34382 average: 81.596327
Patch 3 named frontAndBackVolute, wall-function nutkWallFunction,
y+ : min: 56.463656 max: 147.5397 average: 114.36024
Writing yPlus to field yPlus
```

Programi Matlab na jep mundësinë e regjistrimit të vlerave të ndryshme të simulimit dhe me pas rifillimin e simulimit tjetër numerik. Një shembull apriori jepet si më poshtë:

5.3.5 Regjistrimi i të gjitha parametrave të zgjidhjes

13-Nov-2017 17:44:19

```
{
Modeli i Turbulencës:kOmegaSST,r_2:0.15m,B/b:2.7,phi_z:45deg,
alpha:16°,s_z/D_2:2.5163%,r_z/D_2:5%,H:0.17705m,yMax:0.25m,
Q:0.36641 m3/s, phi:0.11 m3/s, cr2:7.035 m/s, cu2:20.25 m/s
PdinMesDalje:118.2285 Pa, PstMesHyrjeInlet:-93.1791 Pa,
PdinMesHyrje:282.4659 Pa
yPlus Min:27.0393, Mes:95.849259, Maks.:147.5397, y+<30:0.0873%
Iteracionet:604
Rendimenti:0.6246
Koeficienti i Rikuperimit të Presionit:0.32988
Koeficienti i Humbjeve:0.25156
}
```

5.3.6 Përcaktimi i koeficientit të humbjeve të presionit total

$$K_p = \frac{p_{t2} - p_{t3}}{p_{t2} - p_2} = \frac{p_2 + \frac{\rho}{2}c_2^2 - \left(p_3 + \frac{\rho}{2}c_3^2\right)}{\frac{\rho}{2}c_2^2} = 0.25156 \quad (3.18)$$

5.3.7 Përcaktimi i koeficientit të rikuperimit të presionit statik

$$C_p = \frac{p_3 - p_2}{p_{t2} - p_2} = \frac{p_3 - p_2}{\frac{\rho}{2}c_2^2} = 0.32988 \quad (3.19)$$

5.3.8 Përcaktimi i rendimentit të karkasës spirale

$$\eta_h = \frac{p_{t3}}{p_{t2}} = \frac{p_3 + \frac{\rho}{2}c_3^2}{p_2 + \frac{\rho}{2}c_2^2} = 62.46\% \quad (3.20)$$

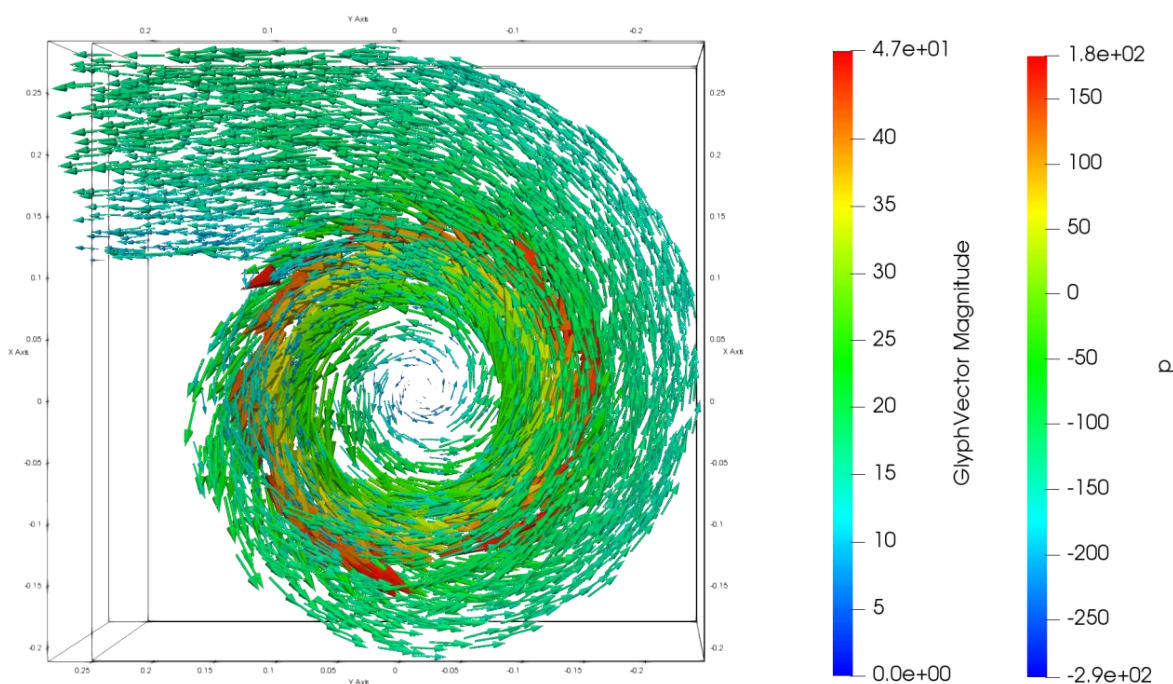


Figure 5. 6 Fusha e vektorëve të shpejtësisë në brendësi të karkasës spirale dhe vlerat e presionit pas zgjidhjes së rrjedhjes në karkasë

5.4 Rezultatet nga simulimet numerike (CFD)

Një nga mënyrat e përcaktimit të karkasës së duhur është kontrolli i vlerës së rendimentit. Normalisht në shumicën e rasteve kërkohet që kjo vlerë të jetë sa më e madhe e mundshme, por mënyra e funksionimit të karkasës do të lidhet ngushtë me kushtet e funksionimit të

ventilatorit centrifugal. Në kushte të caktuara pune, karkasa kërkohet të sigurojë një vlerë të rritur të rikuperimit të presionit statik dhe fokusi kryesor nuk është vlera e rendimentit. Vlen të theksohet, se rendimenti në këto raste duhet ti nënshtrohet kërkesave mbi vlerën minimale të rendimentit të lejuar sipas Direktives 2009/125/EC EU Regulation No 327 (2011).

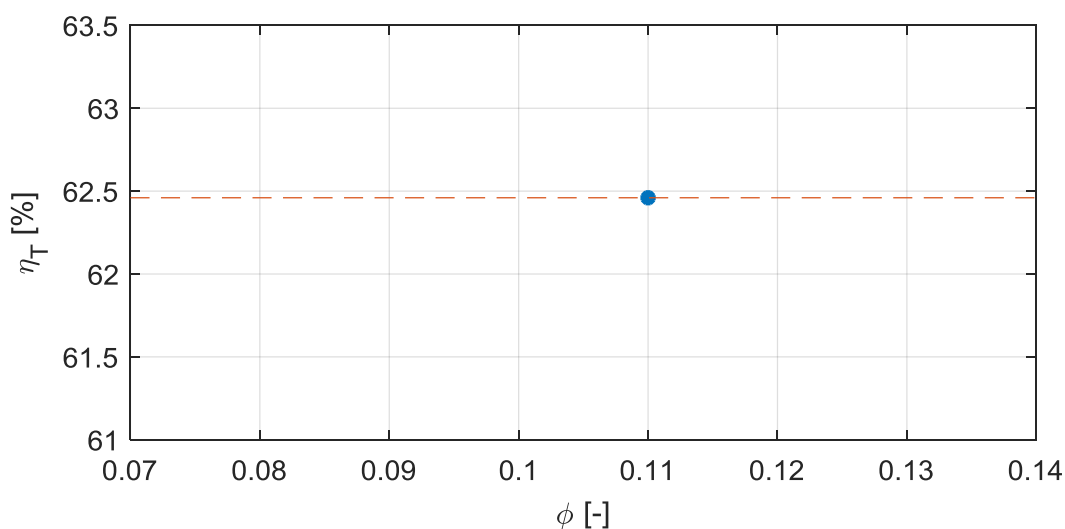


Figure 5. 7 Rendimenti i karkasës spirale në funksion të koeficientit të prurjes

Në këtë rast specifik, rendimenti total i karkasës është $\eta_T = 62.46\%$, i cili i korrespondon një koeficienti të prurjes prej $\phi = 0.11$, me prodhimtari të ventilatorit, $Q = 0.36641 \text{ m}^3/\text{s}$ meqenëse diametri i rotorit është $D = 0.3\text{m}$ dhe numri i rrotullimeve të boshtit $n = 3000 \text{ rrot}/\text{min}$.

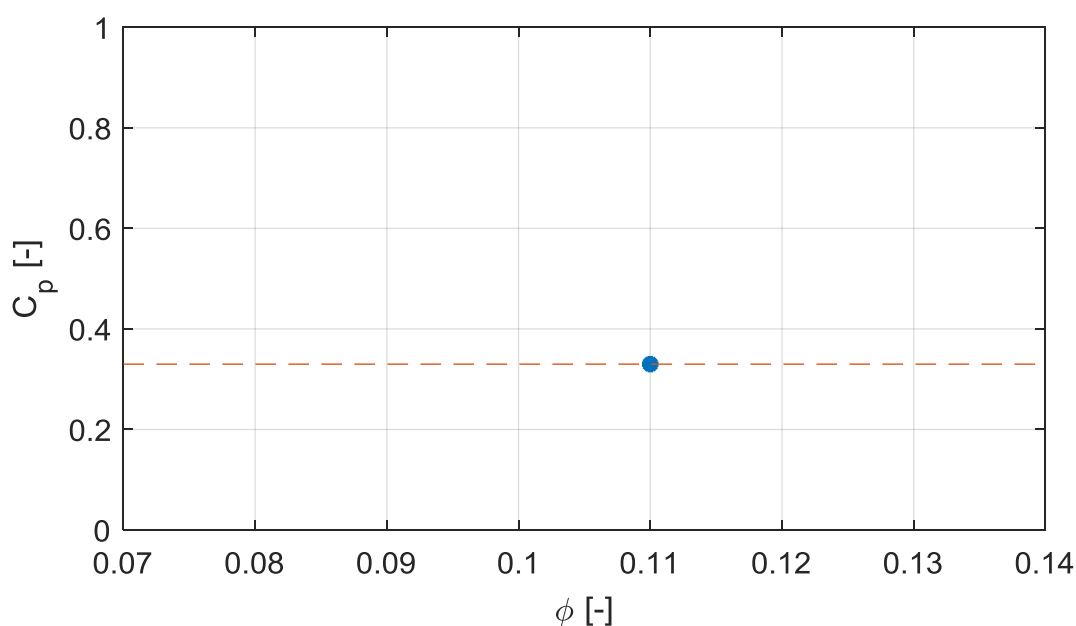


Figure 5. 8 Koeficienti i rikuperimit të presionit statik në karkasë në funksion të koeficientit të prurjes

Parametri i dytë që studiohet për performancën e karkasës është koeficienti i rikuperimit të presionit statik. Vlera në këtë rast është $C_p = 0.33$. Duhet të bëjmë kujdes me vlerat negative të këtij koeficienti, sepse në ato raste përdorimi i karkasës është e panevojshme, për shkak të projektimit të gabuar të karkasës.

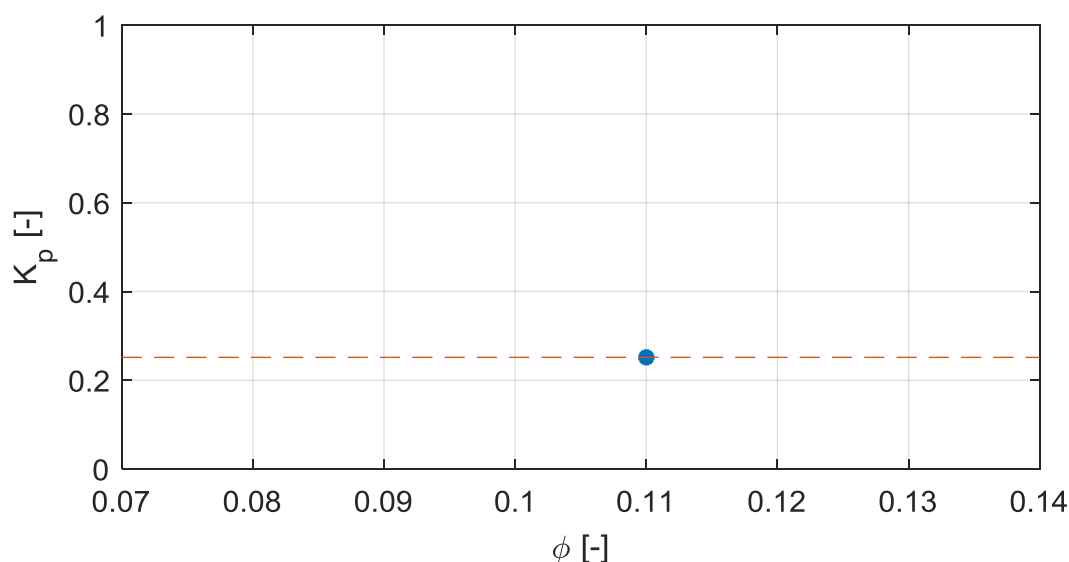


Figure 5. 9 Koeficienti i humbjeve totale të presionit në karkasë në funksion të koeficientit të prurjes

Parametri tjetër është koeficienti i humbjeve totale të presionit. Ndryshe nga koeficienti i rikuperimit të presionit, duhet të sigurohemi që kjo vlerë të jetë sa më e vogël e mundshme. Në rastin konkret vlera e koeficientit të rikuperimit të presionit K_p rezulton 0.25.

5.4.1 Përfundime

Me anë të Ndërfaqes Grafike të Përdoruesit (Matlab GUI) është mundësuar krijimi i një software-i të mirëfilltë CFD, i cili mundëson projektimin e karkasës spirale. Ky funksionalitet i programit e lejon përdoruesin që të projektojë në mënyrë të saktë dhe të shpejtë gjeometrinë e karkasës spirale. Përdoruesi mund të kërkojë të vendosë çdo parametër të mundshëm të karkasës spirale dhe të marrë rezultate mbi rendimentin, koeficientin e rikuperimit të presionit statik si edhe koeficientin e humbjeve totale të presionit. Programi mund të modifikohet dhe përshtatet për çdo tip të rotorit, si dhe për çdo pikë funksionimi të tij.

PËRFUNDIME DHE PUNA NË TË ARDHMEN

Motivi kryesor i këtij studimi lidhet me normativat e Bashkimit Europian mbi efikasitetin e produkteve që konsumojnë energji, specifikisht energjinë elektrike si dhe reduktimin e gazeve me efekt serë (GHG).

Për këtë qëllim fokusi kryesor i punës u përqëndrua në gjetjen e parametrave gjeometrike të karkasave për të cilën arrihet performanca (mirëfunksionimi) më e lartë e ventilatorit centrifugal. Duke qenë se kemi një sërë parametrash gjeometrike, ato u evidentuan dhe u trajtuan me kujdes mbi efektet që ka secili prej tyre si dhe pasqyrimi mbi ndikimi në funksion të 3 parametrave vlerësues, koeficientit të humbjeve totale të presionit Kp , në funksion të koeficientit të rikuperimit të presionit statik Cp si dhe rendimentit të karkasës η .

Studimi u bazua në analizën numerike të rrjedhjes në karkasë. Simulimet numerike kërkojnë një kohë kompjuterike të caktuar, e cila është e konsiderueshme, kështu që duhet të evidentoheshin parametrat gjeometrike që ndikojnë më shumë në performancën e karkasës dhe më pas në mënyrë të vazhduar u zvogëlua intervali i parametrave, deri në gjetjen e vlerave optimale. Studimi fillimisht u krye për formen e karkasës sipas metodës të spirales logaritmike dhe formën në dalje drejtkëndore. Trajtua dhe interpretua rezultatet e para të simulimeve dhe dhamë rekomandimet mbi vlerat e parametrave gjeometrikë më të volitshëm.

Për të validuar vërtetësinë e rezultateve numerike, në përfundim të grupit të parë të simulimeve numerike, u realizuan një sërë eksperimentesh, me një numër të caktuar modelesh, ku vlen të përmendet se shkalla e ndërtimit të modeleve në eksperimentet e kryera është 1:1. Është shpjeguar e gjithë procedura e realizimit të eksperimenteve dhe nga krahasimi i rezultateve, kemi dalë në përfundimin se modeli i zgjedhur për të simuluar rrjedhjen turbulente në karkasë është i duhuri dhe se rezultatet **validojnë** plotësisht rezultatet e simulimeve numerike.

Në fazën e dytë të studimit, u trajtua efekti i hapësirës së sigurisë midis rotorit dhe karkasës spirale, si një ndër parametrat më kryesor në gjeometrinë e gjuhës së karkasës, si një element bazë në ndikimin e performancës së karkasës dhe ventilatorit centrifugal.

Në fazën e tretë të studimit, u kryen krahasime të rezultateve të marra me format alternative të ndërtimit të karkasës dhe u evidentua metoda më e përshtatshme e projektimit të formës së karkasës në funksion të qëllimit të përdorimit të ventilatorit centrifugal.

Në përfundim të studimit, u dhanë në mënyrë të përmbledhur rekomandime mbi parametrat gjeometrikë që duhen përdorur tek karkasat, në funksion të natyrës dhe kërkesës së përdorimit të ventilatorit centrifugal.

Në kapitullin e fundit u trajtua ndërtimi i një ndërfaqeje grafike të përdoruesit nëpërmjet programit Matlab (GUI), në të cilin u realizua automatizimi i procesit të simulimeve numerike meqenëse studimi kishte si qëllim ndikimin e parametrave gjeometrikë dhe ndryshimi manual i tyre do të ishte pothuajse e pamundur. Ndërfaqja grafike jep mundësinë edhe inxhinierëve/studentëve të cilët nuk kanë njohuri të thelluar në fluidodinamikën kompjuterike, të realizojnë simulime numerike.

PUNA NË TË ARDHMEN

- a) Plotësimi i studimit me tipe të tjerë të ventilatorëve centrifugale, edhe pse përdorimi i tyre në praktikë është i vogël.
- b) Të merren në konsideratë variabla të tjerë influencues gjeometrike dhe të vërehet efekti i tyre për diametra të ndryshëm të rotorëve centrifugale.
- c) Të plotësohet studimi duke përfshirë edhe ventilatorët e llojeve të tjerë sipas kërkesave të industrisë.
- d) Të krijohet një tabelë përmbledhëse (**flow-chart**) për përzgjedhjen e parametrave gjeometrikë të marrë në konsideratë për ndërtimin e karkasës spirale sipas kriterëve Ecodesign.
- e) Gjithashtu, studimi do të kishte interes që simulimet numerike të përfshinin jo vetëm karkasën spirale por edhe rotorin si pjesë e njësisë totale të ventilatorit gjë e cila do të na siguronte të dhëna të rëndësishme në ndikimin që ka karkasa në rotor dhe e kundërta. Kjo do të shërbejë dhe si mënyrë kontrolli i efektit të riqarkullimit të brendësi të karkasës spirale.
- f) Rezultatet e marra nga ky studim, (fusha e presioneve) mund të shërbejnë si një e dhënë e rëndësishme për të trajtuar fenomenin e zhurmave në ventilatorët centrifugale. Kjo do të kishte interes shumë të veçantë pasi niveli i zhurmave është një ndër fenomenet më të diskutuara në ditët e sotme, edhe pse ky parametër nuk u mor në konsideratë në këtë studim.

ANEKS I - Rregullore “Ecodesign” për ventilatorët centrifugale Nr 327/2011 [1].

Politikat Klimaterike dhe Energjitike

Në kuadër të reduktimit të përdorimit të energjisë elektrike dhe zvogëlimit të emetimit të karbonit në vendet e Evropës, janë ndërmarrë disa nga masa me karakter obligues në kuadër të mbrojtjes së mjedisit dhe rendimentit të përdorimit të energjisë elektrike nga konsumatorët e ndryshëm energjetik. Në mars të vitit 2007, liderët e BE miratuan një qasje të integruar për politikën e klimës dhe energjisë. Ata e angazhuan Evropën për ta transformuar veten në një ekonomi mjaft të efektshme për energji e cila kontribuon me një emetim në nivele të ulëta të karbonit në mjedisin rrethues. Për të nisur procesin, krerët e shteteve dhe qeverive të BE vendosën një sërë objektivash të rëndësishme për klimën dhe energjinë që do të përmbushen deri në vitin 2020:

- Reduktim me 20% në emetimet në mjedis të gazeve me efekt serë,
- Rritje prej 20% të energjisë elektrike të prodhuar nga burimet e energjisë së rinovueshme
- Ulja e 20% e përdorimit të energjisë primare në krahasim me nivelet e parashikuara, e cila do të arrihet duke përmirësuar efikasitetin e energjisë.

Rregullorja e Komisionit Evropian Nr 327/2011

Në 30 mars të vitit 2011 u miratua dhe filloi implementimin direktiva 2009/125/EC e parlamentit evropian referuar kërkesave “Ecodesign” për ventilatorët të cilët vihen në punë nga motorët elektrik me fuqi midis 125W dhe 500kW. Disa prej arsytet e implementimit të kësaj rregulloreje do të përmenden me poshtë:

Totali i energjisë elektrike të konsumuar nga ventilatorët të vënë në punë nga elektromotorë me fuqi nga 125W deri në 500kW është 344TWh në vit, duke arritur në 560TWh në vitin 2020 nëse trendi i tregut evropian vazhdon me të njëjtat ritme. Përfitimet nga përmirësimi i rendimentit me anë të projektimit është në vlerën 34TWh/vit e cila korrespondon në 16 milion ton të CO_2 të emetuar në vit. Si pasojë, ventilatorët me fuqi hyrëse elektrike midis 125W dhe 500 kW përfaqësojnë një produkt për të cilin duhet të krijohen kërkesat për Ecodesign.

Shumë prej ventilatorëve të përdorur në sisteme të kondicionimit dhe aktualisht funksionale do ti nënshtrohen legjislacionit bazuar në direktivën 2010/31/EU në parlamentit evropian mbi performancën e energjisë në banesa. Këto kërkesa janë më të larta për të arritur

efikasitet të energjisë në ato sisteme të ventilimit, duke përdorur metodat e llogaritjes dhe matjes të përcaktuara në këtë rregullore për sa i përket efikasitetit të ventilatorit.

Komisioni ka zhvilluar një sërë studimesh paraprake në të cilën ka analizuar aspektet teknike, mjedisore dhe ekonomike të ventilatorëve. Ky studim është zhvilluar së bashku me palët e interesuara nga vendet e bashkimit evropian si edhe vendet e treta dhe rezultatet janë bërë publike. Puna dhe konsultimet e mëtejshme treguan se fushëveprimi mund të shtyhet më tej me përjashtimet që bëhen për aplikime të veçanta kur kërkesat nuk do të ishin të përshtatshme.

Studimet paraprake kanë treguar se ventilatorët të cilët vihen në punë nga motorë me fuqi 125W deri në 500kW kanë përhapjen më të madhe në tregun evropian.

Përmirësimet në efikasitetin e energjisë të këtyre ventilatorëve duhet të arrihen duke zbatuar teknologjitë ekzistuese me kosto efektive që mund të zvogëlojnë kostot totale të blerjes dhe operimit të tyre.

Për të kufizuar më tej ndikimin mjedisor të ventilatorëve të vënë në punë nga motorë me një fuqi hyrëse elektrike midis 125W dhe 500kW, prodhuesit duhet të ofrojnë informacione lidhur me çmontimin, riciklimin ose asgjësimin në fund të jetës së tyre.

Duhet të identifikohen parametrat për llojet e ventilatorëve aktualisht në dispozicion me efikasitet të lartë të energjisë. Kjo do të ndihmojë në sigurimin e disponueshmërisë së gjerë dhe qasjes së lehtë të informacionit, veçanërisht për ndërmarrjet e vogla dhe të mesme dhe firmat shumë të vogla, të cilat do të lehtësojnë më tej integrimin e teknologjive më të mira të projektimit dhe lehtësojnë zhvillimin e produkteve më efikase për reduktimin e konsumit të energjisë .

Direktiva për pajisjet e lidhura me Energjinë (ErP)

Direktiva për pajisjet (produktet) e lidhura me Energjinë (ErP) hyri në fuqi, me qëllim të reduktimit të kërkesave për energji, në të gjithë hallkat e furnizimit të produkteve që operojnë (vihen në punë) me anë të energjisë elektrike, duke prezantuar standardet e rendimentit për instalimin e motorëve elektrikë dhe të ventilatorëve.

Direktivat Evropiane të aplikueshme për motorët elektrik dhe rendimentit të ventilatorëve:

- Direktiva “*Ecodesign*” (2005/32 / EC) për produktet konsumatore të energjisë (EuP)
Rregullorja e Komisionit (KE) Nr 640/2009 - Kërkesat “*Ecodesign*” për motorët elektrikë.
- Direktiva “*Ecodesign*” (2009/125 / EC) shtese për produktet të lidhura me energjinë (ErP)

Rregullorja e Komisionit (BE) Nr 327/2011 - Kërkesat Ecodesign për ventilatorët që vihen në punë nga motorë elektrikë me fuqi në dalje 125 W dhe 500 kW.

Kërkesat ligjore për sistemet HVAC

Komponentët, siç janë ventilatorët dhe motorët elektrikë, të përdorura në impiantet e trajtimit të ajrit janë përfshirë në Direktivën Ecodesign, të cilat duhet së paku të plotësojnë ose të tejkalojnë kërkesat e përcaktuara nga KE.

Efikasiteti i motorëve elektrik

Direktiva Ecodesign (2005/32 / EC) mbi produktet e përdorimit të energjisë (EuP)

- Rregullorja e Komisionit (KE) Nr 640/2009 - Kërkesat Ecodesign për motorët elektrikë.

Që prej 1 Janarit të vitit 2015, motorët me fuqi nominale nga 7.5 deri 375 kW nuk do të jenë më pak efikase se sa niveli i 3 ndërkombëtare i efikasitetit (IE3), ose ato duhet të përmbushin nivelin e 2 ndërkombëtare të efikasitetit (IE2) në rastet kur ato përdoren me motorë me regjime shpejtësie të ndryshueshme.

Motorë me shpejtësi të ndryshueshme (VSD):

Kjo përcaktohet në rregullore si një kontrollues i cili është në gjendje që vazhdimisht të përshtatë fuqinë e motorit elektrik, kjo realizohet jo vetëm nëpërmjet ndryshimit të vlerës së tensionit të aplikuar në motor.

- Në terma të thjeshtë, një VSD është një inverter, i cili përdor frekuenca dhe tension të ndryshueshëm për të kontrolluar fuqinë dhe shpejtësinë e motorit
- Rregulloret lejojnë VSD të përdoren si një mjet për të rritur rendimentin e ventilatorëve
- Kjo do të thotë se për disa ventilatorë, ata do të jenë vetëm në përputhje me ErP nëse përdoren në skemë lidhje me VSD

Nivelet e rendimentit të motorit të ventilatorit (FMEG) në tregun Evropian

Kërkesat e paraqitura nga Ecodesign për të gjithë motorët elektrikë nga Komisioni Ndërkombëtar Elektroteknik (IEC) janë:

- Nga 16 Qershor 2011, motorët mund të jenë jo më pak efikasë se niveli IE2
- Që nga 1 janari i vitit 2015, motorët e vlerësuar me fuqi në dalje prej 7.5 deri 375 kW duhet të jenë jo më pak efikase se niveli IE3, ose të përmbushin nivelin IE2 duke përdorur motor me shpejtësi të ndryshueshëm (VSD)

- Që nga 1 janari 2017, motorët me fuqi nominale 0.75 deri 375 kW nuk do të jenë më pak efikase se IE3, ose do të përmbushin nivelin IE2 duke përdorur një VSD

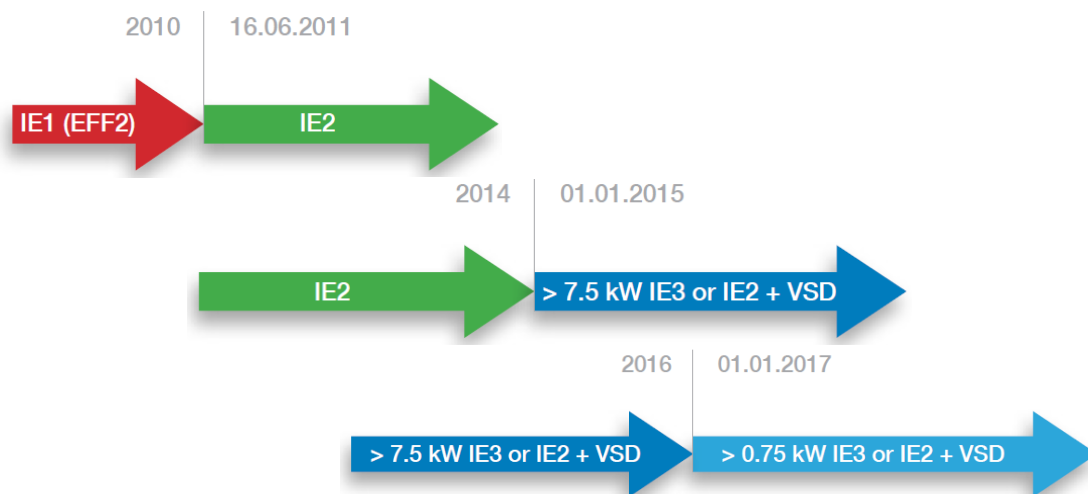


Figura 6.1 Nivelet ndërkombëtare të rendimentit dhe viti i aplikimit të secilit nivel [1]

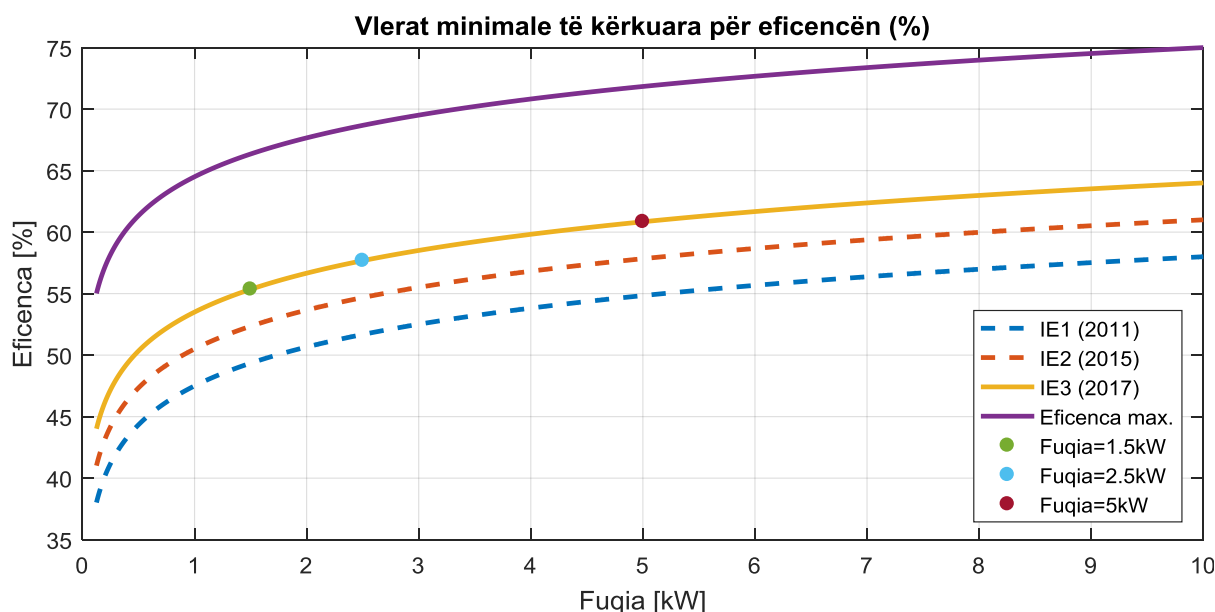


Figura 6.2 Vlerat minimale të kërkuara për rendimentin e ventilatorit në funksion të fuqisë [1]

Përfshirjet nga rregullorja

Ka disa përjashtime nga këto kërkesa:

- Motorët e frenimit
- Motorët e projektuar për të operuar tërësisht të zhytur në një lëng
- Motorë të integruar tërësisht në një produkt (p.sh. reduktorë, pompë, ventilator ose kompresor), ku performanca e motorit nuk mund të testohet në mënyrë të pavarur

Motorë të dizajnuara posaçërisht për të operuar:

- në lartësi mbi 1000 metra mbi nivelin e detit
- ku temperaturat e ajrit të ambientit tejkalojnë 40°C

- me temperatura maksimale operuese mbi 400°C
- ku temperaturat e ajrit të ambientit janë më pak se -15°C për çdo motor, ose më pak se 0°C për një motor me ftohje ajri
- ku temperatura e ftohësit të ujit në hyrjen e një produkti është më pak se 5°C ose tejkalon 25°C
- në ambiente potencialisht shpërthyes, siç përcaktohet në Direktivën 94/9/EC

Kërkesat minimale të rendimentit të motorit të ventilatorit (FMEG):

Tabela Nr. 7 Vlerat nominale minimale të rendimentit (%) për nivelin e dytë të rendimentit IE2 (50 Hz) [1]

Fuqia në dalje [kW]	Numri i poleve			Fuqia në dalje [kW]	Numri i poleve		
	2	4	6		2	4	6
0.75	77.4	79.6	75.9	22	91.3	91.6	90.9
1.1	79.6	81.4	78.1	30	92	92.3	91.7
1.5	81.3	82.8	79.8	37	92.5	92.7	92.2
2.2	83.2	84.3	81.8	45	92.9	93.1	92.7
3	84.6	85.5	83.3	55	93.2	93.5	93.1
4	85.8	86.6	84.6	75	93.8	94	93.7
5.5	87	87.7	86	90	94.1	94.2	94
7.5	88.1	88.7	87.2	110	94.3	94.5	94.3
11	89.4	89.8	88.7	132	94.6	94.7	94.6
15	90.3	90.6	89.7	160	-	-	-
18.5	90.9	91.2	90.4	200-375	94.8	94.9	94.8

Tabela Nr. 8 Vlerat nominale minimale të rendimentit (%) për nivelin e tretë të rendimentit IE3 (50 Hz) [1]

Fuqia në dalje [kW]	Numri i poleve			Fuqia në dalje [kW]	Numri i poleve		
	2	4	6		2	4	6
0.75	80.7	82.5	78.9	22	92.7	93	92.2
1.1	82.7	84.1	81	30	93.3	93.6	92.9
1.5	84.2	85.3	82.5	37	93.7	93.9	93.3
2.2	85.9	86.7	84.3	45	94	94.2	93.7
3	87.1	87.7	85.6	55	94.3	94.6	94.1
4	88.1	88.6	86.8	75	94.7	95	94.6
5.5	89.2	89.6	88	90	95	95.2	94.9
7.5	90.1	90.4	89.1	110	95.2	95.4	95.1
11	91.2	91.4	90.3	132	95.4	95.6	95.4
15	91.9	92.1	91.2	160	95.6	95.8	95.6
18.5	92.4	92.6	91.7	200-375	95.8	96	95.8

Funksionimi i njësisë motor-ventilator

Direktiva Ecodesign (2009/125/ EC) mbi produktet e përdorimit të energjisë (EuP)

- Rregullorja e Komisionit (KE) Nr 327/2011 - Kërkesat Ecodesign për ventilatorët të vene në pune nga motorët me fuqi elektrike nga 125W deri në 500kW.

Klasa e efikasitetit të motorit të ventilatorëve (FMEG) është një sistem ku ventilatorët e të gjitha llojeve vlerësohen. Baza e FMEG është rendimenti optimal ose maksimal i ventilatorit, e llogaritur si:

$$\eta_v = \frac{Q \cdot \Delta p}{N_{hyrje}} \quad (6.1)$$

η_v [%] - Rendimenti i ventilatorit,

Q [m³/s] - Prurja në vëllim e ajrit,

Δp [Pa] - Presioni,

N_{hyrje} [W] - Fuqia në hyrje e motorit.

Presioni mund të jetë ose statik ose total (në varësi të metodës së testimit të ventilatorëve të përdorur). Ekzistojnë tri përjashtime të rëndësishme për pajtueshmërinë me produktet e lidhura me energjinë (ErP):

- Motorë me më pak se 125 vat
- Ventilatorët e përdorur për të transportuar ajrin ose gazet në temperatura që tejkalojnë 100 ° C
- Vendosen në treg para 1 Janarit 2015 si pjesë ndërrimi për ventilatorë identikë të integruar në produkte të cilat janë vendosur në treg para 1 Janarit 2013

Është përgjegjësi e prodhuesit të sigurojë që seti final i ventilatorëve elektrik të jetë në përputhje me legjislacionin dhe të plotësojë nivelin e kërkuar të efikasitetit. Dy komponentët kryesorë që kanë një efekt të madh janë:

- Motori
- Transmisioni

Formula për llogaritjen e shkallës FMEG për një ventilator me lopata punuese të kthyera para bashkë me karkasën jepet si më poshtë:

$$N = 2.74 \cdot \ln(P) - 6.33 - \eta_e \quad (6.2)$$

Formula për llogaritjen e shkallës FMEG për një ventilator me lopata punuese të kthyera mbrapa bashkë me karkasën jepet si më poshtë:

$$N = 4.56 \cdot \ln(P) - 10.5 - \eta_e \quad (6.3)$$

ku: N - klasa e FMEG

$P[\text{kW}]$ - fuqia në hyrje,

(η_e) - Rendimenti optimal ose maksimal në përqindje (%).

Rendimenti i përgjithshëm është produkt i të gjitha rendimenteve të secilit prej komponentëve të përfshira në impiantin e ventilatorit

Formula për llogaritjen e kësaj të fundit është paraqitur si më poshtë:

$$\eta_v = \eta_K \cdot \eta_M \cdot \eta_T \cdot C_m \quad (6.4)$$

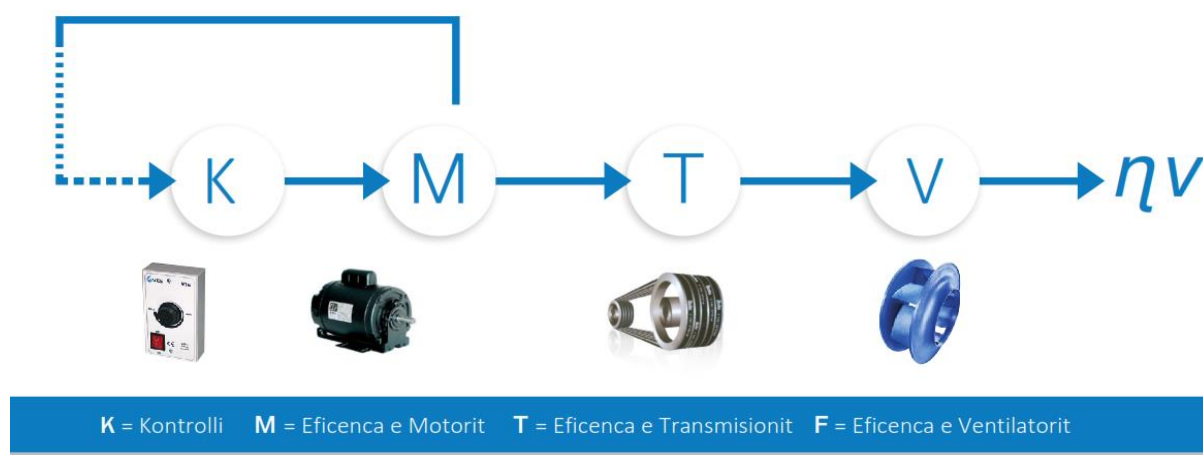


Figura 6.3 Elementet e sistemit të një ventilatori [1]

ku:

η_v - rendimenti optimal në boshtit e ventilatorit;

η_M - rendimenti i motorit; η_T - rendimenti i transmetimit;

η_K - rendimenti i sistemit të kontrollit; C_m - faktori i kompensimit të ngarkesës

Për të qenë në përputhje me produktet e lidhura me energjinë (ErP), ventilatori duhet të jetë i barabartë ose më i madh se nivelet e FMEG të përcaktuara në Direktivë. Çdo lloj ventilatori ka nivelin e vet FMEG. Metoda e përdorur për të testuar ventilatorin gjithashtu ndryshon nga nivelet e synuara të FMEG. Nivelet fillestare të FMEG të Direktivës hynë në fuqi më 1 janar 2013 (ErP2013). Pas kësaj, një nivel i dytë i përmirësuar i FMEG hyri në fuqi më 1 janar 2015 (ErP2015). Në kohën e miratimit të kësaj rregulloreje është përcaktuar niveli maksimal i rendimentit që teknologjia e asaj kohë mund të arrinte. Këto standarde mund të mos jenë të arritshme për të gjitha aplikimet ose të mbulojë të gjithë gamen e fuqisë të përcaktuar nga rregullorja. Të gjithë ventilatorët standard janë subjekt i rregulloreve të produkteve të lidhura

me energjinë (ErP). Megjithatë ka disa aplikime për ventilatorët që janë të përjashtuar nga kjo rregullore. Këto përjashtime janë të listuara si më poshtë:

- Ventilatorët e përdorur në automjetet për transportin e njerëzve ose të mallrave
- Ventilatorët me efikasitet optimal me shpejtësi 8000 rrot/min ose më të lartë
- Në aplikimet ku 'raporti specifik' është mbi 1.11
- Ventilatorët e përdorur në transportimin e substancave jo të gazta në aplikimet industriale
- Ventilatorët e tipit "tymthithës" (kapa)

Legjislacioni i aplikuar zbatohet për të gjithë prodhuesit e ventilatorëve dhe prodhuesit e pajisjeve ventiluese, të cilët montojnë të gjitha elementet përbërëse.

Tabela Nr. 9 Kërkesat minimale të rendimentit të energjisë për ventilatorët që nga 1 janari 2015 [1]

Tipi i ventilatorit	Kategoria e rendimentit (Statike ose totale)	Niveli i rendimentit (N) 2013 (%)	Niveli i rendimentit (N) 2015 (%)	Niveli maksimal i arritshëm i rendimentit në atë kohë	Fuqia në hyrje (kW)	Rendimenti e kërkuar (%)
Ventilator me lopata të drejtuara mbrapa karkasë	statike	58	62	70	$0.125 \leq P \leq 10$	$\eta_t = 4.56 \cdot \ln(P) - 10.5 + N$
					$10 < P \leq 500$	$\eta_t = 1.1 \cdot \ln(P) - 2.6 + N$
Ventilator me lopata të drejtuara mbrapa me karkasë	statike	58	61	72	$0.125 \leq P \leq 10$	$\eta_t = 4.56 \cdot \ln(P) - 10.5 + N$
					$10 < P \leq 500$	$\eta_t = 1.1 \cdot \ln(P) - 2.6 + N$
	totale	61	64	75	$0.125 \leq P \leq 10$	$\eta_t = 4.56 \cdot \ln(P) - 10.5 + N$
					$10 < P \leq 500$	$\eta_t = 1.1 \cdot \ln(P) - 2.6 + N$

Nëse marrim rastin e një ventilatori centrifugal me lopata të kthyera mbrapa me karkasë, i cili ka fuqi në hyrje a) 1.5 kW, b) 2.5 kW apo c) 5 kW kërkesa minimale e rendimentit total për këtë tip ventilatori, nëse do ti referohemi vitit 2015 do të jenë [1]:

$$a) \eta_v = 4.56 \cdot \ln(P) - 10.5 + N = 4.56 \cdot \ln(1.5) - 10.5 + 64 = 55.35 \text{ (%)}$$
(6.5)

$$b) \eta_v = 4.56 \cdot \ln(P) - 10.5 + N = 4.56 \cdot \ln(2.5) - 10.5 + 64 = 57.68 (\%) \quad (6.6)$$

$$a) \eta_v = 4.56 \cdot \ln(P) - 10.5 + N = 4.56 \cdot \ln(5) - 10.5 + 64 = 60.84 (\%) \quad (6.7)$$

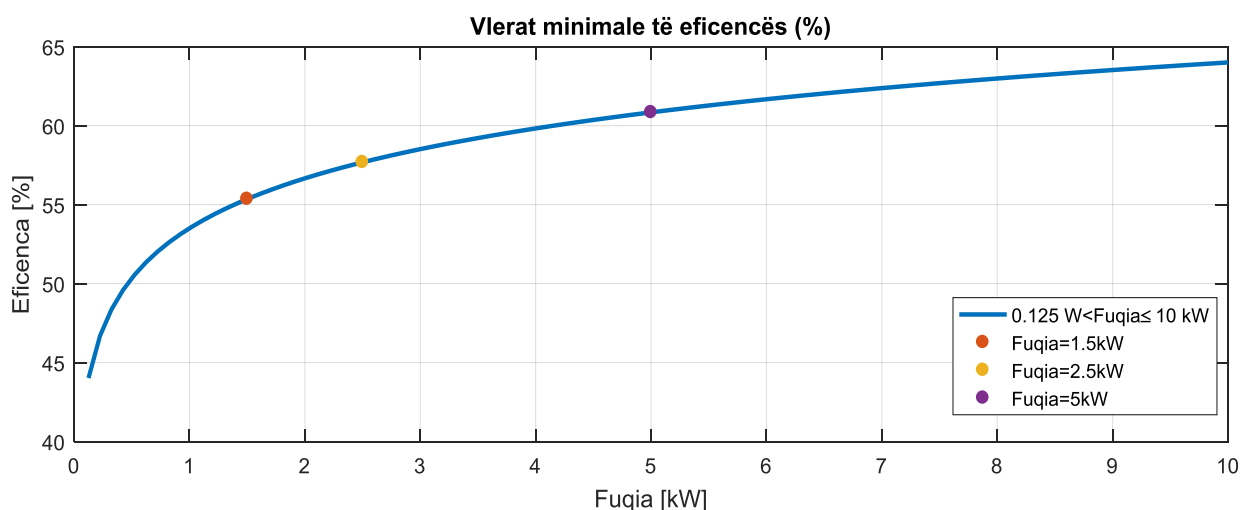


Figura 6.4 Varësia e vlerës minimale të rendimentit të kërkuar nga ventilatorët për fuqi nga 0.125 deri në 10kW

Nëse do të kishim të njëjtin tip ventilatori por me fuqi a) 50kW, b) 150kW dhe c) 350kW kërkesat minimale për rendimentin do të ishin [1]:

$$a) \eta_v = 1.1 \cdot \ln(P) - 2.6 + N = 1.1 \cdot \ln(50) - 2.6 + 64 = 65.70 (\%) \quad (6.8)$$

$$b) \eta_v = 1.1 \cdot \ln(P) - 2.6 + N = 1.1 \cdot \ln(150) - 2.6 + 64 = 66.91 (\%) \quad (6.9)$$

$$c) \eta_v = 1.1 \cdot \ln(P) - 2.6 + N = 1.1 \cdot \ln(350) - 2.6 + 64 = 67.84 (\%) \quad (6.10)$$

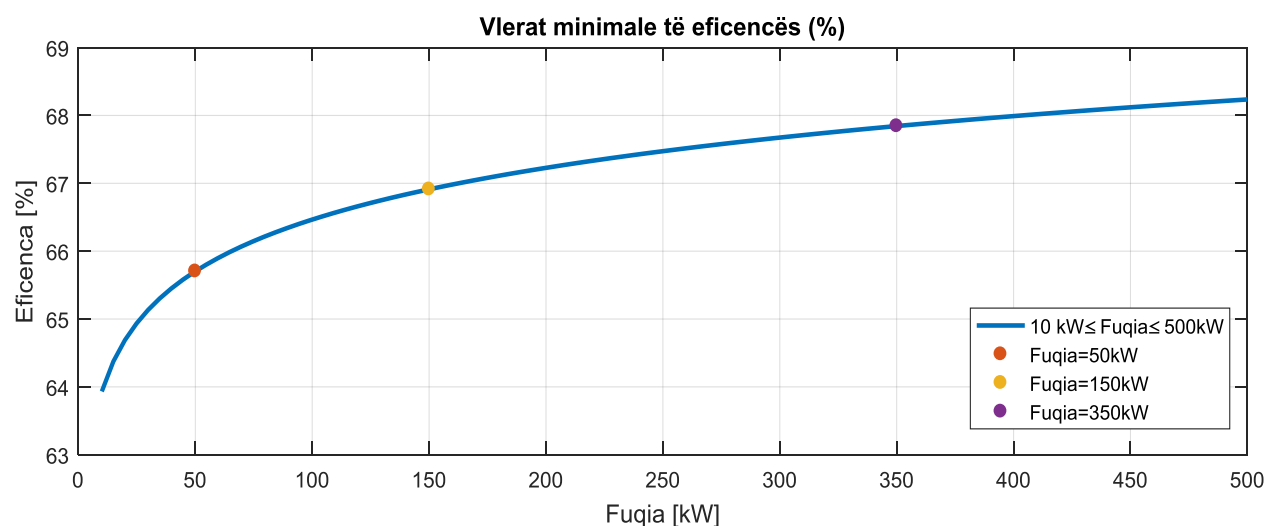


Figura 6.5 Varësia e vlerës minimale të rendimentit të kërkuar nga ventilatorët për fuqi nga 10 deri në 500kW

P [kW]– fuqia elektrike në hyrje

N – niveli i rendimentit

ANEKS II - Kodi Matlab, Skedarët e gjeneruar

```

%% RUN OPENFOAM VOLUTE CASE STUDY- Last Version 6.0 (16.07.2019)
%% Author: M.Sc Ardit GJETA
%% Energy Department, Polytechnic University of Tirana
%% E-mail: agjeta@fim.edu.al

% Volute Boundary Conditions Calculation - Turbulent Flow
clear; clc; load('fanData.mat'); phi=0.07; % phi=0.12 Q=0.4m3/s
widthScale=2.4; E=0.1274/(widthScale*0.0587);

%% VARIABLE PARAMETERS
R2=0.15; D2=2*R2; % Impeller radius/diameter (m)
k = 3; % Turbulent kinetic energy
epsilon=10000; % Epsilon
omega=4000; % Omega (Dissipation ratio)
startTime= 0; endTime= 1000; writeInterval= 1000;
RASModel='kOmegaSST'; % kEpsilon, kOmega, kOmegaSST
toleranceUp=1e-8; tolerance=1e-6; residualControl=1e-4;

dt=pi/3000; fi= 0:dt:2*pi; % Rotation angle Impeller (rad)
fiV= 35*pi/180:dt:2*pi; % Rotation angle Spiral Casing Volute (rad)
yMax= 0.25; % Max height of volute
alpha=10*pi/180; % 10-20 degree
rz= 5/100*D2; % 2.5-5% of D2
%% AllRunOpenFOAMNoPRINT; AllRunOpenFOAMnonUniformU;

for alpha=(10:2:20)*pi/180
    for fiV= (35:5:60)*pi/180:dt:2*pi
        for rz= (2.5:0.5:5)/100*D2
            for widthScale=1.2:0.2:4
                for phi=0.07:0.01:0.14
                    preProcessing;
                    spiralCasingShape;
                    writeVoluteSTL;
                    cfMesh;
                    VoluteInflow;
                    simpleFoam.m
                    postProcessing;
                end
            end
        end
    end
end

% Paraqitja e mesiperme demontron mundesine e realizimit te 25.920
% simulimeve ne menyre te panderprere, ku per secilin simulim jane te
% ruajtuar automatikisht rezultatet ne menyre grafike dhe ne format Matlab.

% Me poshte eshte treguar permbajtja e secilit file Matlab te nevojshem
% per kryerjen e te gjitha proceseve per simulimet numerike.

```

preprocessing.m

```
% Initial and boundary conditions 0 Folder - - Version 3.0 (31.03.2017)
mkdir('0');
%% Velocity (U)
fid = fopen('0/U','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;','...
    'format ascii;','class volVectorField','object U;','}');
fprintf(fid,'%s\n','dimensions [0 1 -1 0 0 0 0];');
% dimensions [kg m sec K mol A cd ];
fprintf(fid,'%s\n','internalField uniform (0 0 0);');
fprintf(fid,'%s\n','boundaryField',...
    {'','inlet',{'','type cylindricalInletVelocity;','centre (0 0 0);','...
    'value uniform (0 0 0);','axis (0 0 1);','axialVelocity 0;','...
    'origin (0 0 0);','['radialVelocity ', num2str(cr2) ';''],...
    ['rpm constant ', num2str(tangentialVelocity*60/(pi*D2)) ';''],'}');
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackInlet',{'','type rotatingWallVelocity;','...
    'centre (0 0 0);','...
    'origin (0 0 0);','...
    'axis (0 0 1);','...
    ['omega ', num2str(2*pi*rpm/60) ';''],'}');
fprintf(fid,'%s\n','volute',{'','type fixedValue;','...
    'value uniform (0 0 0);','}');
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackVolute',{'','type fixedValue;','...
    'value uniform (0 0 0);','}');
fprintf(fid,'%s\n','outlet',{'','type zeroGradient;','}','}');
fclose(fid);
%% Pressure (p)
fid = fopen('0/p','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;','format ascii;','...
    'class volScalarField','object p;','}');
fprintf(fid,'%s\n','dimensions [0 2 -2 0 0 0 0];');
fprintf(fid,'%s\n','internalField uniform 0;');
fprintf(fid,'%s\n','boundaryField',{'',...
    'inlet',{'','type zeroGradient;','}','},...
    'frontAndBackInlet',{'','type zeroGradient;','}','},...
    'volute',{'','type zeroGradient;','}','},...
    'frontAndBackVolute',{'','type zeroGradient;','}','},...
    'outlet',{'','type fixedValue;','value uniform 0;','}','}');
fclose(fid);
%% Kinematic Eddy Viscosity (nut)
fid = fopen('0/nut','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;','format ascii;','...
    'class volScalarField','location "0";','object nut;;','}');
fprintf(fid,'%s\n','dimensions [0 2 -1 0 0 0 0];');
fprintf(fid,'%s\n','internalField uniform 0;');
fprintf(fid,'%s\n','boundaryField',{'','inlet',{'','type calculated;','...
    'value $internalField;','}');
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackInlet',{'','type nutkWallFunction;','...
    'value $internalField;','}');
fprintf(fid,'%s\n','volute',{'','type nutkWallFunction;','...
    'value $internalField;','}');
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackVolute',{'','type nutkWallFunction;','...
    'value $internalField;','}');
fprintf(fid,'%s\n','outlet',{'','type calculated;','...
    'value $internalField;','}','}');
fclose(fid);
%% Dissipation rate (epsilon)
fid = fopen('0/epsilon','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;','format ascii;','...
    'class volScalarField','location "0";','object epsilon;','}');
fprintf(fid,'%s\n','dimensions [0 2 -3 0 0 0 0];');
```

```

fprintf(fid,'%s\n',['internalField uniform ', num2str(epsilon) ';']);
fprintf(fid,'%s\n','boundaryField',{'','inlet',{'type fixedValue;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackInlet',{'type epsilonWallFunction;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','volute',{'type epsilonWallFunction;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackVolute',{'type epsilonWallFunction;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','outlet',{'type zeroGradient;','}}');
fclose(fid);
%% Turbulent Kinetik Energy (k)
fid = fopen('0/k','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;',...
'format ascii;', 'class volScalarField;', 'location "0";', 'object
k;', '});
fprintf(fid,'%s\n','dimensions [0 2 -2 0 0 0 0];');
fprintf(fid,'%s\n',['internalField uniform ', num2str(k) ';']);
fprintf(fid,'%s\n','boundaryField',{'','inlet',{'type fixedValue;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackInlet',{'type kqRWallFunction;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','volute',{'type kqRWallFunction;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackVolute',{'type kqRWallFunction;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','outlet',{'type zeroGradient;','}}');
fclose(fid);
%% Specific turbulence dissipation rate (omega)
fid = fopen('0/omega','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;', 'format ascii;',...
'class volScalarField;', 'location "0";', 'object omega;', '});
fprintf(fid,'%s\n','dimensions [0 0 -1 0 0 0 0];');
fprintf(fid,'%s\n',['internalField uniform ', num2str(omega) ';']);
fprintf(fid,'%s\n','boundaryField',{'','inlet',{'type fixedValue;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackInlet',{'type omegaWallFunction;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','volute',{'type omegaWallFunction;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','frontAndBackVolute',{'type omegaWallFunction;',...
'value $internalField;','}});
fprintf(fid,'%s\n','outlet',{'type zeroGradient;','}}');
fclose(fid);
%% constant Folder
mkdir('constant');
%% Turbulence parameters
fid = fopen('constant/turbulenceProperties','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;',...
'format ascii;', 'class dictionary;', 'location "constant";',...
'object turbulenceProperties;', '});
fprintf(fid,'%s\n','simulationType RAS;', 'RAS',{'',...
['RASModel ' num2str(RASModel) ';'],'turbulence on;', 'printCoeffs
on;', '});
fclose(fid);
% transportProperties - kinematic viscosity (nu)
fid = fopen('constant/transportProperties','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;',...
'format ascii;', 'class dictionary;', 'location "constant";',...
'object transportProperties;', '});
fprintf(fid,'%s\n','transportModel Newtonian;',...

```

```

    ['nu      [0 2 -1 0 0 0 0] ' num2str(nu) ';'']);
fclose(fid);
%% system Folder
mkdir('system');
%% Computation set up - controlDict
fid = fopen('system/controlDict','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;',...
    'format ascii;', 'class dictionary;', 'location "system";',...
    'object controlDict;',',','}');
fprintf(fid,'%s\n','application simpleFoam;', 'startFrom startTime;',...
    ['startTime ' num2str(startTime) ';''], 'stopAt endTime;',...
    ['endTime ' num2str(endTime) ' ;'], 'deltaT 1;',...
    'writeControl timeStep;',...
    ['writeInterval ' num2str(writeInterval) ';''],...
    'purgeWrite      0;',...
    'writeFormat  ascii; // was ascii;', 'writePrecision  8;',...
    'writeCompression off;', 'timeFormat  general;',...
    'timePrecision  6;', 'runTimeModifiable true;');
fclose(fid);
%% Numerical Schemes Properties - fvSchemes
fid = fopen('system/fvSchemes','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;', 'format ascii;',...
    'class dictionary;', 'location "system";', 'object fvSchemes;',',','}');
fprintf(fid,'%s\n','ddtSchemes',{'','default steadyState;',',','}');
fprintf(fid,'%s\n','gradSchemes',{'','default Gauss linear;',',','}');
fprintf(fid,'%s\n','divSchemes',...
    {'','default none;',',...
    'div(phi,U)          bounded Gauss upwind grad(U);',...
    'div(phi,k)          bounded Gauss upwind;//ose bounded Gauss
upwind',...
    'div(phi,epsilon)    bounded Gauss upwind;//ose bounded Gauss
linearUpwind limited',...
    'div(phi,omega)      bounded Gauss upwind;//',...
    '//div(phi,v2)       bounded Gauss linearUpwind limited;//',...
    'div((nuEff*dev2(T(grad(U)))) Gauss linear;',...
    '//div(nonlinearStress) Gauss linear;',',','}');
fprintf(fid,'%s\n','laplacianSchemes',{'',...
    'default Gauss linear corrected;',',','}');
fprintf(fid,'%s\n','interpolationSchemes',{'',...
    'default linear ;',',','}');
fprintf(fid,'%s\n','snGradSchemes',{'',...
    'default      corrected;',',','}');
fprintf(fid,'%s\n','wallDist',{'',...
    'method      meshWave;',',','}');
fclose(fid);
%% Numerical solution parameters - fvSolution
fid = fopen('system/fvSolution','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;', 'format ascii;',...
    'class dictionary;', 'location "system";', 'object fvSolution;',',','}');
%
fprintf(fid,'%s\n','solvers',{'','p',{'',...
    'solver      GAMG;',...
    ['tolerance  ' num2str(toleranceUp) ;'],'',...
    'relTol      0.01; // was 0.1',...
    'smoother     GaussSeidel;',',','}');
% Momentum equation
fprintf(fid,'%s\n','U',{'',...
    'solver      smoothSolver;',...
    ['tolerance  ' num2str(toleranceUp) ;'],'',...
    'relTol      0.1; // was 0.1',...
    'smoother     symGaussSeidel;',',','}');

```

```

fprintf(fid,'%s\n','pFinal',{'','$p;','tolerance 1e-06;','relTol 0;','});
fprintf(fid,'%s\n','"(k|epsilon|omega|f|v2)"', '{',...
    'solver          smoothSolver;',...
    'smoother        symGaussSeidel;',...
    ['tolerance      ' num2str(tolerance),';'],...
    'relTol          0.01;    //was 0.1','}','});
fprintf(fid,'%s\n','SIMPLE',{'',...
    'nNonOrthogonalCorrectors 0;',...
    'pRefCell                  0;',...
    'pRefValue                 0;',...
    'consistent                yes;',...
    'residualControl','{',...
    ['p                    ' num2str(residualControl),';'],...
    ['U                    ' num2str(residualControl),';'],...
    ['"(k|epsilon|omega|f|v2)" ' num2str(residualControl),';'],}','});
fprintf(fid,'%s\n','relaxationFactors',{'','equations',{'',...
    'U          0.7;    //was 0.9',...
    'p          0.3;    //was 0.7',...
    'epsilon    0.7;    //was 0.5',...
    'omega      0.7;    //was 0.5',...
    '".*"'      0.7;    //was 0.7',...
    '}','}');
fclose(fid);

```

spiralCasingShape.m

```

%% Design Method for Volute Shape of Centrifugal Fans - Version
3.0(31.03.2017)
figure; subplot(2,2,1)
set(gcf, 'Position', get(0, 'Screensize'));
x = R2*cos(fi);
y = R2*sin(fi);
plot(x,y,'LineWidth',2,'DisplayName','Volute Inlet Radius (Outlet Impeller
Radius)')
hold on; box on; axis square; grid on; axis equal;
set(gca,'fontsize',12);
R = R2*exp(fiV*tan(alpha)*(1/widthScale));
xV = R.* cos(fiV);
yV = R.* sin(fiV);
plot(xV, yV,'LineWidth',2,'DisplayName','1. Constant circulation method');

% qendra e kurbatures se harkut do te ndodhet ne kete vije
fiVrz=0:dt:pi/2;
Rrz = R2*exp(fiVrz*tan(alpha)*(1/widthScale));
xVrz = Rrz.* cos(fiVrz);
yVrz = Rrz.* sin(fiVrz);
plot(xVrz, yVrz,'LineWidth',2);xCrz =(Rrz+rz).* cos(fiVrz);
yCrz =(Rrz+rz).* sin(fiVrz);XCrz=R(1)*cos(fiV(1))-rz;

for i=1:length(fiVrz)
    if xCrz(i)-XCrz>0
        pika=i;
    end
end
fizN=fiVrz(pika)*180/pi;
harkuKurbatures=90-fizN;
beta=0:-dt:-harkuKurbatures*pi/180-pi/2;
xCrzReal =(Rrz(pika)+rz).* cos(fiVrz(pika));
yCrzReal =(Rrz(pika)+rz).* sin(fiVrz(pika));
plot(xCrzReal, yCrzReal,'*', 'DisplayName','TEST');
xRZ=xCrzReal + rz*cos(beta);yRZ=yCrzReal + rz*sin(beta);
plot(xRZ, yRZ,'LineWidth',2)
% New Spiral Casing (if rz>0)

```

```

if rz>0
    fiVN=fizN*pi/180:dt:2*pi;
elseif rz==0
    fiVN=fiV;
end
RN = R2*exp(fiVN*tan(alpha)*(1/widthScale));
xVN = RN.* cos(fiVN);yVN = RN.* sin(fiVN);
plot(xVN, yVN, 'LineWidth',2, 'DisplayName', '1. New Spiral Casing');
xlabel (['r_2: ', num2str(R2), 'm', ', ...
        'B/b: ', num2str(widthScale), ...
        ', \alpha*: ', num2str(alpha*180/pi), '°', ...
        ', \phi_z: ', num2str(fiV(1)*180/pi), '°', ...
        ' s_z/D_2: ', num2str((RN(1)-R2)/(D2))*100, '%', ...
        ' r_z/D_2: ', num2str((rz/D2)*100), '%', ...
        ' H: ', num2str(R(end)-R(1)*cos(fiV(1))), 'm']]);
ylabel ('y [m]');
title ({'Spiral Casing Shape'; 'Constant circulation method'});
axis square; grid on; axis equal;

```

writeVoluteSTL.m

```

%% Write Volute STL file - Version 4.0 Date (15.05.2017)
subplot(2,2,2);
%% Write Volute Inlet frontAndBack
x = R2.*cos(fi);
y = R2.*sin(fi);
z=ones(1,length(x));
z(1:end) = b(1);
patch(x,y,z, 'blue')
hold on; grid on; axis square;
%
Dl=daten.params(2)*D2;rD=daten.params(7)*D1;

x0=(Dl/2+rD)*cos(fi);y0=(Dl/2+rD)*sin(fi);
zfront=ones(1,length(x));zfront(1:end) = b(end);
Xfront=[x;x0];Yfront=[y;y0];
Zfront=[zfront;zfront];
surf(Xfront,Yfront,Zfront, 'parent', gca);
surf2stl('frontInlet1.stl', Xfront,Yfront,Zfront, 'ascii');
xfront2=Dl/2*cos(fi);yfront2=Dl/2*sin(fi);
zfront2=ones(1,length(x));
zfront2(1:end) = b(end)+rD;
patch(xfront2,yfront2,zfront2, 'red')
theta=0:pi/20:pi/2;
yD=rD*(1-cos(theta));
zD=rD*(1-sin(theta));
for i=1:length(yD)-1
    x0pipe=(Dl/2+yD(i)).*cos(fi);
    y0pipe=(Dl/2+yD(i)).*sin(fi);
    x0pipe2=(Dl/2+yD(i+1)).*cos(fi);
    y0pipe2=(Dl/2+yD(i+1)).*sin(fi);
    z0pipe=(b(end)+zD(i))*ones(size(x0pipe));
    z0pipe2=(b(end)+zD(i+1))*ones(size(x0pipe));
    A=surf([x0pipe;x0pipe2], [y0pipe;y0pipe2], [z0pipe;z0pipe2]);
    surf2stl(['pipe' num2str(i) , '.stl'], [x0pipe;x0pipe2],
    [y0pipe;y0pipe2], [z0pipe;z0pipe2], 'ascii');
    hold on;
end
system('copy
pipe1.stl+pipe2.stl+pipe3.stl+pipe4.stl+pipe5.stl+pipe6.stl+pipe7.stl+pipe8
.stl+pipe9.stl+pipe10.stl frontInlet2.stl');
%
x0pipe=(0.98*Dl/2+yDx(i)).*cos(fi);
rDx=rD*0.5; theta=0:pi/10:pi/2;

```

```

yDx=rDx*(1-sin(theta));
zDx=rDx*(1-cos(theta));
for i=1:length(yDx)-1
    x0pipe=(D1/2+yDx(i)).*cos(fi);
    y0pipe=(D1/2+yDx(i)).*sin(fi);
    x0pipe2=(D1/2+yDx(i+1)).*cos(fi);
    y0pipe2=(D1/2+yDx(i+1)).*sin(fi);
    z0pipe=(B(end)-zDx(i))*ones(size(x0pipe));
    z0pipe2=(B(end)-zDx(i+1))*ones(size(x0pipe));
    A=surf([x0pipe;x0pipe2],[y0pipe;y0pipe2],[z0pipe;z0pipe2]);
    surf2stl(['pipe' num2str(i) 'x.stl'],[x0pipe;x0pipe2],
    [y0pipe;y0pipe2],[z0pipe;z0pipe2],'ascii');
    hold on;
end
Xpipe=[xfront2;xfront2];
Ypipe=[yfront2;yfront2];
Zpipe=[(b(end)+rD)*ones(size(y0));(B(end)-rDx)*ones(size(y0))];
surf(Xpipe,Ypipe,Zpipe,'parent',gca);
surf2stl('pipe0.stl', Xpipe,Ypipe,Zpipe,'ascii');
system('copy
pipe1x.stl+pipe2x.stl+pipe3x.stl+pipe4x.stl+pipe5x.stl+pipe0.stl
pipe.stl');
delete('pipe1x.stl','pipe2x.stl','pipe3x.stl','pipe4x.stl','pipe5x.stl','pi
pe0.stl')
xlabel(['Outlet Volute Surface Area: ' num2str((R(end)-
R(1)*cos(fiV(1)))*(B(end)-B(1))), 'm^2',' Asymmetry:',
num2str(E*100), '%']);
ylabel('y [m]');
zlabel('y [m]');
set(gca,'fontsize',12);
title(['3D Volute Geometry ';['Rotation angle: ',num2str(360-
fiV(1)*180/pi), '°']]);
%% STL FrontAndBack Inlet Volute Surfaces
z(1:end) = b(1);
stlwrite('backInlet.stl',x,y,z,'mode','ascii');
% New Spiral Casing
zV=ones(1,length(fiVN));zV(1:end) = B(1);
patch(xVN,yVN,zV, 'blue');
zV(1:end) = B(end);
patch(xVN,yVN,zV, 'blue');
axis equal;
zV(1:end) = B(1);stlwrite('frontVolute.stl',xVN,yVN,zV,'mode','ascii');
zV(1:end) = B(end);stlwrite('backVolute.stl', xVN,yVN,zV,'mode','ascii');
% Write STL rz
X=[xRZ;xRZ];Y=[yRZ;yRZ];
Z=[B(1)*ones(size(xRZ));B(end)*ones(size(xRZ))];
surf([xRZ;xRZ],[yRZ;yRZ],[B(1)*ones(size(xRZ));B(end)*ones(size(xRZ))],'par
ent',gca);
surf2stl('rz.stl', X,Y,Z,'ascii');
%% Write Inlet Volute Surface
X=[x;x];Y=[y;y];
Z=[b(1)*ones(size(x));b(end)*ones(size(x))];
surf([x;x],[y;y],[b(1)*ones(size(x));b(end)*ones(size(x))],'parent',gca);
surf2stl('inlet.stl', X,Y,Z,'ascii');
%% Write Spiral Casing Volute Surface
Xv=[xVN;xVN];Yv=[yVN;yVN];
Zv=[B(1)*ones(size(xVN));B(end)*ones(size(xVN))];
surf([xVN;xVN],[yVN;yVN],[B(1)*ones(size(xVN));B(end)*ones(size(xVN))],'par
ent',gca);
surf2stl('spiralCasing.stl', Xv,Yv,Zv,'ascii');
%% Write Volute outlet parts

```

```

XXX=[xVN(1) xVN(end); xVN(1) xVN(end)];YYY=[yVN(1) yVN(end); yMax yMax];
ZZZ=[B(1) B(1); B(1) B(1)];surf(XXX,YYY,ZZZ,'parent',gca);
surf2stl('wall1.stl',XXX,YYY,ZZZ, 'ascii');
hold on;
XXX=[xVN(1) xVN(end); xVN(1) xVN(end)];YYY=[yVN(1) yVN(end); yMax yMax];
ZZZ=[B(end) B(end); B(end) B(end)];surf(XXX,YYY,ZZZ,'parent',gca);
surf2stl('wall2.stl',XXX,YYY,ZZZ, 'ascii');
XXX=[xV(end) xV(end); xV(end) xV(end)];YYY=[yV(end) yV(end); yMax yMax];
ZZZ=[B(end) B(1); B(end) B(1)];surf(XXX,YYY,ZZZ,'parent',gca);
surf2stl('wall3.stl',XXX,YYY,ZZZ, 'ascii');
XXX=[xRZ(1) xRZ(1); xRZ(1) xRZ(1)];YYY=[yRZ(1) yRZ(1); yMax yMax];
ZZZ=[B(1) B(end); B(1) B(end)];surf(XXX,YYY,ZZZ,'parent',gca);
surf2stl('wall4.stl',XXX,YYY,ZZZ, 'ascii');
%% Write Volute Outlet Surface
XXX=[xV(1) xV(end); xV(1) xV(end)];YYY=[yMax yMax; yMax yMax];
ZZZ=[B(end) B(end); B(1) B(1)];surf(XXX,YYY,ZZZ);
surf2stl('outlet.stl',XXX,YYY,ZZZ, 'ascii');
%% Combine STL files
%% inlet
fid=fopen('inlet.stl','r');
readData = textscan(fid,'%s','Delimiter','');
textContent = readData{:};
fclose(fid);
textContent{1}=sprintf('solid inlet');
textContent{end}=sprintf('endsolid inlet');
fid=fopen('inlet.stl','w');
for ii=1:length(textContent)
    fprintf(fid,'%s\n',textContent{ii});
end
fclose(fid);
%% outlet
fid=fopen('outlet.stl','r');
readData = textscan(fid,'%s','Delimiter','');
textContent = readData{:};
fclose(fid);
textContent{1}=sprintf('solid outlet');
textContent{end}=sprintf('endsolid outlet');
fid=fopen('outlet.stl','w');
for ii=1:length(textContent)
    fprintf(fid,'%s\n',textContent{ii});
end
fclose(fid);
%% frontAndBackInlet
system('copy frontInlet1.stl+frontInlet2.stl+backInlet.stl
frontAndBackInlet.stl');
fid=fopen('frontAndBackInlet.stl','r');
readData = textscan(fid,'%s','Delimiter','');
textContent = readData{:};
fclose(fid);
textContent{1}=sprintf('solid frontAndBackInlet');
textContent{end-1}=sprintf('endsolid frontAndBackInlet');
row1=~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'NaN NaN NaN'));
for ii=1:length(row1)
    if row1(ii)==1
        textContent{ii}=('facet normal 0.0000000E+00 0.0000000E+00
9.9999994E-01');
    end
end
row2=~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'Created by'));
fid=fopen('frontAndBackInlet.stl','w');
for ii=1:length(row2)

```

```

        if row2(ii)==0
            fprintf(fid,'%s\n',textContent{ii});
        end
    end
fclose(fid);
%% volute
system('copy spiralCasing.stl+rz.stl+wall3.stl+wall4.stl volute.stl');
fid=fopen('volute.stl','r');
readData = textscan(fid,'%s','Delimiter','');
textContent = readData{:};
textContent{1}=sprintf('solid volute');
textContent{end-1}=sprintf('endsolid volute');
row1=~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'NaN NaN NaN'));
for ii=1:length(row1)
    if row1(ii)==1
        textContent{ii}=('facet normal 0.0000000E+00 0.0000000E+00
9.9999994E-01');
    end
end
fclose(fid);
row2=~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'Created by'));
fid=fopen('volute.stl','w');
for ii=1:length(row2)
    if row2(ii)==0
        fprintf(fid,'%s\n',textContent{ii});
    end
end
fclose(fid);
%% frontAndBackVolute
system('copy pipe.stl+backVolute.stl+frontVolute.stl+wall1.stl+wall2.stl
frontAndBackVolute.stl');
fid=fopen('frontAndBackVolute.stl','r');
readData = textscan(fid,'%s','Delimiter','');
textContent = readData{:};
fclose(fid);
textContent{1}=sprintf('solid frontAndBackVolute');
textContent{end-1}=sprintf('endsolid frontAndBackVolute');
row1=~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'NaN NaN NaN'));
for ii=1:length(row1)
    if row1(ii)==1
        textContent{ii}=('facet normal 0.0000000E+00 0.0000000E+00
9.9999994E-01');
    end
end
row2=~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'Created by'));
fid=fopen('frontAndBackVolute.stl','w');
for ii=1:length(row2)
    if row2(ii)==0
        fprintf(fid,'%s\n',textContent{ii});
    end
end
fclose(fid);
%% voluteOrig
system('copy
inlet.stl+frontAndBackInlet.stl+volute.stl+frontAndBackVolute.stl+outlet.st
l voluteOrig.stl');
mkdir('constant/triSurface');
movefile('inlet.stl','constant/triSurface/');
movefile('frontAndBackInlet.stl','constant/triSurface/');
movefile('volute.stl','constant/triSurface/');
movefile('frontAndBackVolute.stl','constant/triSurface/');

```

```

movefile('outlet.stl','constant/triSurface/');
movefile('voluteOrig.stl','constant/triSurface/');
%% delete
delete('pipe.stl','frontInlet1.stl','frontInlet2.stl','backInlet.stl');
delete('backVolute.stl','frontVolute.stl','spiralCasing.stl');
delete('rz.stl','wall1.stl','wall2.stl','wall3.stl','wall4.stl');
delete('pipe1.stl','pipe2.stl','pipe3.stl','pipe4.stl','pipe5.stl');
delete('pipe6.stl','pipe7.stl','pipe8.stl','pipe9.stl','pipe10.stl');
%}

```

cfMesh.m

```

%% Volute Meshing cfMesh - Version 3.0 (31.03.2017)
%% meshQualityDict
fid = fopen('system/meshQualityDict','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;','format ascii;',...
    'class dictionary;','object meshQualityDict;',''});
% Maximum non-orthogonality allowed. Set to 180 to disable.
fprintf(fid,'%s\n','maxNonOrtho 65; //typically 65');
% Max skewness allowed. Set to <0 to disable.
fprintf(fid,'%s\n','maxBoundarySkewness 20; //typically 20');
% Max skewness allowed. Set to <0 to disable.
fprintf(fid,'%s\n','maxInternalSkewness 10; //typically 4');
% Max concaveness allowed. Is angle (in degrees) below which concavity
% is allowed. 0 is straight face, <0 would be convex face.
% Set to 180 to disable.
fprintf(fid,'%s\n','maxConcave 80; //typically 80');
% Ratio of minimum projected area to actual area
fprintf(fid,'%s\n','minFlatness 0.5; //typically 0.5');
fprintf(fid,'%s\n','minTetQuality 1e-30; //was 1e-30');
% Minimum pyramid volume. Is absolute volume of cell pyramid.
% Set to a sensible fraction of the smallest cell volume expected.
% Set to very negative number (e.g. -1E30) to disable.
fprintf(fid,'%s\n','minVol 1e-13; //typically 1e-13');
% - Minimum face area. Set to <0 to disable.
fprintf(fid,'%s\n','minArea -1; //typically -1');
% Minimum face twist. Set to <-1 to disable. dot product of face normal
% and face centre triangles normal
fprintf(fid,'%s\n','minTwist 0.05; //typically 0.05');
% - Minimum normalised cell determinant
% 1 = hex, <= 0 = folded or flattened illegal cell
fprintf(fid,'%s\n','minDeterminant 0.001; //typically 0.001');
% - minFaceWeight (0 -> 0.5)
fprintf(fid,'%s\n','minFaceWeight 0.05; //was 0.02');
% - minVolRatio (0 -> 1)
fprintf(fid,'%s\n','minVolRatio 0.01; //was 0.01');
% //must be >0 for Fluent compatibility
fprintf(fid,'%s\n','minTriangleTwist -1; //was -1');
% - Number of error distribution iterations
fprintf(fid,'%s\n','nSmoothScale 4; //typically 4');
% - Amount to scale back displacement at error points
fprintf(fid,'%s\n','errorReduction 0.75; //typically 0.75');
fclose(fid);
copyfile('constant/triSurface/voluteOrig.stl','voluteOrigTriangulate.stl');
%% MeshDict file
fid = fopen('system/meshDict','wt');
fprintf(fid,'%s\n','FoamFile',{'','version 2.0;','...
    'format ascii;','class dictionary;','location "system";','object
meshDict;',''});
fprintf(fid,'%s\n','surfaceFile "voluteOrigTriangulate.stl;');
% represent the default cell size used for the meshing job. It is the
% maximum cell size generated in the domain.
fprintf(fid,'%s\n','maxCellSize 0.007; //was 0.008');

```

```

fprintf(fid,'%s\n','boundaryCellSize    0.006;    //was 0.007');
fprintf(fid,'%s\n','minCellSize        0.005;    //was 0.006 ');
fprintf(fid,'%s\n','localRefinement','{',...
    'inlet          {    cellSize    0.02;    } ',...
    'volute         {    cellSize    0.02;    } ',...
    'frontAndBackInlet {    cellSize    0.02;    } ',...
    'frontAndBackVolute {    cellSize    0.02;    } ',...
    'outlet          {    cellSize    0.02;    } ','}');

%%
fprintf(fid,'%s\n','', 'renameBoundary','{', '    newPatchNames','{',...
    'inlet          { newName    inlet;    type    patch; }',...
    'volute         { newName    volute;    type    wall; }',...
    'frontAndBackInlet { newName    frontAndBackInlet;    type    wall;
}',...
    'frontAndBackVolute { newName    frontAndBackVolute;    type    wall;
}',...
    'outlet          { newName    outlet;    type    patch;
}', '}', '}', '});
%% boundaryLayers yPlus value 30<y+<300
fprintf(fid,'%s\n','', 'boundaryLayers','{', 'patchBoundaryLayers','{',...
    'volute','{',...
    'nLayers          0;          //was 1',...
    'thicknessRatio    1.0;        //was 1.0 ',...
    'maxFirstLayerThickness 0.18;    //was 0.18',...
    'allowDiscontinuity 0;    ', '}', '}',...
    '}',...
    'frontAndBackInlet','{',...
    'nLayers          0;          //was 1',...
    'thicknessRatio    1.0;        //was 1.0 ',...
    'maxFirstLayerThickness 0.15;    //was 0.15',...
    'allowDiscontinuity 0;    ', '}', '}',...
    '}',...
    'frontAndBackVolute','{',...
    'nLayers          0;          //was 1',...
    'thicknessRatio    1.0;        //was 1.0 ',...
    'maxFirstLayerThickness 0.12;    //was 0.12',...
    'allowDiscontinuity 0;    ', '}', '}', '}', '});

%% cartesianMesh
system('c:\OpenFOAM\16.10\cygwin64\opt\OpenFOAM\OpenFOAM-
3.0.x\platforms\cygwin64mingw-w64DPInt32Opt\bin\cartesianMesh.exe');
%% checkMesh
% system('c:\OpenFOAM\18.02\cygwin64\opt\OpenFOAM\OpenFOAM-
dev\platforms\cygwin64mingw-w64DPInt32Opt\bin\checkMesh -
meshQuality>postProcessing/checkMesh/checkMesh');
%% yPlus
system('c:\OpenFOAM\16.10\cygwin64\opt\OpenFOAM\OpenFOAM-
3.0.x\platforms\cygwin64mingw-w64DPInt32Opt\bin\yPlus.exe
>postProcessing/yPlus/yPlus');
%% paraView
system('c:\OpenFOAM\16.10\cygwin64\bin\touch.exe shapeII.foam');
    %% Triangulate Mesh
system('c:\OpenFOAM\18.02\cygwin64\opt\OpenFOAM\OpenFOAM-
dev\platforms\cygwin64mingw-w64DPInt32Opt\bin\surfaceMeshTriangulate.exe
voluteOrigTriangulate.stl ');
simpleFoam.m
system('c:\OpenFOAM\16.10\cygwin64\opt\OpenFOAM\OpenFOAM-
3.0.x\platforms\cygwin64mingw-w64DPInt32Opt\bin\simpleFoam >log');

```

postProcessing.m

```

%% postProcessing OpenFOAM Version 2.2.5 Date 20.04.2017
%% Residuals
%% Ux
subplot(2,2,3)
fid=fopen('log','r');
readData = textscan(fid,'%s','Delimiter','');
fclose(fid);
textContent = readData{:};
row_ux = ~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'smoothSolver: Solving for
Ux, Initial residual = '));
Res_ux = [];
for ii=1:length(row_ux)
    if row_ux(ii)==1
        val = textscan(textContent{ii},'%s%f%s%f%s','Delimiter','=');
        Res_ux =ones*[Res_ux;val{2}];
    end
end
plot(Res_ux, 'LineWidth',1.5,'DisplayName','Ux');
%
hold on;    grid on;    box on;
%% Uy
fid=fopen('log','r');
readData = textscan(fid,'%s','Delimiter','');
fclose(fid);
textContent = readData{:};
row_uy = ~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'smoothSolver: Solving for
Uy, Initial residual = '));
Res_uy = [];
for ii=1:length(row_uy)
    if row_uy(ii)==1
        val = textscan(textContent{ii},'%s%f%s%f%s','Delimiter','=');
        Res_uy =ones*[Res_uy;val{2}];
    end
end
plot(Res_uy, 'LineWidth',1.5,'DisplayName','Uy');
%% Uz
fid=fopen('log','r');
readData = textscan(fid,'%s','Delimiter','');
fclose(fid);
textContent = readData{:};
row_uz = ~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'smoothSolver: Solving for
Uz, Initial residual = '));
Res_uz = [];
for ii=1:length(row_uz)
    if row_uz(ii)==1
        val = textscan(textContent{ii},'%s%f%s%f%s','Delimiter','=');
        Res_uz =ones*[Res_uz;val{2}];
    end
end
plot(Res_uz, 'LineWidth',1.5,'DisplayName','Uz');
%% p
fid=fopen('log','r');
readData = textscan(fid,'%s','Delimiter','');
fclose(fid);
textContent = readData{:};
row_p = ~cellfun(@isempty, strfind(textContent,'GAMG: Solving for p,
Initial residual = '));
Res_p = [];
for ii=1:length(row_p)
    if row_p(ii)==1

```

```

        val = textscan(textContent{ii}, '%s%f%s%f%s', 'Delimiter', '=');
        Res_p = ones*[Res_p;val{2}];
    end
end
plot(Res_p, 'LineWidth',1.5,'DisplayName','p');
%% k
fid=fopen('log','r');
readData = textscan(fid, '%s', 'Delimiter', '');
fclose(fid);
textContent = readData{:};
row_k = ~cellfun(@isempty, strfind(textContent, 'smoothSolver: Solving for
k, Initial residual = '));
Res_k = [];
for ii=1:length(row_k)
    if row_k(ii)==1
        val = textscan(textContent{ii}, '%s%f%s%f%s', 'Delimiter', '=');
        Res_k = ones*[Res_k;val{2}];
    end
end
plot(Res_k, 'LineWidth',1.5,'DisplayName','k');
%% epsilon/Omega
fid=fopen('log','r');
readData = textscan(fid, '%s', 'Delimiter', '');
fclose(fid);
textContent = readData{:};
row_epsilon = ~cellfun(@isempty, strfind(textContent, 'smoothSolver:
Solving for epsilon, Initial residual = '));
Res_epsilon = [];
row_omega = ~cellfun(@isempty, strfind(textContent, 'smoothSolver: Solving
for omega, Initial residual = '));
Res_omega = [];

for ii=1:length(row_epsilon)
    if row_epsilon(ii)==1
        valEpsilon =
textscan(textContent{ii}, '%s%f%s%f%s', 'Delimiter', '=');
        Res_epsilon = ones*[Res_epsilon;valEpsilon{2}];
    end
end
plot(Res_epsilon, 'LineWidth',1.5,'DisplayName','epsilon');

for ii=1:length(row_omega)
    if row_omega(ii)==1
        valOmega = textscan(textContent{ii}, '%s%f%s%f%s', 'Delimiter', '=');
        Res_omega = ones*[Res_omega;valOmega{2}];
    end
end
plot(Res_omega, 'LineWidth',1.5,'DisplayName','omega');

if sum(row_epsilon)>0
title({'Residuals. Turbulence Model:':[k=', num2str(k), 'm^2/s^2', ',
Epsilon=', num2str(epsilon), 'm^2/s^3']});
else
    title({'Residuals. Turbulence Model:':[k=', num2str(k), 'm^2/s^2', ',
Omega=', num2str(omega), 's^-1']});
end
%% ExecutionTime
fid=fopen('log','r');
readData = textscan(fid, '%s', 'Delimiter', '');
fclose(fid);

```

```

textContent = readData{:};
row_Data = ~cellfun(@isempty, strfind(textContent, 'ExecutionTime = '));
for ii=1:length(row_Data)
    if row_Data(ii)==1
        Time = textscan(textContent{ii}, '%s', 'Delimiter', ' ');
    end
end
ExecutionTime=Time{1,1}{8,1};

xlabel(['Time [No. Iterations]', ' CPUTime: ', num2str(ExecutionTime)
, 'sec']);
ylabel('Residual Control Value');
set(gca, 'yscale', 'log');
set(gca, 'fontsize', 12);
legend('show')

%% +Read latestTime Converged, solved. +ExecutionTime
fid=fopen('log', 'r');
readData = textscan(fid, '%s', 'Delimiter', '');
fclose(fid);
textContent = readData{:};
row_converged = ~cellfun(@isempty, strfind(textContent, 'SIMPLE solution
converged in '));
res_converged = [];
for ii=1:length(row_converged)
    if row_converged(ii)==1
        val = textscan(textContent{ii}, '%s', 'Delimiter', ' ');
        Converged=[res_converged; val{1,1}{5,1}];
    elseif sum(row_converged)==0
        Converged=endTime;
    end
end
end
%% sampleDict Inlet+Outlet (U p foamFile)
fid = fopen('system/sampleDict', 'wt');
fprintf(fid, '%s\n', 'FoamFile', '{', 'version 2.0;', 'format ascii;', ...
    'class dictionary;', 'location "system";', 'object sampleDict;', '}');
fprintf(fid, '%s\n', 'interpolationScheme cellPoint;', ...
    'type sets;', ...
    'fields ( U p );', ...
    'surfaceFormat foamFile; //vtk;', ...
    'surfaces', '(', ...
    'inlet', '{', 'type patch;', 'patches (inlet);', '}', ...
    'volute', '{', 'type patch;', 'patches (volute);', '}', ...
    'outlet', '{', 'type patch;', 'patches (outlet);', '}', '}', ');');
fclose(fid);
system(['c:\OpenFOAM\16.10\cygwin64\opt\OpenFOAM\OpenFOAM-
3.0.x\platforms\cygwin64mingw-w64DPInt32Opt\bin\sample -time ',
num2str(Converged)]);
%% checkMesh
system('c:\OpenFOAM\16.10\cygwin64\opt\OpenFOAM\OpenFOAM-
3.0.x\platforms\cygwin64mingw-w64DPInt32Opt\bin\checkMesh -
meshQuality>postProcessing/checkMesh/checkMesh');
%% yPlus
system('c:\OpenFOAM\16.10\cygwin64\opt\OpenFOAM\OpenFOAM-
3.0.x\platforms\cygwin64mingw-w64DPInt32Opt\bin\yPlus');
%% sampleDict yPlus Value (foamFile)
fid = fopen('system/sampleDict', 'wt');
fprintf(fid, '%s\n', 'FoamFile', '{', 'version 2.0;', 'format ascii;', ...
    'class dictionary;', 'location "system";', 'object sampleDict;', '}');
fprintf(fid, '%s\n', 'interpolationScheme cellPoint;', ...
    'fields ( yPlus );', ...

```

```

        'surfaceFormat          foamFile; //vtk;',...
        'surfaces','(',...
        'yPlusVolute','{','type patch;','patches (volute frontAndBackInlet
frontAndBackVolute);','}','(',')');
fclose(fid);
system(['c:\OpenFOAM\16.10\cygwin64\opt\OpenFOAM\OpenFOAM-
3.0.x\platforms\cygwin64mingw-w64DPInt32Opt\bin\sample -time ',
num2str(Converged)]);
% Average Min Max yPlus Value Volute
fidyPlus=fullfile('postProcessing\surfaces\',num2str(Converged),'\yPlusVolu
te\scalarField\yPlus');
fid=fopen(fidyPlus,'r');
readData = textscan(fid,'%f','HeaderLines',3,'Delimiter','');
yPlus = readData{:, 1};
yPlusMin=min(yPlus);
yPlusAverage=mean(yPlus);
yPlusMax=max(yPlus);
yPlusBelow=sum(yPlus<30);
yplusBelowPerc=yPlusBelow/length(yPlus)*100;
fclose(fid);
%% Average Dinamic Pressure outlet
fOU=fullfile('postProcessing\surfaces\',num2str(Converged),'\outlet\vectorF
ield\U');
fid=fopen(fOU,'r');
readData = textscan(fid,'%f %f %f','HeaderLines',3,'Delimiter','');
Ux = readData{:, 1};
Uy = readData{:, 2};
Uz = readData{:, 3};
rho=1.2; %1.223;
% PstOutlet=84438;
PstOutlet=0;
PdinOutlet=((1/2)*rho*(Ux.^2+Uy.^2+Uz.^2));
AvgPdinOutlet=mean(PdinOutlet);
PtotOutlet=PstOutlet+AvgPdinOutlet;
fclose(fid);
%% Average Pressure Inlet
fIU=fullfile('postProcessing\surfaces\',num2str(Converged),'\inlet\vectorFi
eld\U');
fid=fopen(fIU,'r');
readData = textscan(fid,'%f %f %f','HeaderLines',3,'Delimiter','');
Ux = readData{:, 1};
Uy = readData{:, 2};
Uz = readData{:, 3};
PdinInlet=((1/2)*rho*(Ux.^2+Uy.^2+Uz.^2));
AvgPdinInlet=mean(PdinInlet);
fclose(fid);
%% Average Static Pressure Inlet
fIp=fullfile('postProcessing\surfaces\',num2str(Converged),'\inlet\scalarFi
eld\p');
fid=fopen(fIp,'r');
readData = textscan(fid,'%f','HeaderLines',3,'Delimiter','');
p = readData{:, 1};
AvgPstInlet=rho*mean(p);
PtotInlet=AvgPstInlet+AvgPdinInlet;
fclose(fid);
%% Efficiency
r=PtotOutlet/PtotInlet;
%% Pressure recovery
staticPresureRecovery=(PstOutlet-AvgPstInlet)/(PtotInlet-AvgPstInlet);
LossCoefficient=(PtotInlet-PtotOutlet)/(PtotInlet-AvgPstInlet);
subplot(2,2,4)

```

```

bar([r staticPresureRecovery LossCoefficient]); hold on;
bar(r, 'red');
text(0.75,0, num2str(r), 'FontSize',20);
text(1.7,0, num2str(staticPresureRecovery), 'FontSize',20);
text(2.75,0, num2str(LossCoefficient), 'FontSize',20);
set(gca, 'fontsize',12);
title({'Total Efficiency (Red)'; 'Pressure Recovery Coefficient (Blue)'; 'LossCoefficient (Blue)'}, 'FontSize',12);
ylabel(['Efficiency ', num2str(r*100), '%'], 'FontSize',12);
xlabel(['yPlus Min:', num2str(yPlusMin), ...
        ', Avg:', num2str(yPlusAverage), ...
        ', Max:', num2str(yPlusMax), ...
        ', y+<30:', num2str(yplusBelowPerc), '%']);
saveas(gca, fullfile(['postProcessing\matlabResult\'', num2str(RASModel), 'R',
num2str(100*r), 'Cp' num2str(staticPresureRecovery), 'Kp'
num2str(LossCoefficient) '.fig']));

%% Database Text
fid = fopen('postProcessing/simulationDatabase', 'a+');
fprintf(fid, '%s\n', ...
    datetime, '{', ['TubulenceModel:', num2str(RASModel), ', ', ...
    'r_2:', num2str(R2), 'm', ', ...
    'B/b:', num2str(widthScale), ', ', ...
    'phi_z:' num2str(fiV(1)*180/pi), 'deg', ', ...
    'alpha:', num2str(alpha*180/pi), 'deg', ', ...
    's_z/D_2:' num2str(((RN(1)-R2)/(D2))*100), '%', ', ...
    'r_z/D_2:' num2str((rz/D2)*100), '%', ', ...
    'H:' num2str(R(end)-R(1)*cos(fiV(1))), 'm', ', ...
    'yMax:' num2str(yMax), 'm', ', ...
    'Asymmetry:' num2str(100*E), '%'], ...
    ['Q:' num2str(Q), ' m3/s', ', 'phi:' num2str(phi), ' m3/s', ', ...
    ' cr2:' num2str(mean(cr2)), ' m/s', ', ...
    ' cu2:' num2str(tangetialVelocity), ' m/s'], ...
    ['AvgPdinOutlet:' num2str(AvgPdinOutlet), ' Pa', ', ...
    ' AvgPstInlet:' num2str(AvgPstInlet), ' Pa', ', ...
    'AvgPdinInlet:' num2str(AvgPdinInlet), ' Pa'], ...
    ['yPlus Min:', num2str(yPlusMin), ', Avg:', num2str(yPlusAverage), ...
    ', Max:', num2str(yPlusMax), ', y+<30:',
num2str(yplusBelowPerc), '%'], ...
    ['StepConverged:' num2str(Converged)], ...
    ['Efficiency:' num2str(r)], ...
    ['PressureRecoveryCoefficient:' num2str(staticPresureRecovery)], ...
    ['LossCoefficient:' num2str(LossCoefficient)], '}');
fclose(fid);
if Converged<endTime
movefile(num2str(Converged), 'postProcessing/ConvergedSimulation', 'f');
else
    rmdir(num2str(Converged), 's');
end
close all;

```

Matlab GUI. Projektimi i karkasës spirale V1.7

```

classdef voluteDesignAlb < matlab.apps.AppBase
    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        MatlabGUIprprojektiminekarkassspiraleenepmjetCFDV14UIFigure
    matlab.ui.Figure
        TabGroup                                matlab.ui.container.TabGroup
        ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab
    matlab.ui.container.Tab
        UIAxes                                matlab.ui.control.UIAxes
        yMax                                  matlab.ui.control.NumericEditField
        AlphaGradLabel                       matlab.ui.control.Label
        r2mLabel                             matlab.ui.control.Label
        Bb2Label                             matlab.ui.control.Label
        fiZGradLabel                         matlab.ui.control.Label
        rzD2Label                            matlab.ui.control.Label
        mLabel_2                             matlab.ui.control.Label
        GjatsiaekarkassLabel                 matlab.ui.control.Label
        phiLabel                             matlab.ui.control.Label
        ParametratekarkassspiraleLabel       matlab.ui.control.Label
        KndiispiralesLabel                   matlab.ui.control.Label
        alpha                                matlab.ui.control.NumericEditField
        r2                                    matlab.ui.control.NumericEditField
        RrezjaerotoritLabel                  matlab.ui.control.Label
        ShkallaegjrsisLabel                  matlab.ui.control.Label
        widthScale                           matlab.ui.control.NumericEditField
        rz                                    matlab.ui.control.NumericEditField
        RrezjaegjuhsLabel                    matlab.ui.control.Label
        KndiigjuhsLabel                      matlab.ui.control.Label
        fiZ                                   matlab.ui.control.NumericEditField
        KoeficientiiprurjesLabel              matlab.ui.control.Label
        phi                                   matlab.ui.control.NumericEditField
        FormaekarkassspiraleButton            matlab.ui.control.Button
        Gjeometria3DeventilatoritButton       matlab.ui.control.Button
        RUNCFDOpenFOAMButton                  matlab.ui.control.Button
        SkemaMATLABOpenFOAMButton              matlab.ui.control.Button
        MbylljaRifillimiisimulimitteriButton matlab.ui.control.Button
        ParametratekarkassspiraleButton       matlab.ui.control.Button
        PrpunimiirezultateveparaViewButton    matlab.ui.control.Button
        MScArditGJETALabel                    matlab.ui.control.Label
        MScArditGJETALabel_2                  matlab.ui.control.Label
        Rezultatetesimulimitab                matlab.ui.container.Tab
    end
    methods (Access = private)
        % Code that executes after component creation
        function spiralCasingParameters(app)
            myImage=('c:\matlabGUI\postProcessing\SpiralCasingFullAlb.png');
            imshow(myImage, 'Parent', app.UIAxes);
            %
            myImage=('c:\matlabGUI\postProcessing\Matlab
OpenFOAM3.bmp');
            %
            imshow(myImage, 'Parent', app.UIAxes_2);
        end
        % Button pushed function: RUNCFDOpenFOAMButton

```

```

function RUNCFDOpenFOAMButtonPushed(app, event)
    %           % evalin('base','RunOpenFoam.m')
    cd 'c:\matlabGUI\'

    fid = fopen('RunOpenFoam.m','wt');
    fprintf(fid,'%s\n','%% MATLAB GUI - OPENFOAM - VOLUTE SPIRAL
CASING CFD DESIGN - Version 7.0 (25.09.2019)');
    fprintf(fid,'%s\n','clear;','clc;');
    fprintf(fid,'%s\n','dt=pi/3000;','fi= 0:dt:2*pi;');
    fprintf(fid,'%s\n',['R2=0.15;','D2=2*R2;           %           Impeller
radius/diameter (m)']);
    fprintf(fid,'%s\n',['fanType=',num2str(app.phi.Value),';;']);
    fprintf(fid,'%s\n','%% VARIABLE PARAMETERS');

    fprintf(fid,'%s\n',['alpha=',num2str(app.alpha.Value), '*pi/180;','%           Alpha
Spiral Angle (rad)']);

    fprintf(fid,'%s\n',['widthScale=',num2str(app.widthScale.Value),';;']);

    fprintf(fid,'%s\n',['fiV=',num2str(app.fiZ.Value), '*pi/180:dt:2*pi;','%
Rotation angle Spiral Casing Volute (rad)']);
    fprintf(fid,'%s\n',['rz=',num2str(app.rz.Value), '/100*D2;           ','%
Radius of tongue / D2 (%)']);
    fprintf(fid,'%s\n',['yMax=',num2str(app.yMax.Value),';;','%           Max
height of volute (m)']);
    fclose(fid);
    run('c:\matlabGUI\RunOpenFoam.m')
    run('c:\matlabGUI\preProcessing.m')
    run('c:\matlabGUI\spiralCasingShape.m')
    run('c:\matlabGUI\writeVoluteSTL.m')
    run('c:\matlabGUI\cfMesh.m')
    run('c:\matlabGUI\VoluteInflow.m')
    run('c:\matlabGUI\simpleFoam.m')
    run('c:\matlabGUI\postProcessing.m')
end
% Callback function
function MATLABButtonPushed(app, event)
    winopen('c:\matlabGUI\postProcessing\MatlabOpenFOAMAlb.jpg')
end
% Button pushed function: FormaekarkassspiraleButton
function FormaekarkassspiraleButtonPushed(app, event)
    cd 'c:\matlabGUI\'
    fid = fopen('RunOpenFoam.m','wt');
    fprintf(fid,'%s\n','%% MATLAB GUI - OPENFOAM - VOLUTE SPIRAL
CASING CFD DESIGN - Version 7.0 (25.09.2019)');
    fprintf(fid,'%s\n','clear;','clc;');
    fprintf(fid,'%s\n','dt=pi/3000;','fi= 0:dt:2*pi;');
    fprintf(fid,'%s\n',['R2=0.15;','D2=2*R2;           %           Impeller
radius/diameter (m)']);
    fprintf(fid,'%s\n',['fanType=',num2str(app.phi.Value),';;']);
    fprintf(fid,'%s\n','%% VARIABLE PARAMETERS');
    fprintf(fid,'%s\n',['alpha=',num2str(app.alpha.Value), '*pi/180;','%           Alpha
Spiral Angle (rad)']);

```

```

fprintf(fid, '%s\n', ['widthScale=', num2str(app.widthScale.Value), ';']);
fprintf(fid, '%s\n', ['fiV=', num2str(app.fiZ.Value), '*pi/180:dt:2*pi;', '%
Rotation angle Spiral Casing Volute (rad)']);
    fprintf(fid, '%s\n', ['rz=', num2str(app.rz.Value), '/100*D2;      ', '%
Radius of tongue / D2 (%)']);
    fprintf(fid, '%s\n', ['yMax=', num2str(app.yMax.Value), ';', '%      Max
height of volute (m)']);
    fclose(fid);
    run('c:\matlabGUI\RunOpenFoam.m')
    run('c:\matlabGUI\preProcessing.m')
    run('c:\matlabGUI\spiralCasingShapeFullScreen.m')
end
% Button pushed function: Gjeometria3DeventilatoritButton
function Gjeometria3DeventilatoritButtonPushed(app, event)
    cd 'c:\matlabGUI\'
    fid = fopen('RunOpenFoam.m', 'wt');
    fprintf(fid, '%s\n', '% MATLAB GUI - OPENFOAM - VOLUTE SPIRAL
CASING CFD DESIGN - Version 7.0 (25.09.2019)');
    fprintf(fid, '%s\n', 'clear;', 'clc;');
    fprintf(fid, '%s\n', 'dt=pi/3000;', 'fi= 0:dt:2*pi;');
    fprintf(fid, '%s\n', ['R2=0.15;', 'D2=2*R2;      %      Impeller
radius/diameter (m)']);
    fprintf(fid, '%s\n', ['fanType=', num2str(app.phi.Value), ';']);
    fprintf(fid, '%s\n', '% VARIABLE PARAMETERS');
    fprintf(fid, '%s\n', ['alpha=', num2str(app.alpha.Value), '*pi/180;', '%      Alpha
Spiral Angle (rad)']);
    fprintf(fid, '%s\n', ['widthScale=', num2str(app.widthScale.Value), ';']);
    fprintf(fid, '%s\n', ['fiV=', num2str(app.fiZ.Value), '*pi/180:dt:2*pi;', '%
Rotation angle Spiral Casing Volute (rad)']);
    fprintf(fid, '%s\n', ['rz=', num2str(app.rz.Value), '/100*D2;      ', '%
Radius of tongue / D2 (%)']);
    fprintf(fid, '%s\n', ['yMax=', num2str(app.yMax.Value), ';', '%      Max
height of volute (m)']);
    fclose(fid);
    run('c:\matlabGUI\RunOpenFoam.m')
    run('c:\matlabGUI\preProcessing.m')
    run('c:\matlabGUI\spiralCasingShapeNoPrint.m')
    run('c:\matlabGUI\writeVoluteSTLFullScreen.m')
end
% Button pushed function: MbylljaRifillimiisimulimitteriButton
function MbylljaRifillimiisimulimitteriButtonPushed(app, event)
    close all;
    clear;

end
% Callback function
function MeshingCFDSolvingButtonPushed(app, event)
    cd 'c:\matlabGUI\'

    fid = fopen('RunOpenFoam.m', 'wt');
    fprintf(fid, '%s\n', '% MATLAB GUI - OPENFOAM - VOLUTE SPIRAL
CASING CFD DESIGN - Version 7.0 (25.09.2019)');
    fprintf(fid, '%s\n', 'clear;', 'clc;');

```

```

        fprintf(fid,'%s\n','dt=pi/3000;','fi= 0:dt:2*pi;');
        fprintf(fid,'%s\n',['R2=0.15;','D2=2*R2;           %           Impeller
radius/diameter (m)']);
        fprintf(fid,'%s\n',['fanType=',num2str(app.phi.Value),';']);
        fprintf(fid,'%s\n','% VARIABLE PARAMETERS');

    fprintf(fid,'%s\n',['alpha=',num2str(app.alpha.Value),'*pi/180;','%           Alpha
Spiral Angle (rad)']);
    fprintf(fid,'%s\n',['widthScale=',num2str(app.widthScale.Value),';']);
    fprintf(fid,'%s\n',['fiV=',num2str(app.fiZ.Value),'*pi/180:dt:2*pi;','%
Rotation angle Spiral Casing Volute (rad)']);
        fprintf(fid,'%s\n',['rz=',num2str(app.rz.Value),'/100*D2;           ','%
Radius of tongue / D2 (%)']);
        fprintf(fid,'%s\n',['yMax=',num2str(app.yMax.Value),';','%           Max
height of volute (m)']);
        fclose(fid);
        run('c:\matlabGUI\RunOpenFoam.m')
        run('c:\matlabGUI\preProcessing.m')
        run('c:\matlabGUI\spiralCasingShapeNoPrint.m')
        run('c:\matlabGUI\writeVoluteSTLNoPrint.m')
        run('c:\matlabGUI\cfMesh.m')
        run('c:\matlabGUI\VoluteInflow.m')
        run('c:\matlabGUI\simpleFoam.m')
    end
    % Callback function
    function ResidualControlCFDResultsButtonPushed(app, event)
        cd 'c:\matlabGUI\'
        fid = fopen('RunOpenFoam.m','wt');
        fprintf(fid,'%s\n','% MATLAB GUI - OPENFOAM - VOLUTE SPIRAL
CASING CFD DESIGN - Version 7.0 (25.09.2019)');
        fprintf(fid,'%s\n','clear;','clc;');
        fprintf(fid,'%s\n','dt=pi/3000;','fi= 0:dt:2*pi;');
        fprintf(fid,'%s\n',['R2=0.15;','D2=2*R2;           %           Impeller
radius/diameter (m)']);
        fprintf(fid,'%s\n',['fanType=',num2str(app.phi.Value),';']);
        fprintf(fid,'%s\n','% VARIABLE PARAMETERS');
    fprintf(fid,'%s\n',['alpha=',num2str(app.alpha.Value),'*pi/180;','%           Alpha
Spiral Angle (rad)']);
    fprintf(fid,'%s\n',['widthScale=',num2str(app.widthScale.Value),';']);
    fprintf(fid,'%s\n',['fiV=',num2str(app.fiZ.Value),'*pi/180:dt:2*pi;','%
Rotation angle Spiral Casing Volute (rad)']);
        fprintf(fid,'%s\n',['rz=',num2str(app.rz.Value),'/100*D2;           ','%
Radius of tongue / D2 (%)']);
        fprintf(fid,'%s\n',['yMax=',num2str(app.yMax.Value),';','%           Max
height of volute (m)']);
        fclose(fid);
        run('c:\matlabGUI\RunOpenFoam.m')
        run('c:\matlabGUI\preProcessing.m')
        run('c:\matlabGUI\spiralCasingShapeNoPrint.m')
        run('c:\matlabGUI\writeVoluteSTLNoPrint.m')
        run('c:\matlabGUI\cfMesh.m')
        run('c:\matlabGUI\VoluteInflow.m')
        run('c:\matlabGUI\simpleFoam.m')

```

```

        run('c:\matlabGUI\postProcessing.m')
    end
    % Button pushed function: ParametratedKarkassSpiraleButton
    function ParametratedKarkassSpiraleButtonPushed(app, event)
        winopen('c:\matlabGUI\postProcessing\SpiralCasing.png')
        %
    end
    % Button pushed function: PrpunimiIRezultateveParaViewButton
    function PrpunimiIRezultateveParaViewButtonPushed(app, event)
        system('c:\OpenFOAM\16.10\ParaView-5.0\bin\paraView.exe');
    end
end
% App initialization and construction
methods (Access = private)
    % Create UIFigure and components
    function createComponents(app)
        %
        MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure
        pp.MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure = uifigure;
        app.MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure.Color =
        [0.9373 0.9373 0.9373];
        app.MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure.Position =
        [100 100 1158 584];
        app.MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure.Name =
        'Matlab GUI për projektimin e karkasës spirale nepërmjet CFD V 1.4';
        app.MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure.Resize =
        'off';
        setAutoResize(app,
        app.MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure, false)
        % Create TabGroup
        app.TabGroup =
        uitabgroup(app.MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure);
        app.TabGroup.Position = [1 -12 1154 597];
        %
        ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab
        app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab =
        uitab(app.TabGroup);

        app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab.Title =
        'Projektimi i karkasës spirale nëpermjet simulimeve numerike CFD';
        app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab.Units =
        'pixels';
        % Create UIAxes
        app.UIAxes =
        uiaxes(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.UIAxes.Box = 'on';
        app.UIAxes.XTickLabel = '';
        app.UIAxes.XTickLabelMode = 'manual';
        app.UIAxes.YTick = [];
        app.UIAxes.YTickMode = 'manual';
        app.UIAxes.YTickLabel = '';
        app.UIAxes.YTickLabelMode = 'manual';
        app.UIAxes.Position = [387 112 800 454];
    end
end

```

```

        % Create yMax
        app.yMax
        uieditfield(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
        'numeric');
        app.yMax.Limits = [0.25 0.3];
        app.yMax.HorizontalAlignment = 'center';
        app.yMax.FontSize = 18;
        app.yMax.FontWeight = 'bold';
        app.yMax.Position = [178 265 72 23];
        app.yMax.Value = 0.25;
        % Create AlphaGradLabel
        app.AlphaGradLabel
        uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.AlphaGradLabel.FontSize = 18;
        app.AlphaGradLabel.FontWeight = 'bold';
        app.AlphaGradLabel.Position = [256 437 125 23];
        app.AlphaGradLabel.Text = 'Alpha [Gradë]';
        % Create r2mLabel
        app.r2mLabel
        uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.r2mLabel.FontSize = 18;
        app.r2mLabel.FontWeight = 'bold';
        app.r2mLabel.Position = [256 480 56 23];
        app.r2mLabel.Text = 'r2 [m]';
        % Create Bb2Label
        app.Bb2Label
        uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.Bb2Label.FontSize = 18;
        app.Bb2Label.FontWeight = 'bold';
        app.Bb2Label.Position = [256 394 67 23];
        app.Bb2Label.Text = 'B/b2 [-]';
        % Create fiZGradLabel
        app.fiZGradLabel
        uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.fiZGradLabel.FontSize = 18;
        app.fiZGradLabel.FontWeight = 'bold';
        app.fiZGradLabel.Position = [256 351 97 23];
        app.fiZGradLabel.Text = 'fiZ [Gradë]';
        % Create rzD2Label
        app.rzD2Label
        uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.rzD2Label.FontSize = 18;
        app.rzD2Label.FontWeight = 'bold';
        app.rzD2Label.Position = [256 308 83 23];
        app.rzD2Label.Text = 'rz/D2 [%]';
        % Create mLabel_2
        app.mLabel_2
        uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.mLabel_2.FontSize = 18;
        app.mLabel_2.FontWeight = 'bold';
        app.mLabel_2.Position = [256 265 33 23];
        app.mLabel_2.Text = '[m]';
        % Create GjatsiaekarkassLabel

```

```

        app.GjatsiaekarkassLabel                                     =
    uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.GjatsiaekarkassLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.GjatsiaekarkassLabel.FontSize = 18;
        app.GjatsiaekarkassLabel.FontWeight = 'bold';
        app.GjatsiaekarkassLabel.Position = [0 265 173 23];
        app.GjatsiaekarkassLabel.Text = 'Gjatësia e karkasës';
        % Create phiLabel
        app.phiLabel                                               =
    uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.phiLabel.FontSize = 18;
        app.phiLabel.FontWeight = 'bold';
        app.phiLabel.Position = [256 222 55 23];
        app.phiLabel.Text = 'phi [-]';
        % Create ParametratekarkassspiraleLabel
        app.ParametratekarkassspiraleLabel                       =
    uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.ParametratekarkassspiraleLabel.BackgroundColor      = [0.9373
0.9373 0.9373];
        app.ParametratekarkassspiraleLabel.HorizontalAlignment  =
'center';
        app.ParametratekarkassspiraleLabel.VerticalAlignment = 'center';
        app.ParametratekarkassspiraleLabel.FontSize = 18;
        app.ParametratekarkassspiraleLabel.FontWeight = 'bold';
        app.ParametratekarkassspiraleLabel.Position = [51.5 530 263 23];
        app.ParametratekarkassspiraleLabel.Text = 'Parametrat e karkasës
spirale';
        % Create KndiispiralesLabel
        app.KndiispiralesLabel                                   =
    uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.KndiispiralesLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.KndiispiralesLabel.FontSize = 18;
        app.KndiispiralesLabel.FontWeight = 'bold';
        app.KndiispiralesLabel.Position = [34 437 139 23];
        app.KndiispiralesLabel.Text = 'Këndi i spirales';
        % Create alpha
        app.alpha                                                 =
    uieditfield(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
'numeric');
        app.alpha.HorizontalAlignment = 'center';
        app.alpha.FontSize = 18;
        app.alpha.FontWeight = 'bold';
        app.alpha.Position = [178 437 72 23];
        app.alpha.Value = 16;
        % Create r2
        app.r2                                                    =
    uieditfield(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
'numeric');
        app.r2.Enable = 'off';
        app.r2.Editable = 'off';
        app.r2.HorizontalAlignment = 'center';
        app.r2.FontSize = 18;
        app.r2.FontWeight = 'bold';

```

```

        app.r2.Position = [178 480 72 23];
        app.r2.Value = 0.15;
        % Create RrezjaerotoritLabel
        app.RrezjaerotoritLabel =
uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.RrezjaerotoritLabel.Enable = 'off';
        app.RrezjaerotoritLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.RrezjaerotoritLabel.FontSize = 18;
        app.RrezjaerotoritLabel.FontWeight = 'bold';
        app.RrezjaerotoritLabel.Position = [40 480 133 23];
        app.RrezjaerotoritLabel.Text = 'Rrezja e rotorit';
        % Create ShkallaegjrsisLabel
        app.ShkallaegjrsisLabel =
uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.ShkallaegjrsisLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.ShkallaegjrsisLabel.FontSize = 18;
        app.ShkallaegjrsisLabel.FontWeight = 'bold';
        app.ShkallaegjrsisLabel.Position = [6 394 167 23];
        app.ShkallaegjrsisLabel.Text = 'Shkalla e gjërësisë';
        % Create widthScale
        app.widthScale =
uieditfield(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
'numeric');
        app.widthScale.HorizontalAlignment = 'center';
        app.widthScale.FontSize = 18;
        app.widthScale.FontWeight = 'bold';
        app.widthScale.Position = [178 394 72 23];
        app.widthScale.Value = 2.7;
        % Create rz
        app.rz =
uieditfield(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
'numeric');
        app.rz.Limits = [2.5 10];
        app.rz.HorizontalAlignment = 'center';
        app.rz.FontSize = 18;
        app.rz.FontWeight = 'bold';
        app.rz.Position = [178 308 72 23];
        app.rz.Value = 5;
        % Create RrezjaegjuhsLabel
        app.RrezjaegjuhsLabel =
uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.RrezjaegjuhsLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.RrezjaegjuhsLabel.FontSize = 18;
        app.RrezjaegjuhsLabel.FontWeight = 'bold';
        app.RrezjaegjuhsLabel.Position = [35 308 138 23];
        app.RrezjaegjuhsLabel.Text = 'Rrezja e gjuhës';
        % Create KndiigjuhsLabel
        app.KndiigjuhsLabel =
uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.KndiigjuhsLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.KndiigjuhsLabel.FontSize = 18;
        app.KndiigjuhsLabel.FontWeight = 'bold';
        app.KndiigjuhsLabel.Position = [44 351 129 23];

```

```

        app.KndiigjuhsLabel.Text = 'Këndi i gjuhës';
        % Create fiZ
        app.fiZ
    uieditfield(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
    'numeric');
        app.fiZ.Limits = [35 90];
        app.fiZ.HorizontalAlignment = 'center';
        app.fiZ.FontSize = 18;
        app.fiZ.FontWeight = 'bold';
        app.fiZ.Position = [178 351 72 23];
        app.fiZ.Value = 45;
        % Create KoeficientiiprurjesLabel
        app.KoeficientiiprurjesLabel
    uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.KoeficientiiprurjesLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.KoeficientiiprurjesLabel.FontSize = 18;
        app.KoeficientiiprurjesLabel.FontWeight = 'bold';
        app.KoeficientiiprurjesLabel.Position = [-1 222 174 23];
        app.KoeficientiiprurjesLabel.Text = 'Koeficienti i prurjes';
        % Create phi
        app.phi
    uieditfield(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
    'numeric');
        app.phi.HorizontalAlignment = 'center';
        app.phi.FontSize = 18;
        app.phi.FontWeight = 'bold';
        app.phi.Position = [178 222 72 23];
        app.phi.Value = 0.11;
        % Create FormaekarkassspiraleButton
        app.FormaekarkassspiraleButton
    uibutton(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
    'push');
        app.FormaekarkassspiraleButton.ButtonPushedFcn
    createCallbackFcn(app, @FormaekarkassspiraleButtonPushed, true);
        app.FormaekarkassspiraleButton.BackgroundColor = [0.8039 0.8549
0.8039];
        app.FormaekarkassspiraleButton.FontSize = 16;
        app.FormaekarkassspiraleButton.Position = [71.5 135 241 39];
        app.FormaekarkassspiraleButton.Text = 'Forma e karkasës spirale';
        % Create Gjeometria3DeventilatoritButton
        app.Gjeometria3DeventilatoritButton
    uibutton(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
    'push');
        app.Gjeometria3DeventilatoritButton.ButtonPushedFcn
    createCallbackFcn(app, @Gjeometria3DeventilatoritButtonPushed, true);
        app.Gjeometria3DeventilatoritButton.BackgroundColor = [0.8039
0.8549 0.8039];
        app.Gjeometria3DeventilatoritButton.FontSize = 16;
        app.Gjeometria3DeventilatoritButton.Position = [71.5 82 241 39];
        app.Gjeometria3DeventilatoritButton.Text = 'Gjeometria 3D e
ventilatorit';
        % Create RUNCFDOpenFOAMButton
        app.RUNCFDOpenFOAMButton

```

```

uibutton(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
'push');
    app.RUNCFDOpenFOAMButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@RUNCFDOpenFOAMButtonPushed, true);
    app.RUNCFDOpenFOAMButton.BackgroundColor = [0.8039 0.8549
0.8039];
    app.RUNCFDOpenFOAMButton.FontSize = 16;
    app.RUNCFDOpenFOAMButton.Position = [70.5 29 241 39];
    app.RUNCFDOpenFOAMButton.Text = 'RUN CFD OpenFOAM';
    % Create SkemaMATLABOpenFOAMButton
    app.SkemaMATLABOpenFOAMButton
uibutton(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
'push');
    app.SkemaMATLABOpenFOAMButton.ButtonPushedFcn
createCallbackFcn(app, @MATLABButtonPushed, true);
    app.SkemaMATLABOpenFOAMButton.FontSize = 14;
    app.SkemaMATLABOpenFOAMButton.Position = [354.5 29 247 25];
    app.SkemaMATLABOpenFOAMButton.Text = 'Skema MATLAB-OpenFOAM';
    % Create MbylljaRifillimiisimulimitteriButton
    app.MbylljaRifillimiisimulimitteriButton
uibutton(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
'push');
    app.MbylljaRifillimiisimulimitteriButton.ButtonPushedFcn
createCallbackFcn(app, @MbylljaRifillimiisimulimitteriButtonPushed, true);
    app.MbylljaRifillimiisimulimitteriButton.FontSize = 14;
    app.MbylljaRifillimiisimulimitteriButton.Position = [633.5 29 247
25];
    app.MbylljaRifillimiisimulimitteriButton.Text
'Mbyllja/Rifillimi i simulimit te ri';
    % Create ParametratekarkassspiraleButton
    app.ParametratekarkassspiraleButton
uibutton(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
'push');
    app.ParametratekarkassspiraleButton.ButtonPushedFcn
createCallbackFcn(app, @ParametratekarkassspiraleButtonPushed, true);
    app.ParametratekarkassspiraleButton.FontSize = 14;
    app.ParametratekarkassspiraleButton.Position = [354.5 66 247 25];
    app.ParametratekarkassspiraleButton.Text = 'Parametrat e karkasës
spirale';
    % Create PrpunimiirezultateveparaViewButton
    app.PrpunimiirezultateveparaViewButton
uibutton(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab,
'push');
    app.PrpunimiirezultateveparaViewButton.ButtonPushedFcn
createCallbackFcn(app, @PrpunimiirezultateveparaViewButtonPushed, true);
    app.PrpunimiirezultateveparaViewButton.FontSize = 14;
    app.PrpunimiirezultateveparaViewButton.Position = [633.5 66 247
25];
    app.PrpunimiirezultateveparaViewButton.Text = 'Përpunimi i
rezultateve paraView';
    % Create MScArditGJETALabel
    app.MScArditGJETALabel
UILabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);

```

```

        app.MScArditGJETALabel.VerticalAlignment = 'center';
        app.MScArditGJETALabel.FontSize = 14;
        app.MScArditGJETALabel.FontWeight = 'bold';
        app.MScArditGJETALabel.Position = [907 29 219 62];
        app.MScArditGJETALabel.Text = {'MSc Ardit GJETA'; 'Universiteti
Politeknik i Tiranës'; 'e-mail:'};
        % Create MScArditGJETALabel_2
        app.MScArditGJETALabel_2
        uilabel(app.ProjektimiikarkassspiralenpermjetsimulimevenumerikeCFDTab);
        app.MScArditGJETALabel_2.VerticalAlignment = 'center';
        app.MScArditGJETALabel_2.FontSize = 14;
        app.MScArditGJETALabel_2.FontWeight = 'bold';
        app.MScArditGJETALabel_2.FontColor = [0.0784 0.2588 0.9804];
        app.MScArditGJETALabel_2.Position = [956 36 128 18];
        app.MScArditGJETALabel_2.Text = 'agjeta@fim.edu.al';
        % Create RezultatetesimulimitTab
        app.RezultatetesimulimitTab = uitab(app.TabGroup);
        app.RezultatetesimulimitTab.Title = 'Rezultatet e simulimit';
        app.RezultatetesimulimitTab.Units = 'pixels';
    end
end
methods (Access = public)
    % Construct app
    function app = voluteDesignAlb()
        % Create and configure components
        createComponents(app)
        % Register the app with App Designer
        registerApp(app,
app.MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure)
        % Execute the startup function
        runStartupFcn(app, @spiralCasingParameters)
        if nargin == 0
            clear app
        end
    end
    % Code that executes before app deletion
    function delete(app)
        % Delete UIFigure when app is deleted
        delete(app.MatlabGUIprprojektiminekarkassspiralenepmjetCFDV14UIFigure)
    end
end
end
end

```

Vlerat fillestare të simulimit numerik Direktoria “0”

Skedari i shpejtësisë

```
FoamFile
{
version 2.0;
format ascii;
class volVectorField;
object U;
}
dimensions [0 1 -1 0 0 0 0];
internalField uniform (0 0 0);
boundaryField
{
inlet
{
type cylindricalInletVelocity;
value uniform (0 0 0);
axis (0 0 1);
axialVelocity 0;
centre (0 0 0);
radialVelocity 7.2251;
rpm constant 1175.0222;
}
frontAndBackInlet
{
type rotatingWallVelocity;
origin (0 0 0);
axis (0 0 1);
omega 314.1593;
}
volute
{
type fixedValue;
value uniform (0 0 0);
}
frontAndBackVolute
{
type fixedValue;
value uniform (0 0 0);
}
outlet
{
type zeroGradient;
}
}
```

Skedari i presionit

```
FoamFile
{
version 2.0;
format ascii;
class volScalarField;
object p;
}
dimensions [0 2 -2 0 0 0 0];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
inlet
{
type zeroGradient;
}
frontAndBackInlet
{
type zeroGradient;
}
volute
{
type zeroGradient;
}
frontAndBackVolute
{
type zeroGradient;
}
outlet
{
type fixedValue;
value uniform 0;
}
}
```

Skedari i viskozitetit turbulent

```
FoamFile
{
  version 2.0;
  format ascii;
  class volScalarField;
  location "0";
  object nut;;
}
dimensions [0 2 -1 0 0 0 0];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type calculated;
    value $internalField;
  }
  frontAndBackInlet
  {
    type nutkWallFunction;
    value $internalField;
  }
  volute
  {
    type nutkWallFunction;
    value $internalField;
  }
  frontAndBackVolute
  {
    type nutkWallFunction;
    value $internalField;
  }
  outlet
  {
    type calculated;
    value $internalField;
  }
}
```

Skedari i energjisë kinetike të turbulencës

```
FoamFile
{
  version 2.0;
  format ascii;
  class volScalarField;
  location "0";
  object k;
}
dimensions [0 2 -2 0 0 0 0];
internalField uniform 3;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type fixedValue;
    value $internalField;
  }
  frontAndBackInlet
  {
    type kqRWallFunction;
    value $internalField;
  }
  volute
  {
    type kqRWallFunction;
    value $internalField;
  }
  frontAndBackVolute
  {
    type kqRWallFunction;
    value $internalField;
  }
  outlet
  {
    type zeroGradient;
  }
}
```

Skedari i shkallës specifike të shpërhapjes së turbulencës

```
FoamFile
{
version 2.0;
format ascii;
class volScalarField;
location "0";
object omega;
}
dimensions [0 0 -1 0 0 0 0];
internalField uniform 4000;
boundaryField
{
inlet
{
type fixedValue;
value $internalField;
}
frontAndBackInlet
{
type omegaWallFunction;
value $internalField;
}
volute
{
type omegaWallFunction;
value $internalField;
}
frontAndBackVolute
{
type omegaWallFunction;
value $internalField;
}
outlet
{
type zeroGradient;
}
}
```

Direktoria “constant”

Skedari i modelit të turbulencës së përdorur

```
FoamFile
{
version 2.0;
format ascii;
class dictionary;
location "constant";
object turbulenceProperties;
}
simulationType RAS;
RAS
{
RASModel kOmegaSST;
turbulence on;
printCoeffs on;
}
```

Skedari i viskozitetit kinematik

```
FoamFile
{
version 2.0;
format ascii;
class dictionary;
location "constant";
object transportProperties;
}
transportModel Newtonian;
nu [0 2 -1 0 0 0 0] 1.511e-05;
```

Direktoria “system”

Kontrolli i simulimit numerik

```
FoamFile
{
version 2.0;
format ascii;
class dictionary;
location "system";
object controlDict;
}
application simpleFoam;
startFrom startTime;
startTime 0;
stopAt endTime;
endTime 1000;
deltaT 1;
writeControl timeStep;
writeInterval 1000;
purgeWrite 0;
writeFormat ascii;
writePrecision 8;
writeCompression off;
timeFormat general;
timePrecision 6;
runTimeModifiable true;
```

Kontrolli i rrjetëzimit “checkMeshQuality”

```
Create time
Create polyMesh for time = 0
Enabling user-defined geometry checks.

Time = 0

Mesh stats
  points:          366257
  internal points: 273237
  faces:           946870
  internal faces:  853320
  cells:           290097
  faces per cell:  6.2054761
  boundary patches: 5
  point zones:     0
  face zones:      0
  cell zones:      0

Overall number of cells of each type:
  hexahedra:       264542
  prisms:          1064
  wedges:          0
  pyramids:        2660
  tet wedges:      0
  tetrahedra:      1064
  polyhedra:       20767
  Breakdown of polyhedra by number of faces:
    faces  number of cells
      6    2381
      9    15417
     12    2538
     15     397
     18     34

Checking topology...
  Boundary definition OK.
  Cell to face addressing OK.
  Point usage OK.
  Upper triangular ordering OK.
  Face vertices OK.
  Number of regions: 1 (OK).

Checking patch topology for multiply connected surfaces...
      Patch      Faces      Points      Surface
topology
      inlet      6228      6574    ok (non-closed singly
connected)
      volute     28600     29295    ok (non-closed singly
connected)
      frontAndBackInlet 12828     13064    ok (non-closed singly
connected)
      frontAndBackVolute 42990     43472    ok (non-closed singly
connected)
      outlet      2904      3015    ok (non-closed singly
connected)

Checking geometry...
  Overall domain bounding box (-0.23556554 -0.29375678 -0.057526125)
(0.36271366 0.30000012 0.095083343)
```

```
Mesh has 3 geometric (non-empty/wedge) directions (1 1 1)
Mesh has 3 solution (non-empty) directions (1 1 1)
Boundary openness (-5.817016e-018 -3.2605685e-016 4.8156228e-016) OK.
Max cell openness = 3.1396599e-016 OK.
Max aspect ratio = 6.6132386 OK.
Minimum face area = 6.8304755e-007. Maximum face area = 5.8823243e-005.
Face area magnitudes OK.
Min volume = 4.6016221e-010. Max volume = 4.1875227e-007. Total volume
= 0.034180135. Cell volumes OK.
Mesh non-orthogonality Max: 40.117448 average: 4.5852799
Non-orthogonality check OK.
Face pyramids OK.
Max skewness = 1.741771 OK.
Coupled point location match (average 0) OK.
Checking faces in error :
non-orthogonality > 65 degrees : 0
faces with face pyramid volume < 1e-013 : 0
faces with face-decomposition tet quality < 1e-030 : 0
faces with concavity > 80 degrees : 0
faces with skewness > 10 (internal) or 20 (boundary) : 0
faces with interpolation weights (0..1) < 0.05 : 0
faces with volume ratio of neighbour cells < 0.01 : 0
faces with face twist < 0.05 : 0
faces on cells with determinant < 0.001 : 0

Mesh OK.

End
```

Kontrolli i konvergjencës (shembull rastësor)

```
Create time
Create mesh for time = 0
SIMPLE: convergence criteria
    field p tolerance 1e-005
    field U tolerance 1e-005
    field "(k|epsilon|omega|f|v2)" tolerance 1e-005
Reading field p
Reading field U
Reading/calculating face flux field phi
Selecting incompressible transport model Newtonian
Selecting turbulence model type RAS
Selecting RAS turbulence model kOmegaSST
Selecting patchDistMethod meshWave
kOmegaSSTCoeffs
No MRF models present
No finite volume options present

Starting time loop

Time = 1
smoothSolver: Solving for Ux, Initial residual = 1, Final residual =
0.009370858, No Iterations 1
smoothSolver: Solving for Uy, Initial residual = 1, Final residual =
0.0093685262, No Iterations 1
smoothSolver: Solving for Uz, Initial residual = 1, Final residual =
0.0043176659, No Iterations 1
GAMG: Solving for p, Initial residual = 1, Final residual = 0.0071690974,
No Iterations 9
time step continuity errors : sum local = 0.088630623, global = -
0.0012341077, cumulative = -0.0012341077
smoothSolver: Solving for omega, Initial residual = 0.65829227, Final
residual = 0.0012205918, No Iterations 3
smoothSolver: Solving for k, Initial residual = 1, Final residual =
0.0028031212, No Iterations 3
ExecutionTime = 14.374 s ClockTime = 14 s
...

Time = 568
smoothSolver: Solving for Ux, Initial residual = 3.218775e-006, Final
residual = 1.7383539e-007, No Iterations 2
smoothSolver: Solving for Uy, Initial residual = 2.1403452e-006, Final
residual = 1.2372174e-007, No Iterations 2
smoothSolver: Solving for Uz, Initial residual = 7.2898846e-006, Final
residual = 4.1522297e-007, No Iterations 2
GAMG: Solving for p, Initial residual = 9.9568302e-006, Final residual =
6.566025e-008, No Iterations 4
time step continuity errors : sum local = 3.4932342e-006, global =
5.033516e-008, cumulative = -0.0078768053
smoothSolver: Solving for omega, Initial residual = 1.1957464e-006, Final
residual = 2.4729864e-007, No Iterations 1
smoothSolver: Solving for k, Initial residual = 5.1119174e-006, Final
residual = 9.907657e-007, No Iterations 1
ExecutionTime = 5018.942 s ClockTime = 5019 s

SIMPLE solution converged in 568 iterations

End
```

Kontrolli i vlerës y^+

```
Create time
Create mesh for time = 0
Time = 0
Reading field U
Reading/calculating face flux field phi
Selecting incompressible transport model Newtonian
Selecting turbulence model type RAS
Selecting RAS turbulence model kOmegaSST
Selecting patchDistMethod meshWave
kOmegaSSTCoeffs

Patch 1 named volute, wall-function nutkWallFunction,
y+ : min: 54.145356 max: 109.45353 average: 84.129767
Patch 2 named frontAndBackInlet, wall-function nutkWallFunction,
y+ : min: 41.993424 max: 116.34382 average: 81.596327
Patch 3 named frontAndBackVolute, wall-function nutkWallFunction,
y+ : min: 56.463656 max: 114.36024 average: 95.849259
Writing yPlus to field yPlus

Time = 568
Reading field U
Reading/calculating face flux field phi
Selecting incompressible transport model Newtonian
Selecting turbulence model type RAS
Selecting RAS turbulence model kOmegaSST
Selecting patchDistMethod meshWave
kOmegaSSTCoeffs

Patch 1 named volute, wall-function nutkWallFunction,
y+ : min: 51.027802 max: 113.74294 average: 48.138085
Patch 2 named frontAndBackInlet, wall-function nutkWallFunction,
y+ : min: 37.4585 max: 194.56379 average: 94.889118
Patch 3 named frontAndBackVolute, wall-function nutkWallFunction,
y+ : min: 40.766911 max: 118.29368 average: 69.066303
568
Writing yPlus to field yPlus
```

ANEKS III - Procedura e kryerjes së eksperimenteve

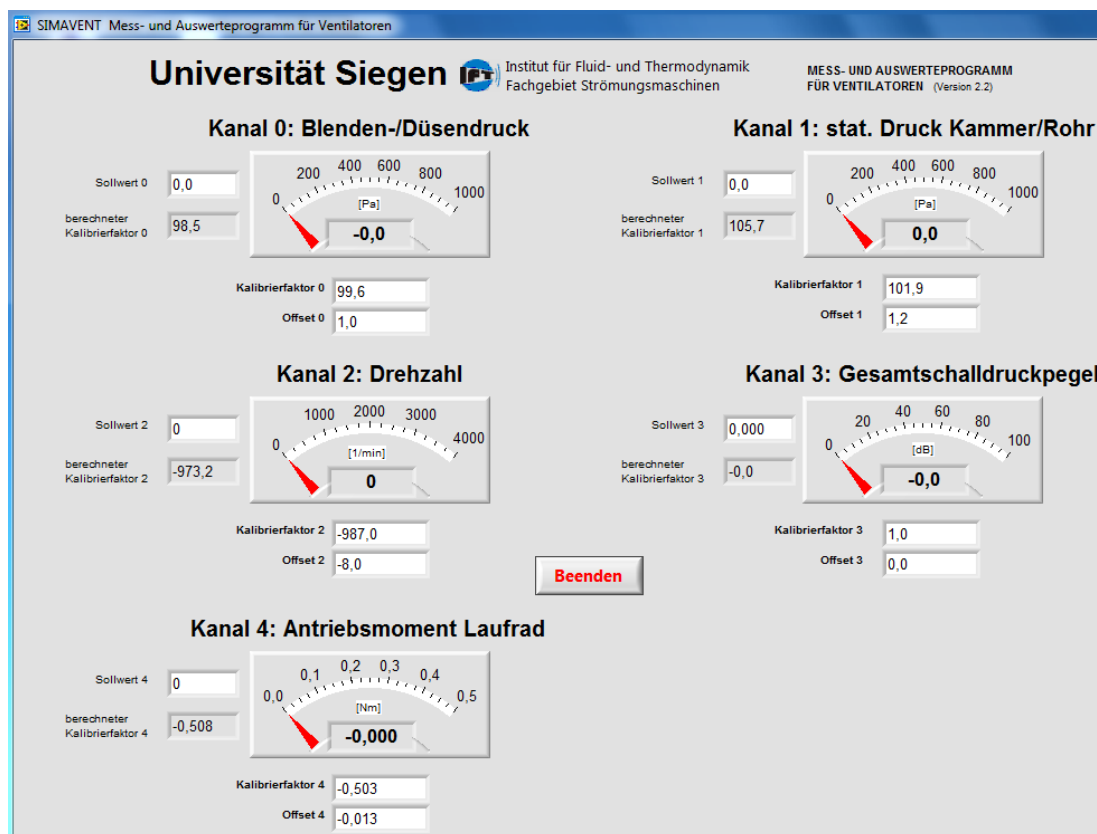


Figura 6.6 Kalibrimi i pajisjeve matse t presionit prpara fillimit t eksperimentit

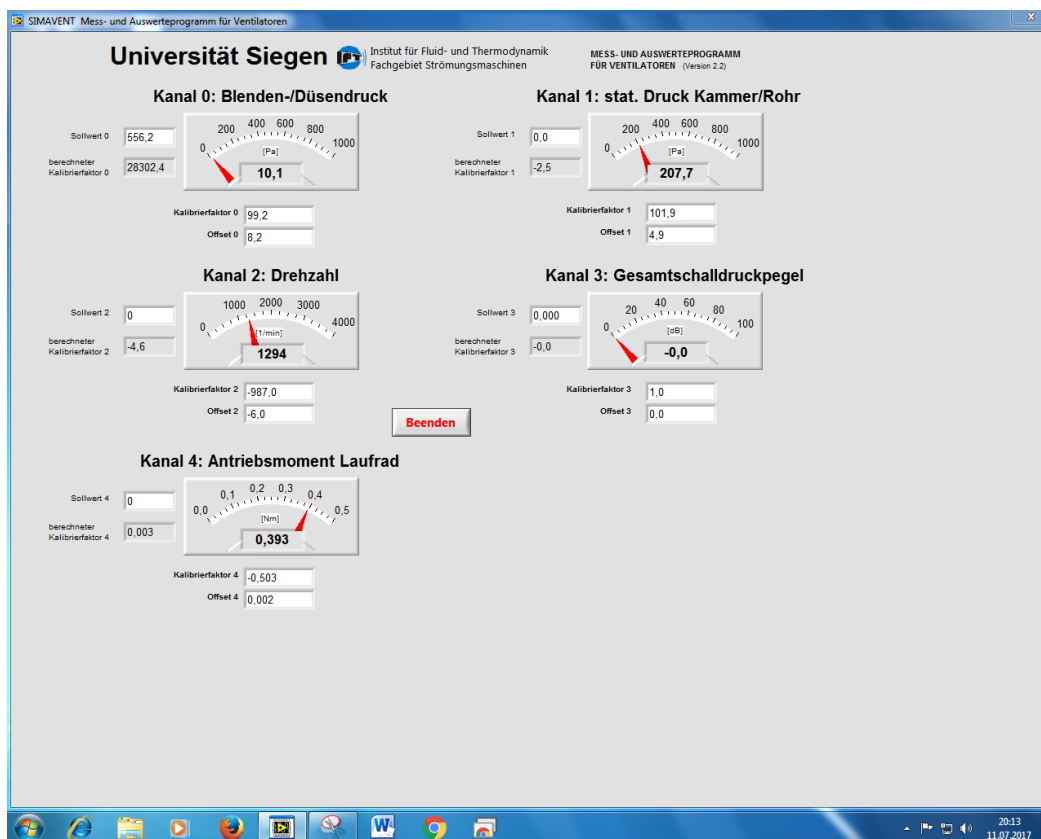


Figura 6.7 Vlerat e matura t presionit, numrit t rrotullimeve, momentit prdredhs gjat nj eksperimenti

SIMAVENT Mess- und Auswertprogramm für Ventilatoren

Universität Siegen
Institut für Fluid- und Thermodynamik
Fachgebiet Strömungsmaschinen

Ventilatorart: FLT_9 B=0,159,5 2500rpm

Mo, 24. Jul 2017 12:13:43

MESS- UND AUSWERTEPROGRAMM FÜR VENTILATOREN (Version 2.2)

Messwerte importieren Kalibrieren

Messung starten

Protokoll anzeigen

Programm beenden

Daten Speichern

☐ Datei überlagern

Bemerkungen

importierte Messung vom: Fr, 14. Jul 2017 09:03:59

Ventilator

Radialventilator ohne Gehäuse

Axialventilator

Radialventilator mit Gehäuse

Laufdurchmesser D: 0,3000 m

Höhe Kanal Spiralgehäuse h: 0,1595 m

Breite Kanal Spiralgehäuse b: 0,2703 m

Ausblasquerschnitt A: 0,3431 m²

Ausblasquerschnitt A nur angeben, wenn dieser nicht aus h und b errechnet wird! Ansonsten A = 0 belassen!

$\dot{V} \text{ [m}^3/\text{s]} = \text{kWD} \text{ [m}^2] \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \text{ [Pa]}}{\rho \text{ [kg/m}^3]}}$

kWD: 31,780 10⁻³ m²

☐ Zielbetriebspunkt anzeigen

Antrieb & Prüfbedingungen

Eigenantrieb (M)

Fremdantrieb (L)

Temperatur t0: 25,0 °C

Umgebungsdruck pa: 984,0 mbar

relative Feuchte phiF: 0 %

Dichte vor Einlaufdüse rho0: 1,15 kg/m³

Referenzdichte rhoref: 1,20 kg/m³

Referenzdrehzahl nref: 3000 1/min

Leerlaufmoment M0: 0,153 Nm

Prüfstand

Kammerprüfstand

Kammerquerschnitt AM: 0,950 m²

Schallmessung

keine Schallmessung

Figura 6.8 Të dhënat teknike dhe gjeometrike të ventilatorit dhe karkasës

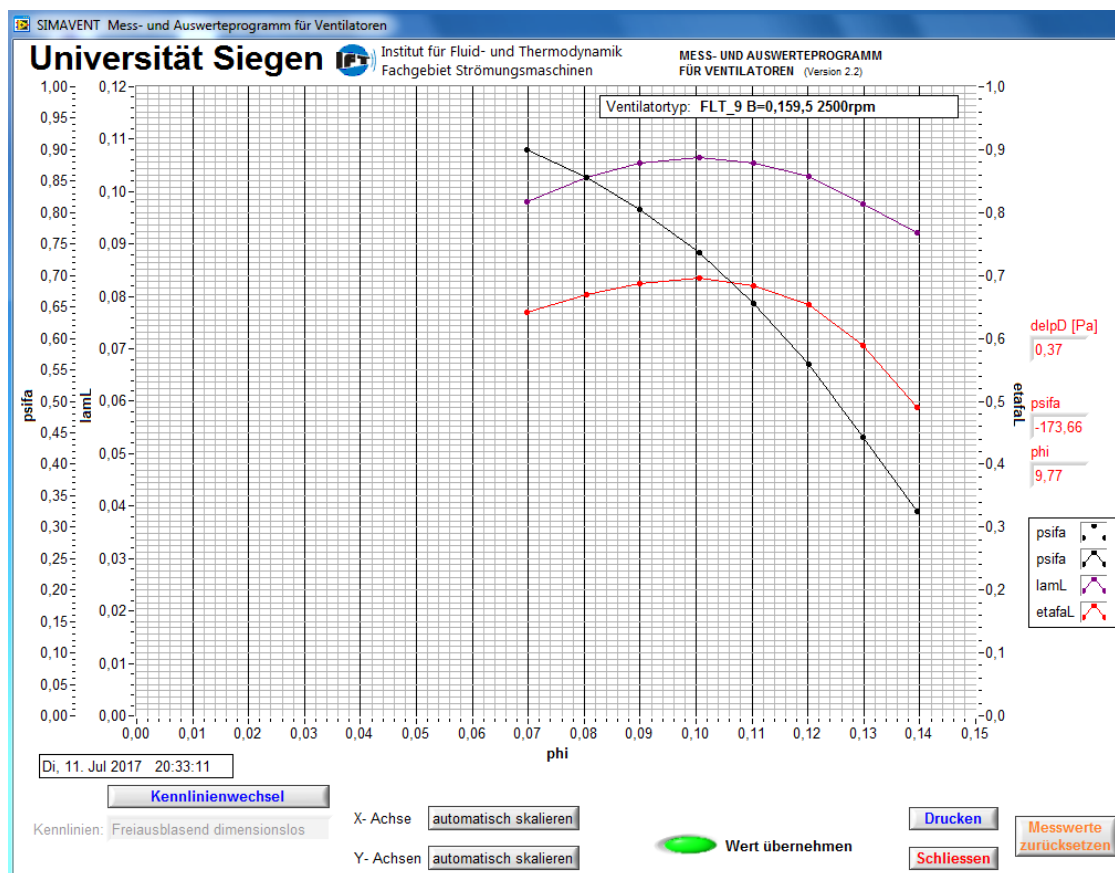


Figura 6.9 Ndërtimi i karakteristikës së ventilatorit

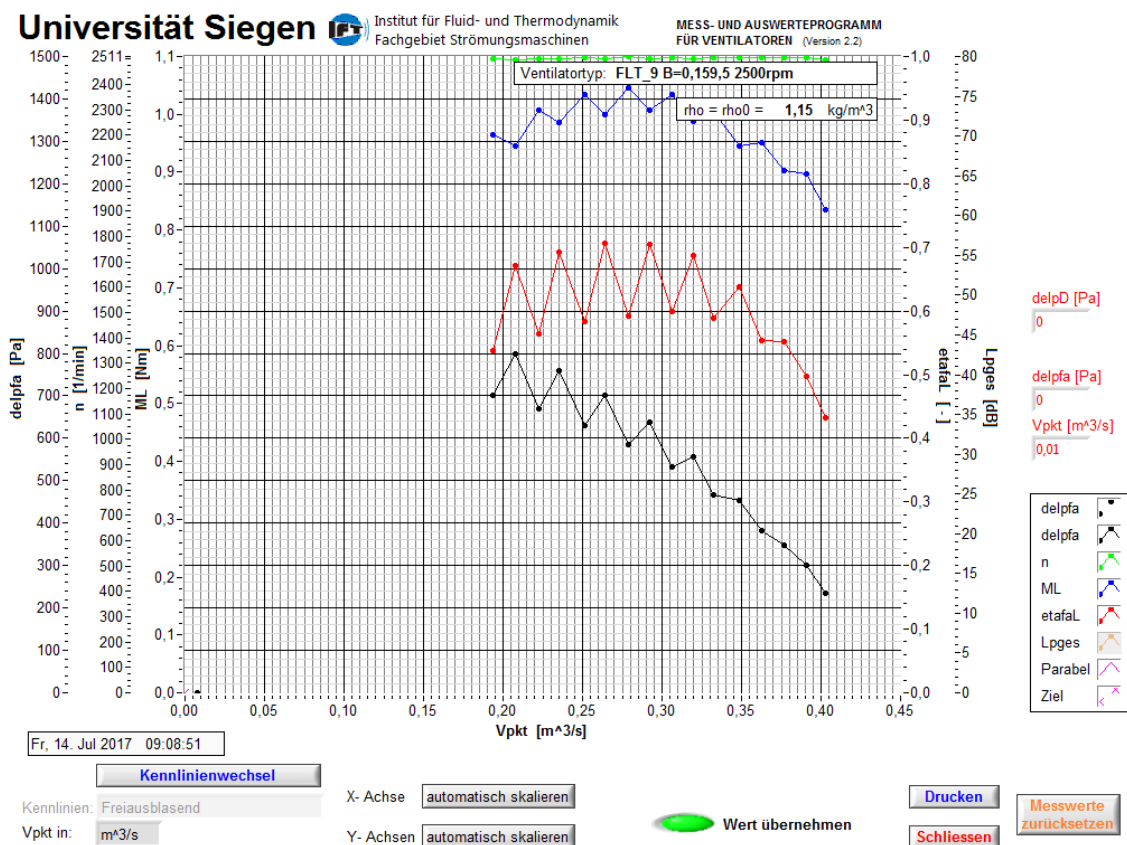


Figura 6.10 Ndërtimi i karakteristikes prurje-ngarkesë (referuar presionit statik-total)

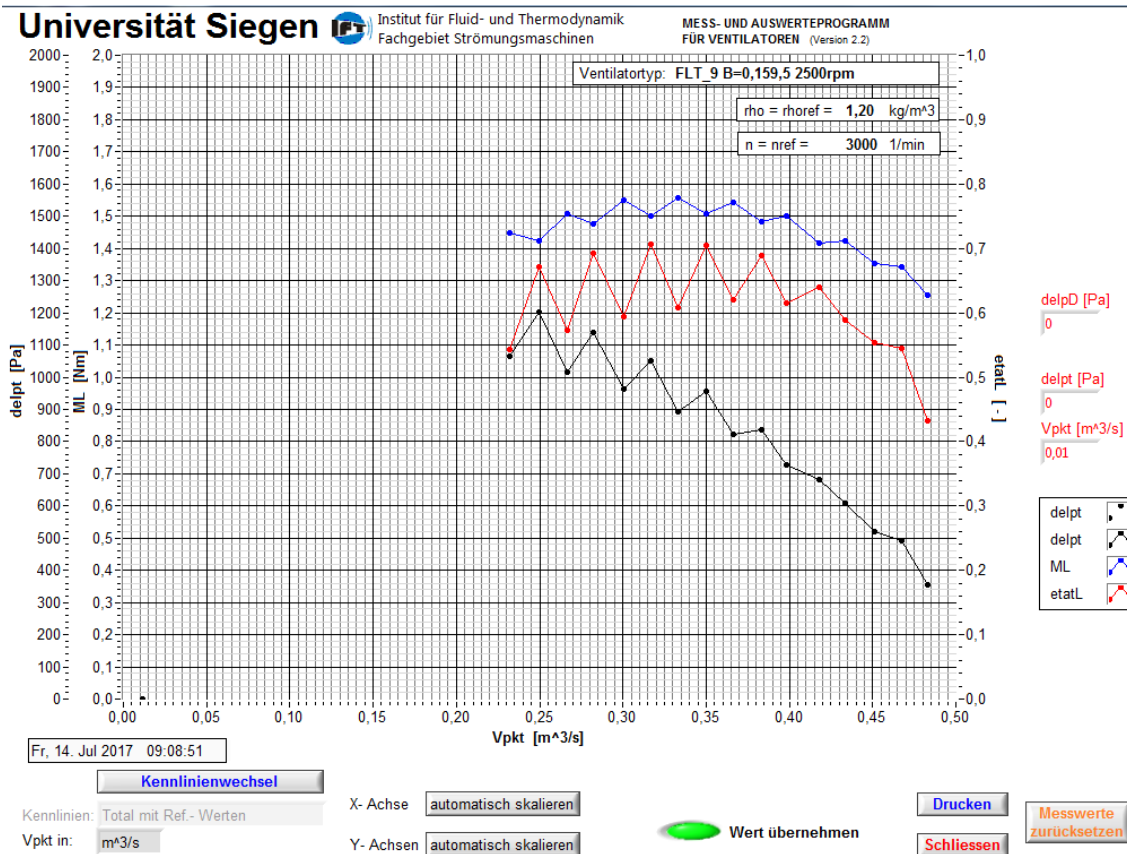


Figura 6.11 Ndërtimi i karakteristikes prurje-ngarkesë (referuar presionit total)

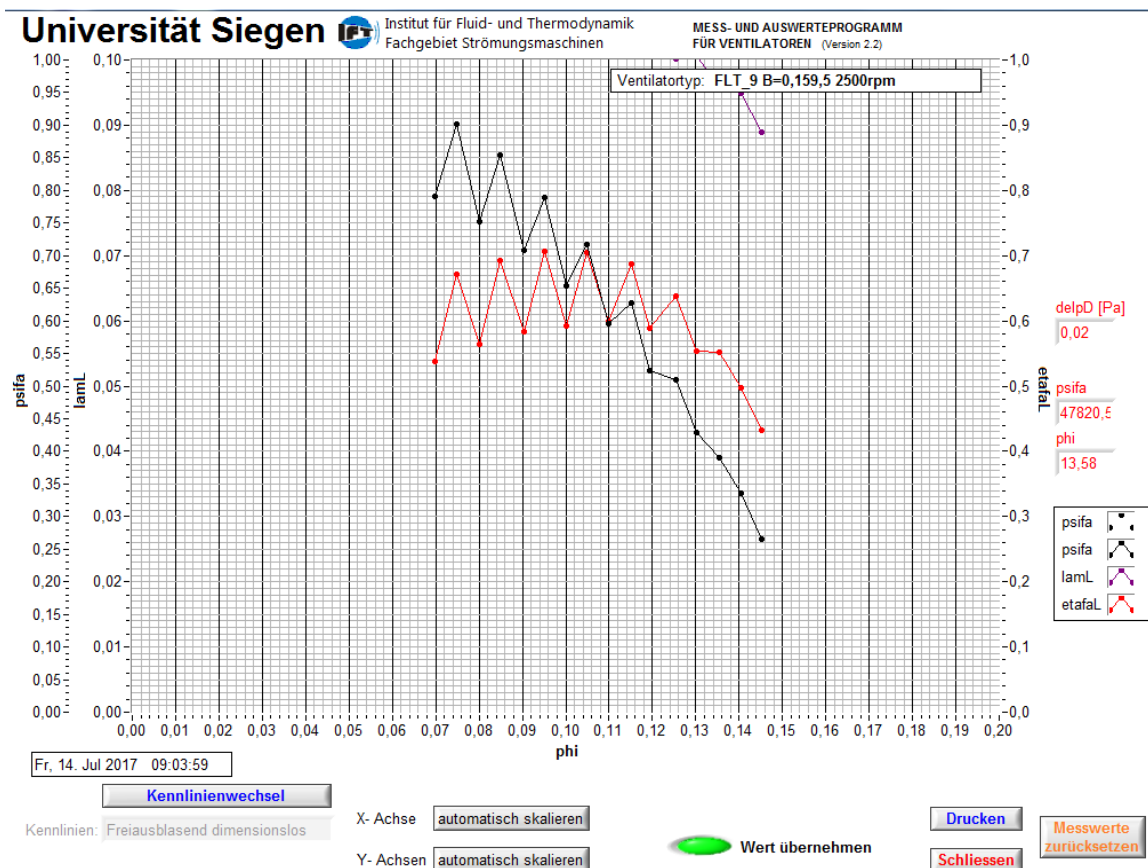


Figura 6.12 Ndërtimi i karakteristikës të ventilatorit me dhe pa karkasë

SIMAVENT Mess- und Auswertprogramm für Ventilatoren

Universität Siegen  Institut für Fluid- und Thermodynamik
Fachgebiet Strömungsmaschinen

MESS- UND AUSWERTEPROGRAMM
FÜR VENTILATOREN (Version 2.2)

Messung vom: Di, 11. Jul 2017 20:14:48

Ventilatorart: FLT_9 B=0,159,5

Prüfstand

Kammerprüfstand

Kammerquerschnitt: 0,950 m²

Antrieb & Prüfbedingungen

Fremdantrieb (L)

Temperatur t0: 27,0 °C

Umgebungsdruck pa: 986,5 mbar

relative Feuchte phiF: 0 %

Dichte Einlaufdüse rho0: 1,15 kg/m³

Referenzdichte rhoref: 1,20 kg/m³

Referenzdrehzahl nref: 3000 1/min

Leerlaufmoment M0: 0,156 Nm

Ventilator

Radialventilator mit Gehäuse

Laufdurchmesser D: 0,3000 m

Ausblasquerschnitt A: 0,0431 m²

Höhe Kanal Spiralgehäuse h: 0,160 m

Breite Kanal Spiralgehäuse b: 0,270 m

Bemerkungen

importierte Messung vom: Mo, 10. Jul 2017 13:27:38

importierte Messung vom: Fr, 7. Jul 2017 08:45:54

Messwerte

	delpK [Pa]	delpD [Pa]	MLmess [Nm]	n [1/min]	kWD [10⁻³ m²]	Lpges [dBA]	Kalib0 [-]	Offset0 [-]	Kalib1 [-]	Offset1 [-]	Kalib2 [-]	Offset2 [-]	Kalib3 [-]	Offset3 [-]	Kalib4 [-]	Offset4 [-]
1	209,651	10,378	0,394	1298,631	31,780	-0,004	99,200	8,200	101,900	4,900	-987,000	-6,000	1,000	0,000	-0,503	0,002
2																

Figura 6.13 Përmbledhja e rezultateve të eksperimentit

LITERATURA

- [1] EU Regulation No 327 (2011): *“Implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for fans driven by motors with an electric input power between 125 W and 500 kW”*, **2011**.
- [2] Konrad Bamberger, Julian Belz, Thomas Carolus, Oliver Nelles: *“Aerodynamic Optimization of Centrifugal Fans Using CFD-Trained Meta-Models”*, **2015**.
- [3] Wolfram, Daniel; Carolus, Thomas H.: *“Experimental and numerical investigation of the unsteady flow field and tone generation in an isolated centrifugal fan impeller”*, **2010**.
- [4] Ferziger, Joel H.; Perić, M.: *“Computational methods for fluid dynamics. 3rd”*, **2002**.
- [5] Eck, Bruno: *“Fans, Design and operation of centrifugal, axial-flow and cross-flow fans”*, **1973**.
- [6] Yunus A. Çengel and John M. Cimbala: *“Fluid Mechanics, Third Edition”*, **2014**.
- [7] Carolus, Thomas: *“Ventilatoren”*, **2013**.
- [8] H. Agolli; F.Bidaj; Gj. File: *“Makina 1”*, **2008**.
- [9] Yukun Lv, Zheng-Wei Lv, Hong-Yang Li, Bao-Jun Song, Bo Cheng, Bo Zhang: *“Design of volute shape of centrifugal fans”*, **2016**.
- [10] Yukun Lv, Baojun Song, Haifeng Liu: *“Analysis and Suggestion on Design Methods for Volute Shape of Centrifugal Fans”*, **2012**.
- [11] R.K. Turton: *“Principles of Turbomachinery”*, **1995**.
- [12] Dick, Erik: *“Fundamentals of turbomachines”*, **2015**.
- [13] E. Ayder R. Van den Braembussche: *“Experimental and Theoretical Analysis of the Flow in a Centrifugal Compressor Volute”*, **1993**.
- [14] Pan, D.; Whitfield, A.; Wilson, M.: *“Design considerations for the volutes of centrifugal fans and compressors”*, **1999**.
- [15] Baloni, Beena D.; Channiwala, S. A.; Mayavanshi, V. K.: *“Pressure recovery and loss coefficient variations in the two different centrifugal blower volute designs”*, **2012**.
- [16] Hariharan, C.; Govardhan, M.: *“Improving performance of an industrial centrifugal blower with parallel wall volutes”*, **2016**.

- [17] Patankar Suhas V.: “*Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*”, **1980**.
- [18] John D. Anderson: “*Computational Fluid Dynamics. The Basics with Applications*”, **1995**.
- [19] Lahey, Richard T.: “*The simulation of multidimensional multiphase flows. In: Nuclear Engineering and Design*”, **2005**.
- [20] Atul Sharma: “*Introduction to Computational Fluid Dynamics Development, Application and Analysis*”, **2017**.
- [21] Rodi, W.; Majumdar, S.; Schönung, B.: “*Finite volume methods for two-dimensional incompressible flows with complex boundaries*”, **1989**.
- [22] Moukalled, Fadl Hassan; Mangani, L.; Darwish, M.: “*The finite volume method in computational fluid dynamics. An advanced introduction with OpenFOAM and Matlab*”, **2016**.
- [23] OpenFOAM: “*The Open Source CFD Toolbox. Tutorial Guide*”, **2016**.
- [24] Juha Kortelainen: “*Meshing Tools for Open Source CFD – A Practical Point of View*”, **2009**.
- [25] OpenFOAM Workshop: “*Effects of grid quality on solution accuracy*”, **2014**.
- [26] Bommers, Leonhard: “*Ventilatoren*”, **2003**.
- [27] Lehfeldt, Rainer; Kopmann, Rebekka; Lehfeldt & Kopmann: “*Generation of a 3D Mesh Using snappyHexMesh Featuring Anisotropic Refinement and Near-wall Layers*”, **2014**.
- [28] Ismail B. Celik: “*Introductory Turbulence Modeling*”, **1999**.
- [29] Nicholas J. Georgiadis: “*Evaluation of Modified Two-Equation Turbulence Models for Jet Flow Predictions*”, **2006**.
- [30] S. Thangam: “*Analysis Of Two-Equation Turbulence Models For Recirculating Flows*”, NASA Contractor Report 187607, **1991**.
- [31] Florian R. Menter: “*Improved Two-Equation k- ω Turbulence Models for Aerodynamic Flows*”, **1992**.
- [32] Gibson, Michael M.; Dafa'Alla, Adil A.: “*Two-equation model for turbulent wall flow*”, **2005**.
- [33] Florian Menter, Thomas Esch: “*Elements of Industrial Heat Transfer Predictions*”, **2001**.

- [34] NASA Langley Research Center.: “*The Menter Shear Stress Transport Turbulence Model*”, **2015**.
- [35] Wilcox David C.: “*Turbulence Modeling for CFD*”, **1993**.
- [36] Antti Hellsten: “*Some Improvements in Menter’s k-w SST Turbulence model*”, **1997**.
- [37] Salim .M. Salim, S.C. Cheah: “*Wall y+ Strategy for Dealing with Wall-bounded Turbulent Flows*”, **2009**.
- [38] D. B. Spalding: “*A Single Formula for the “Law of the Wall”*”, **1961**.
- [39] Launder, B. E.; Spalding, D. B.: “*The Numerical Computation of Turbulent Flow Computer Methods*”, **1974**.
- [40] Georgi Kalitzin, Gorazd Medic, Gianluca Iaccarino, Paul Durbin: “*Near-wall behavior of RANS turbulence models and implications for wall functions*”, **2005**.
- [41] Nichols, Robert H.; Nelson, C. C.: “*Wall Function Boundary Conditions Including Heat Transfer and Compressibility*”, **2004**.
- [42] DIN 24163, “*Fans; Performance Testing, Standard Characteristics*” Deutsche Norm, Berlin, **1985**.
- [43] Hensel, K., “*Konzeption eines Ventilatorprüfstandes nach DIN 24163 - Final thesis no.A93030003*”, University of Siegen, Siegen, **1993**.
- [44] Winkler, J., “*Investigation of Trailing-Edge-Blowing on Airfoils for Turbomachinery Broad-band Noise Reduction*”, PhD thesis, University of Siegen, Siegen, **2011**.