



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ŞI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
din BUCURESTI**FONDUL SOCIAL EUROPEAN****Investește în oameni!**

Programul Operational Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Proiect POSDRU/88/1.5/S/61178 – Competitivitate și performanță în cercetare prin programe doctorale de calitate (ProDOC)

UNIVERSITATEA „EFTIMIE MURGU” DIN REȘIȚAFacultatea de Inginerie și Management
Departamentul de Mecanică și Ingineria Materialelor

Nr. Decizie Senat 994 din 25.11.2013

TEZĂ DE DOCTORAT*Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară
echipată cu generator imersat cu magneți permanenți**Theoretical and experimental research on a axial-tubular microturbine
equipped with permanent magnet generator and immersed runner***Autor:** ing. Dănuț Florea**COMISIA DE DOCTORAT**

Președinte	Prof.univ.dr.ing. Doina Frunzăverde	de la	Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița
Conducător de doctorat	Prof. univ.dr.ing. Dorian Nedelcu	de la	Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița
Referent	Prof. univ. dr. ing. Ilare Bordeașu	de la	Universitatea „Politehnica” din Timișoara
Referent	Prof. univ. dr. ing. Mircea Bărglăzan	de la	Universitatea „Politehnica” din Timișoara
Referent	Prof. univ.dr.ing. Constantin Viorel Câmpian	de la	Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița

PREFĂȚĂ

Teza de doctorat intitulată “*Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți*” reprezintă o sinteză a activității de cercetare teoretică și experimentală axată pe o microturbină axial-tubulară, echipată cu generator imersat cu magneți permanenți, concepută într-o nouă soluție constructivă. Teza abordează etape definițorii ale unei cercetări: studiu bibliografic, proiectare, execuție, experimentare.

Teza debutează cu prezenta **Prefață**, cu un **Cuprins**, urmat de **Listă figuri**, **Listă tabele** și **Listă notații**.

Capitolul 1 sintetizează stadiul actual al cercetărilor în domeniul turbinelor/microturbinelor și prezintă diferite soluții alternative.

Capitolul 2 prezintă obiectivele tezei de doctorat.

Capitolul 3 este dedicat proiectării hidrodinamice a 3 variante de rotoare axiale, cu 4, 6 și 8 palete, simbolizate R4, R6 respectiv R8. După o simularea a curgerii prin traseul microturbinelui, prin intermediul modulului Flow Simulation, pentru a calcula variația vitezei meridiane cu raza în zona rotorului, în absența paletajului rotoric, se prezintă algoritmul de proiectare hidrodinamică a rotoarelor, ultimele subcapitole fiind dedicate proiectării propriu-zise a celor 3 rotoare.

Capitolul 4 este axat pe descrierea constructiv funcțională a ansamblului și a componentelor microturbinelui. Microturbina include componente standard ale unei turbine axiale: stator, aparat director, rotor axial, tub de aspirație; elementul de noutate este concretizat prin soluția de generare a energiei electrice, care utilizează un rotor magnetic cu magneți permanenți, plasat pe periferia rotorului axial, care se rotește în interiorul statorului generatorului; rotorul magnetic și partea interioară a statorului generatorului vor fi în contact cu apa, motiv pentru care interiorul statorului trebuie inundat cu o răsină ce va asigura etanșarea.

Capitolul 5 prezintă aspecte referitoare la prototiparea rapidă a unor componente ale microturbinelui. Dintre componentele microturbinelui s-au executat prin tehnologia de prototipare rapidă componente cu geometrie mai complexă, respectiv: rotoarele axiale R4, R6, R8 și aparatul director.

Capitolul 6 rezultatele cercetărilor experimentale efectuate asupra microturbinelui, obținute în urma încadrării microturbinelui în standul de cercetări microturbine al firmei S.C. Hydro-Engineering S.A. Reșița.

Capitolul 7 prezintă concluzii finale și contribuții personale, direcții viitoare de cercetare și diseminarea rezultatelor.

Teza se încheie cu **Bibliografie** și o **Anexă** – ansamblul microturbinelui, în format A3 color.

Teza se întinde pe 164 pagini și conține: 292 figuri (inclusiv poze), 66 tabele, 27 relații și 107 referințe bibliografice.

Primul cuvânt de mulțumire îl adresez domnului prof. dr. ing. Dorian Nedelcu, care, în calitatea sa de conducător științific, m-a îndrumat permanent în munca de cercetare desfășurată în cadrul tezei, a fost un sprijin permanent pe parcursul elaborării tezei și pentru analiza conținutului lucrării.

Mulțumesc domnilor prof. dr. ing. Ilare Bordeașu și prof. dr. ing. Mircea Bărgălan, din cadrul Universității “Politehnica” din Timișoara respectiv domnului prof. dr. ing. Constantin Viorel Câmpian din cadrul Universității “Eftimie Murgu” din Reșița pentru acceptul de a face parte din comisia de doctorat, pentru sugestiile constructive referitoare la conținutul tezei și pentru întocmirea referatelor.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Mulțumesc conducerii Universității „Eftimie Murgu” din Reșița, d-nei rector prof. dr. ing. Doina Frunzăverde și Centrului de Elaborare și Management al Proiectelor de Dezvoltare Instituțională POSDRU din cadrul Universității “Politehnica” din București pentru suportul acordat pe parcursul studiilor doctorale. Studiile doctorale s-au efectuat prin proiectul „*Competitivitate și performanță în cercetare prin programe doctorale de calitate (ProDOC)*”, finanțat din fondurile POSDRU prin contractul de finanțare POSDRU/88/1.5/S/61178, program desfășurat sub egida Universității „Politehnica” din București în cooperare cu Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița.

Mulțumesc tuturor colegilor de la Universitate „Eftimie Murgu”, care au fost alături de mine și m-au ajutat să finalizez teza de doctorat: domnului prof. dr. ing. Constantin Viorel Câmpian, domnului prof. dr. ing. Gilbert-Rainer Gillich, domnului conf. Călin Micloșină, domnului prof. dr. ing. Gheorghe Liuba, domnului ing. Nedelea Valentin, dr. ing. Mitulețu Cornel, șef de lucrări dr. ing. Vasile Cojocaru, asist. dr. ing. Nedeloni Marian Dumitru, cercetătorului drd. ing. Cosmin Dumbravă și tehnicianului Nicolae Trulea.

Un cuvânt de mulțumire adresez domnului dr. ing. Silviu-Dan Avram pentru ajutorul acordat la execuția componentelor microturbinei.

De asemenea mulțumesc colaboratorilor de la S.C. Hydro Engineering S.A. Reșița, unde am desfășurat cercetările experimentale: domnului director Adrian Preda, pentru acceptul de a efectua cercetările experimentale pe stand, domnului ing. Adrian Hopotă, de a cărui colaborare și competență am beneficiat pe parcursul elaborării tezei, d-lui sing. Cervenka Dietmar pentru colaborarea acordată pe durata experimentărilor.

Un cuvânt de mulțumire adresez de asemenea d-lui sing. Giuroiu Costel de la S.C. Hydro Engineering S.A. Reșița și d-lui sing. Sauca Viorel de la UCMR S.A. Reșița, pentru ajutorul acordat la inundarea cu răsină a statorului generatorului, operația care presupune experiență pentru a obține o corectă etanșare a statorului.

În final mulțumesc familiei mele pentru înțelegerea și sprijinul acordat pe întreg parcursul elaborării tezei de doctorat.

Reșița, 2013
Drd. ing. Florea Dănuț

CUPRINS

Listă figuri	6
Listă tabele	13
Listă notații	15
Cap. 1 STADIUL ACTUAL PRIVIND REALIZARILE DIN DOMENIUL MICROTURBINELOR AXIAL-TUBULARE ȘI ALTERNATIVE	16
1.1 Generalități	16
1.2 Surse de energie regenerabilă	18
1.3 Energia hidraulică. Scurt istoric al mașinilor hidraulice.	19
1.4 Realizări privind turbinele hidraulice din România	24
1.5 Cercetări teoretice și experimentale actuale pe microturbine	24
Cap. 2 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	35
Cap. 3 PROIECTAREA HIDRODINAMICĂ A VARIANTELOR DE ROTOARE ALE MICROTURBINEI	36
3.1 Simularea curgerii prin traseul microturbinei	36
3.2 Algoritmul de proiectare hidrodinamică a ratoarelor	48
3.3 Proiectarea hidrodinamică a rotorului R4	51
3.4 Proiectarea hidrodinamică a rotorului R6	73
3.5 Proiectarea hidrodinamică a rotorului R8	95
3.6 Concluzii	117
Cap. 4 DESCRIERE CONSTRUCTIV FUNCȚIONALĂ A COMPONELELOR MICROTURBINEI	118
4.1 Introducere	118
4.2 Ansamblu microturbină	118
4.3 Statorul generatorului	124
4.4 Rotorul magnetic	125
4.5 Rotorul axial și rotorul magnetic	127
4.6 Modificarea soluției constructive – varianta 1	127
4.7 Modificarea soluției constructive – varianta 2	128
4.8 Concluzii	130
Cap. 5 PROTOTIPAREA RAPIDĂ A COMPONELELOR MICROTURBINEI	131
6.1 Introducere	131
6.2 Tehnologia și echipamentul de prototipare rapidă	131
6.3 Prototiparea rapidă a rotorului R8	134
6.4 Prototiparea rapidă a ratoarelor R4 și R6	136
6.5 Prototiparea rapidă a aparatului director	138
6.5 Concluzii	138
Cap. 6 CERCETARI EXPERIMENTALE PE MICROTURBINA AXIALĂ ȘI ANALIZA REZULTATELOR	140

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

6.1 Cercetări experimentale preliminare pe rotorul magnetic	140
6.1.1 Încercări preliminare pe un alternator echipat cu magneți permanenți	140
6.1.2 Încercări preliminare pe un generator echipat cu rotor magnetic	141
6.2 Cercetări experimentale pe microturbina axial-tubulară	144
6.3 Descrierea metodologiei de măsură și a relațiilor de calcul	147
6.4 Rezultate experimentale	147
6.5 Concluzii	151
Cap. 7 CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.	152
DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR	
7.1 Concluzii finale și contribuții personale	152
7.2 Direcții viitoare de cercetare	154
7.3 Diseminarea rezultatelor	154
BIBLIOGRAFIE	156
ANEXĂ – ansamblul microturbinei, în format A3 color	164

LISTĂ FIGURI

Figura	Denumire	Pag.
1.1	Resursele naturale prin intermediul cărora se poate obține energia electrică	16
1.2	Producerea de energie electrică în România în anul 2008 respectiv 2011	17
1.3	Roata cu făcăie	20
1.4	Schema de principiu a unei amenajări hidroenergetice	21
1.5	Energia produsă în anul 2008	22
1.6	Energia produsă în anul 2009	22
1.7	Energia produsă în anul 2010	23
1.8	Energia produsă în anii 2008 - 2010	23
1.9	Reprezentarea schematică a turbinei model	25
1.10	Modele de turbină și locația funcționării acestora	25
1.11	Modelul turbinei de curenți oceanici	26
1.12	Geometria inițială și finală a turbinei Tidal	26
1.13	Instalația experimentală cu mini-pompă centrifugală (imagine preluată după [40] și prelucrată)	27
1.14	Rotorul cu palete divizate	27
1.15	Construcția unei turbine în miniatură	27
1.16	Aparatul hidrocinetic „Hidropólio®” pentru generarea electricității	28
1.17	Schița turbinei hidrocinetică „Poraque” și imaginea rotorului	28
1.18	Rotorul turbinei	29
1.19	Domeniul de simulare	29
1.20	Modelul a 10 mini-unități de turbine	29
1.21	Instalația experimentală a pompei centrifuge	30
1.22	Forma constructivă a mini-turbo pompei	30
1.23	Forme ale rotorului mini-turbo pompei	30
1.24	Modelul geometriei paletelor rotorului	31
1.25	Discretizare în elemente finite a paletelor rotorului și a domeniului rotorului	31
1.26	Cele 4 forme diferite combinate ale rotoarelor cu paletele în spirală	32
1.27	Stand experimental cu „Stefan Propulsor Emotor”	32
1.28	Microturbina de tip axial prezentată de autor la conferința internațională Think-Hydro.com	34
3.1	Traseul hidraulic al miniturbinei utilizat în simularea numerică a curgerii	36
3.2	Domeniul de analiză și simularea numerică a curgerii	39
3.3	Condițiile de frontieră pentru simularea numerică a curgerii	39
3.4	Fereastra Solver Monitor	40
3.5	Divizarea inițială a domeniului de analiză (Basic Mesh)	41
3.6	Secțiune prin planul XY al discretizării 3D	41
3.7	Liniile de curgere prin domeniul de analiză al miniturbinei	42
3.8	Distribuția vitezei Vx pe domeniul de analiză pentru varianta R4	43
3.9	Distribuția vitezei Vx pe domeniul de analiză pentru varianta R6	43
3.10	Distribuția vitezei Vx pe domeniul de analiză pentru varianta R8	43
3.11	Puncte de preluare ale parametrilor în zona rotorului	44
3.12	Variația vitezelor în zona rotorului R4	47

Figura	Denumire	Pag.
3.13	Variația presiunilor în zona rotorului R4	47
3.14	Variația vitezelor în zona rotorului R6	47
3.15	Variația presiunilor în zona rotorului R6	47
3.16	Variația vitezelor în zona rotorului R8	47
3.17	Variația presiunilor în zona rotorului R8	47
3.18	Elemente asimptotice la intrare și ieșire din rotor	49
3.19	Variația vitezei meridiane funcție de razele de calcul pentru rotorul R4	52
3.20	Variația pasului relativ și a unghiului de incidență funcție de razele de calcul pentru rotorul R4	53
3.21	Variația poziției săgeții, grosimii și a grosimii funcție de razele de calcul pentru rotorul R4	53
3.22	Variația randamentului hidraulic și a coeficientului de postrotație funcție de razele de calcul pentru rotorul R4	53
3.23	Variația coeficientului de portanță și a săgeții relative funcție de razele de calcul pentru rotorul R4	54
3.24	Variația vitezelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R4	54
3.25	Variația unghuiurilor funcție de razele de calcul pentru rotorul R4	54
3.26	Variația lungimii profilelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R4	55
3.27	Profilul și scheletul secțiunii 1 pentru rotorul R4	59
3.28	Profilul și scheletul secțiunii 2 pentru rotorul R4	59
3.29	Profilul și scheletul secțiunii 3 pentru rotorul R4	59
3.30	Profilul și scheletul secțiunii 4 pentru rotorul R4	59
3.31	Profilul și scheletul secțiunii 5 pentru rotorul R4	59
3.32	Profilul și scheletul secțiunii 6 pentru rotorul R4	59
3.33	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R4	66
3.34	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R4	66
3.35	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R4	66
3.36	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R4	66
3.37	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R4	66
3.38	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R4	66
3.39	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R4	67
3.40	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R4	67
3.41	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R4	67
3.42	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R4	67
3.43	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R4	67
3.44	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R4	67
3.45	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R4	68
3.46	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R4	68
3.47	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R4	68
3.48	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R4	68
3.49	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R4	68
3.50	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R4	68
3.51	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R4	69
3.52	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R4	69
3.53	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R4	69

Figura	Denumire	Pag.
3.54	Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R4	69
3.55	Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R4	69
3.56	Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R4	69
3.57	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R4	70
3.58	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R4	70
3.59	Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R4	70
3.60	Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R4	70
3.61	Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R4	70
3.62	Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R4	70
3.63	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R4	71
3.64	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R4	71
3.65	Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R4	71
3.66	Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R4	71
3.67	Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R4	71
3.68	Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R4	71
3.69	Vedere 3D a rotorului R4	72
3.70	Profile 3D rotor R4	72
3.71	Intersecție rotor R4 cu plane radiale	72
3.72	Intersecție rotor R4 cu plane de nivel – Vedere Front	72
3.73	Intersecție rotor R4 cu plane de nivel – Vedere Top	72
3.74	Intersecție rotor R4 cu plane de nivel – Vedere Izometrică	72
3.75	Variația vitezei meridiane funcție de razele de calcul pentru rotorul R6	74
3.76	Variația pasului relativ și a unghiului de incidentă funcție de razele de calcul pentru rotorul R6	75
3.77	Variația poziției săgeții, grosimii și a grosimii funcție de razele de calcul pentru rotorul R6	75
3.78	Variația randamentului hidraulic și a coeficientului de postrotatăie funcție de razele de calcul pentru rotorul R6	75
3.79	Variația coeficientului de portanță și a săgeții relative funcție de razele de calcul pentru rotorul R6	76
3.80	Variația vitezelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R6	76
3.81	Variația unghuiurilor funcție de razele de calcul pentru rotorul R6	76
3.82	Variația lungimii profilelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R6	77
3.83	Profilul și scheletul secțiunii 1 pentru rotorul R6	81
3.84	Profilul și scheletul secțiunii 2 pentru rotorul R6	81
3.85	Profilul și scheletul secțiunii 3 pentru rotorul R6	81
3.86	Profilul și scheletul secțiunii 4 pentru rotorul R6	81
3.87	Profilul și scheletul secțiunii 5 pentru rotorul R6	81
3.88	Profilul și scheletul secțiunii 6 pentru rotorul R6	81
3.89	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R6	88
3.90	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R6	88
3.91	Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R6	88
3.92	Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R6	88
3.93	Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R6	88
3.94	Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R6	88

Figura	Denumire	Pag.
3.95	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R6	89
3.96	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R6	89
3.97	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R6	89
3.98	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R6	89
3.99	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R6	89
3.100	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R6	89
3.101	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R6	90
3.102	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R6	90
3.103	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R6	90
3.104	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R6	90
3.105	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R6	90
3.106	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R6	90
3.107	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R6	91
3.108	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R6	91
3.109	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R6	91
3.110	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R6	91
3.111	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R6	91
3.112	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R6	91
3.113	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R6	92
3.114	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R6	92
3.115	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R6	92
3.116	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R6	92
3.117	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R6	92
3.118	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R6	92
3.119	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R6	93
3.120	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R6	93
3.121	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R6	93
3.122	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R6	93
3.123	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R6	93
3.124	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R6	93
3.125	Vedere 3D a rotorului R6	94
3.126	Profile 3D rotor R6	94
3.127	Intersecție rotor R6 cu plane radiale	94
3.128	Intersecție rotor R6 cu plane de nivel – Vedere Front	94
3.129	Intersecție rotor R6 cu plane de nivel – Vedere Top	94
3.130	Intersecție rotor R6 cu plane de nivel – Vedere Izometrică	94
3.131	Variația vitezei meridiane funcție de razele de calcul pentru rotorul R8	96
3.132	Variația pasului relativ și a unghiului de incidență funcție de razele de calcul pentru rotorul R8	97
3.133	Variația poziției săgeții, grosimii și a grosimii funcție de razele de calcul pentru rotorul R8	97
3.134	Variația randamentului hidraulic și a coeficientului de postrotație funcție de razele de calcul pentru rotorul R8	97
3.135	Variația coeficientului de portanță și a săgeții relative funcție de razele de calcul pentru rotorul R8	98

Figura	Denumire	Pag.
3.136	Variația vitezelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R8	98
3.137	Variația unghiurilor funcție de razele de calcul pentru rotorul R8	98
3.138	Variația lungimii profilelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R8	99
3.139	Profilul și scheletul secțiunii 1 pentru rotorul R8	103
3.140	Profilul și scheletul secțiunii 2 pentru rotorul R8	103
3.141	Profilul și scheletul secțiunii 3 pentru rotorul R8	103
3.142	Profilul și scheletul secțiunii 4 pentru rotorul R8	103
3.143	Profilul și scheletul secțiunii 5 pentru rotorul R8	103
3.144	Profilul și scheletul secțiunii 6 pentru rotorul R8	103
3.145	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R8	110
3.146	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R8	110
3.147	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R8	110
3.148	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R8	110
3.149	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R8	110
3.150	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R8	110
3.151	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R8	111
3.152	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R8	111
3.153	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R8	111
3.154	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R8	111
3.155	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R8	111
3.156	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R8	111
3.157	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R8	112
3.158	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R8	112
3.159	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R8	112
3.160	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R8	112
3.161	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R8	112
3.162	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R8	112
3.163	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R8	113
3.164	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R8	113
3.165	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R8	113
3.166	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R8	113
3.167	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R8	113
3.168	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R8	113
3.169	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R8	114
3.170	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R8	114
3.171	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R8	114
3.172	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R8	114
3.173	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R8	114
3.174	Variația $Cp=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R8	114
3.175	Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R8	115
3.176	Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R8	115
3.177	Variația $Vt=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R8	115
3.178	Variația $Cp=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R8	115
3.179	Variația $Vt=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R8	115

Figura	Denumire	Pag.
3.180	Variația Cp=f(X) Secțiunea 6 / rotorul R8	115
3.181	Vedere 3D a rotorului R8	116
3.182	Profile 3D rotor R8	116
3.183	Intersecție rotor R8 cu plane radiale	116
3.184	Intersecție rotor R8 cu plane de nivel – Vedere Front	116
3.185	Intersecție rotor R8 cu plane de nivel – Vedere Top	116
3.186	Intersecție rotor R8 cu plane de nivel – Vedere Izometrică	116
4.1	Ansamblu microturbină	118
4.2	Ansamblu explodat al microturbinei	119
4.3	Carcasă amonte	120
4.4	Capac stator	120
4.5	Stator turbină	121
4.6	Aparat director	121
4.7	Arbore turbină	122
4.8	Variante de rotoare axiale	122
4.9	Geometrie rotor axial	122
4.10	Tub aspirație	123
4.11	Carcasa aval	123
4.12	Stator generator	124
4.13	Dimensiuni stator generator	124
4.14	Componente ansamblu stator generator	124
4.15	Dimensiuni ansamblu stator generator	124
4.16	Umplere stator generator cu rășină	125
4.17	Stator generator în stare finală	125
4.18	Rotor magnetic	126
4.19	Dimensiuni rotor magnetic	126
4.20	Inel cu decupări	126
4.21	Magneți Neodim	126
4.22	Rotor magnetic	126
4.23	Asamblare rotor magnetic cu rotor axial	127
4.24	Rotorul axial și rotorul magnetic în stare asamblată	127
4.25	Bucșă centrală fixată într-un disc cu 4 nervuri, plasat în decuparea de la intrarea în tubul de aspirație	128
4.26	Ansamblul microturbină după prima modificare a soluției constructive	128
4.27	Ansamblul microturbină după a 2-a modificare a soluției constructive	129
4.28	Ansamblul microturbină axial-tubulară	129
5.1	Imprimanta 3D Objet 30 Desktop	134
5.2	Tehnologia PolyJet	134
5.3	WaterJet System Objet	134
5.4	Geometrie rotor R8 în format STL	135
5.5	Dispunerea rotorului R8 pe tava de imprimare	135
5.6	Rotorul R8 în stare finală	135
5.7	Geometrie rotor R4 în format STL	136
5.8	Geometrie rotor R6 în format STL	136
5.9	Dispunerea rotoarelor R4 & R6 pe tava de imprimare în aplicația Objet Studio™	137

Figura	Denumire	Pag.
5.10	Dispunerea rotoarelor R4 & R6 pe tava de imprimare	137
5.11	Rotoarele R4 & R6 în stare finală	137
5.12	Geometrie aparat director în format STL	138
5.13	Dispunerea aparatului director pe tava de imprimare în aplicația Objet Studio™	138
5.14	Stagiul intermediar de imprimare 3D a aparatului director	139
5.15	Aparat director – vedere laterală 1	139
5.16	Aparat director – vedere laterală 2	139
5.17	Aparat director – vedere de sus	139
6.1	Alternatorul în stare demontată	140
6.2	Magneți permanenți montați pe polii rotorului alternatorului	141
6.3	Încadrare în stand a alternatorului echipat cu magneți permanenți	141
6.4	Rotorul inițial al generatorului	141
6.5	Rotorul magnetic fixat pe periferia rotorului inițial al generatorului	141
6.6	Încadrarea în stand a generatorului echipat cu rotorul magnetic	142
6.7	Baterie de becuri	142
6.8	Schema standului de măsură	142
6.9	Variația tensiunii de linie funcție de turăție la mers în gol	143
6.10	Variația tensiunii de linie funcție de turăție la diferite sarcini	143
6.11	Variația tensiunii de linie funcție de puterea de linie la diferite turății	144
6.12	Variația puterii de linie funcție de turăție la diferite sarcini	144
6.13	Schema standului de măsură a microtubinei axial-tubulare	145
6.14	Debitmetru ultrasonic	145
6.15	Tahometru	146
6.16	Manometru	146
6.17	Voltmetru	146
6.18	Ampermetru	146
6.19	Conductă aducționă	146
6.20	Vană de reglare	146
6.21	Încadrare turbină axial-tubulară în stand	146
6.22	Curbele $P_{abs}=f(H)$ și $P_u=f(H)$ pentru rotorul R4	148
6.23	Curba $Q_s=f(H)$ pentru rotorul R4	148
6.24	Curba $I=f(H)$ pentru rotorul R4	148
6.25	Curba $\eta_{T+G}=f(H)$ pentru rotorul R4	148
6.26	Curbele $P_{abs}=f(H)$ și $P_u=f(H)$ pentru rotorul R6	149
6.27	Curba $Q_s=f(H)$ pentru rotorul R6	149
6.28	Curba $I=f(H)$ pentru rotorul R6	149
6.29	Curba $\eta_{T+G}=f(H)$ pentru rotorul R6	149
6.30	Curbele $P_{abs}=f(H)$ și $P_u=f(H)$ pentru rotorul R8	150
6.31	Curba $Q_s=f(H)$ pentru rotorul R8	150
6.32	Curba $I=f(H)$ pentru rotorul R8	150
6.33	Curba $\eta_{T+G}=f(H)$ pentru rotorul R8	150

LISTĂ TABELE

Tabel	Denumire	Pag.
1.1	Cercetări privind sursele regenerabile de energie (SRE)	18
1.2	Puterea obținute pentru cele 4 tipuri de rotoare cu paletele în spirală	32
1.3	Variante de microturbine	33
3.1	Parametrii principali ai proiectelor de simulare a curgerii	38
3.2	Parametrii preluati din studiu de simulare a curgerii pentru rotorul R4	45
3.3	Parametrii preluati din studiu de simulare a curgerii pentru rotorul R6	45
3.4	Parametrii preluati din studiu de simulare a curgerii pentru rotorul R8	46
3.5	Date de intrare constante și variabile funcție de rază pentru proiectarea paletelor rotorice	50
3.6	Date de proiectare rotor R4	51
3.7	Date de proiectare rotor R4 variabile funcție de rază	51
3.8	Mărimi constante calculate pentru rotorul rotor R4	55
3.9	Elemente asimptotice calculate pentru rotorul R4 variabile funcție de rază	55
3.10	Coordonatele profilului secțiunea 1 pentru rotorul R4	56
3.11	Coordonatele profilului secțiunea 2 pentru rotorul R4	56
3.12	Coordonatele profilului secțiunea 3 pentru rotorul R4	57
3.13	Coordonatele profilului secțiunea 4 pentru rotorul R4	57
3.14	Coordonatele profilului secțiunea 5 pentru rotorul R4	58
3.15	Coordonatele profilului secțiunea 6 pentru rotorul R4	58
3.16	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 1 rotorul R4	60
3.17	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 2 rotorul R4	61
3.18	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 3 rotorul R4	62
3.19	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 4 rotorul R4	63
3.20	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 5 rotorul R4	64
3.21	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 6 rotorul R4	65
3.22	Date de proiectare rotor R6	73
3.23	Date de proiectare rotor R6 variabile funcție de rază	73
3.24	Mărimi constante calculate pentru rotorul rotor R6	77
3.25	Elemente asimptotice calculate pentru rotorul R6 variabile funcție de rază	77
3.26	Coordonatele profilului secțiunea 1 pentru rotorul R6	78
3.27	Coordonatele profilului secțiunea 2 pentru rotorul R6	78
3.28	Coordonatele profilului secțiunea 3 pentru rotorul R6	79
3.29	Coordonatele profilului secțiunea 4 pentru rotorul R6	79
3.30	Coordonatele profilului secțiunea 5 pentru rotorul R6	80

Tabel	Denumire	Pag.
3.31	Coordonatele profilului secțiunea 6 pentru rotorul R6	80
3.32	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 1 rotorul R6	82
3.33	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 2 rotorul R6	83
3.34	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 3 rotorul R6	84
3.35	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 4 rotorul R6	85
3.36	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 5 rotorul R6	86
3.37	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 6 rotorul R6	87
3.38	Date de proiectare rotor R8	95
3.39	Date de proiectare rotor R8 variabile funcție de rază	95
3.40	Mărimi constante calculate pentru rotorul rotor R8	99
3.41	Elemente asimptotice calculate pentru rotorul R8 variabile funcție de rază	99
3.42	Coordonatele profilului secțiunea 1 pentru rotorul R8	100
3.43	Coordonatele profilului secțiunea 2 pentru rotorul R8	100
3.44	Coordonatele profilului secțiunea 3 pentru rotorul R8	101
3.45	Coordonatele profilului secțiunea 4 pentru rotorul R8	101
3.46	Coordonatele profilului secțiunea 5 pentru rotorul R8	102
3.47	Coordonatele profilului secțiunea 6 pentru rotorul R8	102
3.48	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 1 rotorul R8	104
3.49	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 2 rotorul R8	105
3.50	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 3 rotorul R8	106
3.51	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 4 rotorul R8	107
3.52	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 5 rotorul R8	108
3.53	Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 6 rotorul R8	109
5.1	Parametrii de imprimare rotor R8	134
5.2	Proprietăți material Objet VeroBlack FullCure 870	135
5.3	Parametrii de imprimare ai rotoarelor R4 și R6	136
5.4	Proprietăți material Objet DurusWhite FullCure430	136
5.5	Parametrii de imprimare aparat director	138
6.1	Rezultate măsurători pe generatorul echipat cu rotorul magnetic	143
6.2	Mărimi măsurate pe microturbină axial-tubulară echipată cu rotorul R4	148
6.3	Mărimi măsurate pe microturbină axial-tubulară echipată cu rotorul R6	149
6.4	Mărimi măsurate pe microturbină axial-tubulară echipată cu rotorul R8	150
7.1	Realizări și contribuții obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza	153

LISTĂ NOTAȚII

Notație	Denumire
V_{our}	proiecția vitezei absolute la intrare în rotor pe direcția vitezei de transport
V_{3ur}	proiecția vitezei absolute la ieșire din rotor pe direcția vitezei de transport
V_{3r}	viteza absolută la intrare în rotor
V_{0r}	viteza absolută la ieșire din rotor
W_{0ur}	proiecția vitezei relative la intrare în rotor pe direcția vitezei de transport
W_{3ur}	proiecția vitezei relative la ieșire din rotor pe direcția vitezei de transport
W_{0r}	viteza relativă la intrare în rotor
W_{3r}	viteza relativă la ieșire din rotor
V_{mr}	viteza meridiană la raza „r”
U_r	viteza tangențială la raza „r”
α_o	unghiul dintre viteza absolută și cea de transport la intrarea din rotor
α_3	unghiul dintre viteza absolută și cea de transport la ieșire din rotor
β_o	unghiul dintre viteza relativă și cea de transport la intrarea din rotor
β_3	unghiul dintre viteza relativă și cea de transport la ieșire din rotor
λ_r	unghiul de instalare al rețelei de profile
α_∞	unghiul de incidență al curentului
k_r	coeficientul de postrotatie la ieșire din rotor
η_h	randamentul hidraulic
n_{11}	turația unitară
Q_{11}	debit unitar
H	cădere de calcul
D	diametru rotor
v	diametru relativ butuc
Z_R	număr palete rotor

Cap. 1 STADIUL ACTUAL PRIVIND REALIZĂRILE DIN DOMENIUL MICROTURBINELOR DE TIP AXIAL-TUBULARĂ ȘI ALTERNATIVE

1.1 Generalități

La nivel mondial, pentru producerea de bunuri și servicii, pentru funcționarea unei întreprinderi (firme), pentru funcționarea unei mașini (de lucru) sau pentru iluminat este nevoie de energie electrică sau de curentul electric.

Producerea energiei electrice prin metode clasice și neconvenționale are loc în centrale termoelectrice, nucleare-electrice, geotermoelectrice, helioelectrice și hidroelectrice respectiv în convertoare termoelectrice, termoionice, electrochimice, magnetohidrodinamice și fotovoltaice [33], [7], [47] prin intermediul cărora energia electrică este condusă la rețelele electrice [58], [65], [78], [79].

În figura 1.1 se prezintă după [17], resursele naturale prin intermediul cărora se poate obține energia electrică în tipurile de centrale descrise anterior.

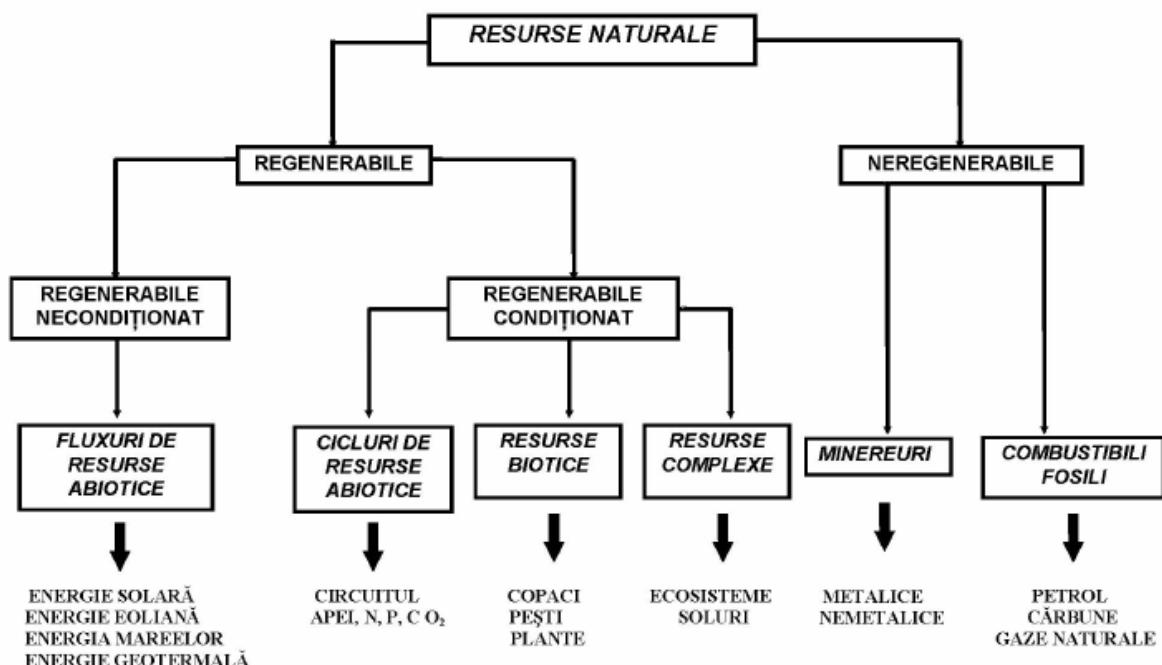


Fig. 1.1 Resursele naturale prin intermediul cărora se poate obține energia electrică

Sursele cele mai importante de energie regenerabilă, conform figurii 1.1 cât și modurile de valorificarea al acestora în scopul producerii energiei electrice [59], [76], [45], [46] se enumără în continuare, după cum urmează:

- Hidroenergia (energia apei - râurilor) valorificată prin hidrocentrale;
- Energia geotermală, valorificată prin centralele geotermice;

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

- c) Energia solară, valorificată prin convertoare fotovoltaice;
- d) Energia eoliană, valorificată prin captatoarele eoliene (turbine de vânt);
- e) Energia oceanului planetar, care presupune energia mareelor, energia valurilor, energia curenților oceanici și energia termică a mărilor și oceanelor. De specificat este faptul că mările și oceanele ocupă 71% din suprafața totală a pământului.

În țara noastră, spre exemplu, **Centrala Nuclearo-Electrică (CNE) Cernavodă**, care produce electricitate și energie electrică, conform [95], a avut o producție brută a aneriei electrice de 11223 [GWh] din totalul de 64761 [GWh] pentru anul 2008, iar în anul 2011, conform [96] producerea de energie electrică a fost de 61931 [GWh]. Aceste informații sunt prezentate și sub formă de grafic în figura 1.2.

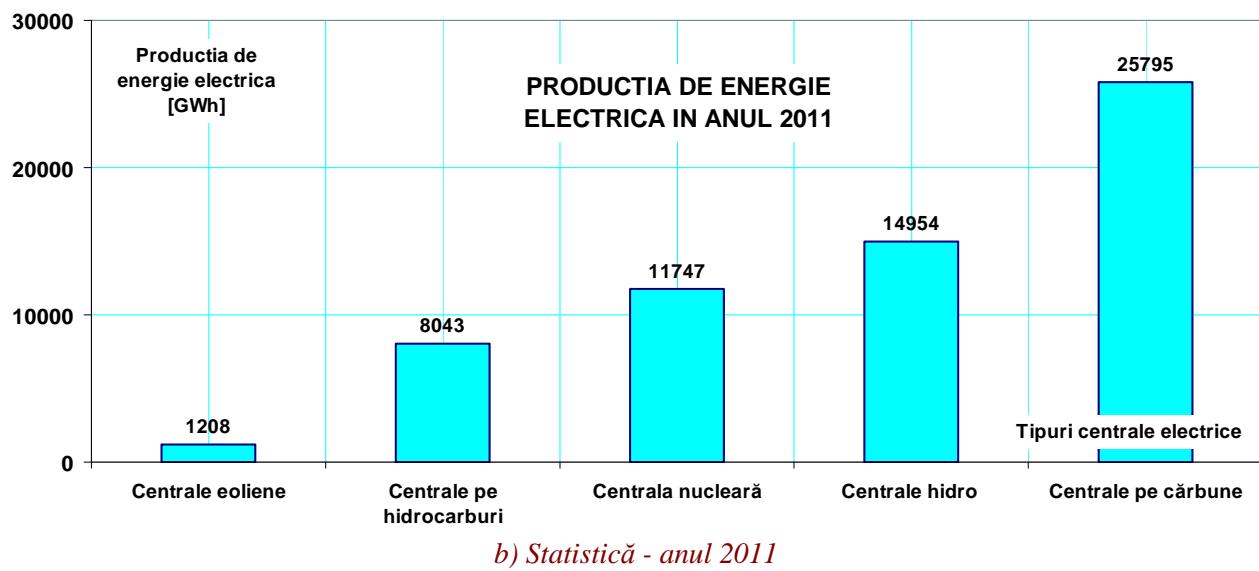
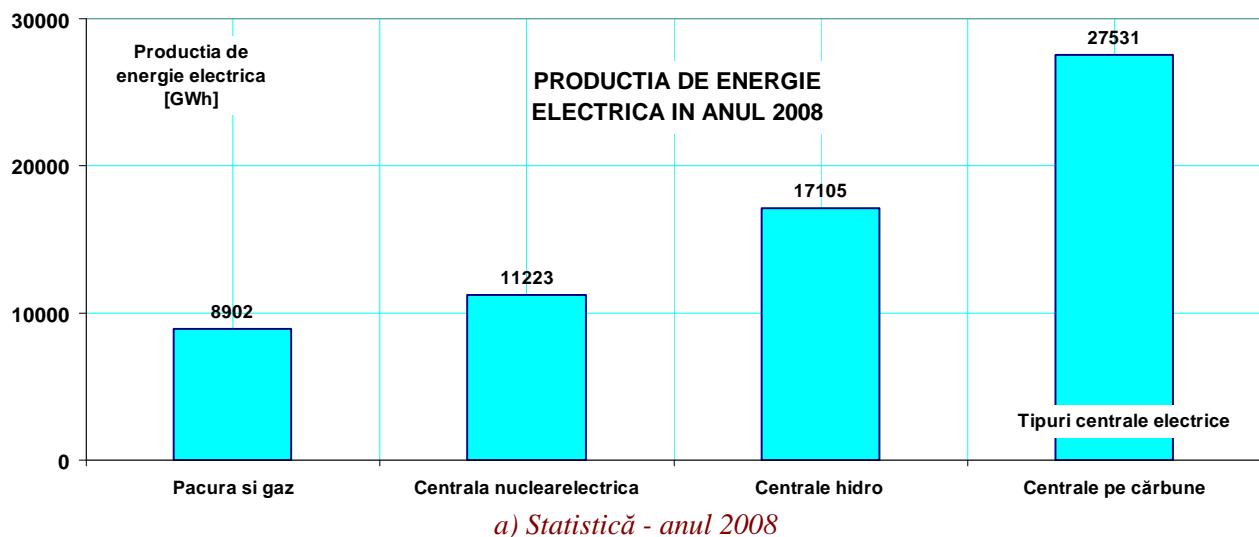


Fig. 1.2 Producerea de energie electrică în România în anul 2008 respectiv 2011

1.2 Surse de energie regenerabilă

Conform autorului din referința [11], „*energia regenerabilă se referă la forme de energie produse prin transferul energetic al energiei rezultate din procese naturale regenerabile*”.

În **tabelul 1.1** sunt centralizate informații actuale și cercetări privind sursele regenerabile de energie (SRE) pe diferite domenii:

Cercetări privind sursele regenerabile de energie (SRE)

Tabel 1.1

Domeniul de energie	Informații și cercetări actuale
Energia nucleară	<p>Prima centrală nuclearoelectrică a intrat în funcțiune în anul 1950. Cea mai veche centrală nucleară din Marea Britanie a fost închisă și urmează să fie înlocuită din 2025 de o unitate nouă de aproape 6 ori mai puternică [97], iar prima centrală nucleară plutitoare va fi inaugurată în 2016 [88]. Astăzi există peste 440 centrale nucleare, care produc aproximativ 16% din necesarul de energie electrică al planetei [104].</p>
Energia vântului (eoliană)	<p>Conform articolului [21], unele din principalele avantaje ale energiei eoliene sunt:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) nu generează gaze cu efect de seră; b) nu consumă combustibil fosil; c) este larg răspândită geografic. <p>Când primele turbine de vânt au fost instalate, costul energiei electrice era 30 de centi pe [kWh], iar în prezent a ajuns la 5 centi pe [kWh] [37], [48].</p> <p>România are cel mai mare potențial pentru energia eoliană din Europa Centrală și de Est, mai ales în zona Deltei Dunării, Litoralul Mării Negre și zona Semenicului (Banat) [8].</p> <p>În zona orașului Anina (Caraș-Severin), însă, autorii articolului [36] au evaluat potențialul demarării unei investiții în domeniul energiei eoliene și au ajuns la concluzia că acest loc nu este potrivit unei investiții în generatoare eoliene.</p> <p>Turbinele de vânt actuale, au o eficiență maximă situată în jurul valorii de 45% în ce privește randamentul acestora [19].</p>
Energia solară	<p>Despre sursa de energie solară sau radiația solară în contextul actual, se poate spune că aceasta își lărgește sfera utilizărilor energetice, paralel cu perfecționarea tehniciilor de captare a sa [76].</p> <p>Acest tip de energie poate fi convertit în energie termică pentru producerea apei calde și a climatizării locuințelor [44].</p> <p>Autorul articolului [20] afirmă: „<i>deși costurile de investiții pentru realizarea instalațiilor solare sunt relativ mari, acestea se recuperă în timp, având o durată de viață cuprinsă între 10÷25 de ani și costuri de întreținere reduse</i>”.</p>
Energia geotermală	<p>Principalele zăcăminte geotermale din România sunt în Câmpia de Vest și în partea de nord-vest în special în localitățile: Satu Mare, Marghita și Salonta. Acestea reprezintă o soluție viabilă pentru protecția mediului înconjurător și pentru siguranța în alimentarea cu energie [34].</p>
Energia valurilor	<p>Autorii referinței [70] afirmă că: „<i>valurile marine sunt rezultatul combinației dintre acțiunea vânturilor, a gravitației și a tensiunii superficiale de la suprafața mării</i>” și consideră că energia valurilor este</p>

Cercetări privind sursele regenerabile de energie (SRE)

Tabel 1.1

	<p>insuficientă exploatață, atât pe plan mondial cât și în Marea Neagră; potențialul energetic al valurilor fiind de 8×10^5 [TWh/an] pe plan mondial și de $2,4 \div 3$ [TWh/an] pentru Marea Neagră.</p> <p>Energia electrică obținută din valurile oceanului prin dispozitive plutitoare de captare a energiei valurilor, înzestrate cu componente care se mișcă datorită mișcării valurilor, poate fi produsă mai eficient și anume: prin prezicerea forței cu care vine un val; astfel dispozitivul de captare al energiei poate răspunde în concordanță, devenind mai productiv [98].</p>
Energia apei – râurilor	<p>Autorii referinței [64] afirmă că: „<i>exploatarea potențialului hidraulic economic amenajabil, indiferent de mărimea acestuia, este un deziderat care trebuie imperativ realizat, deoarece în acest mod se diminuează dezavantajele utilizării în scopuri energetice a combustibililor fosili</i>”.</p>

1.3 Energia hidraulică. Scurt istoric al mașinilor hidraulice.

Energia hidraulică sau energia apei (apa curgătoare) este o energie regenerabilă datorită circuitului continuu al apei în natură. Omul a învățat să folosească această energie a apei curgătoare de-a lungul timpului în special prin intermediul roții de apă [14].

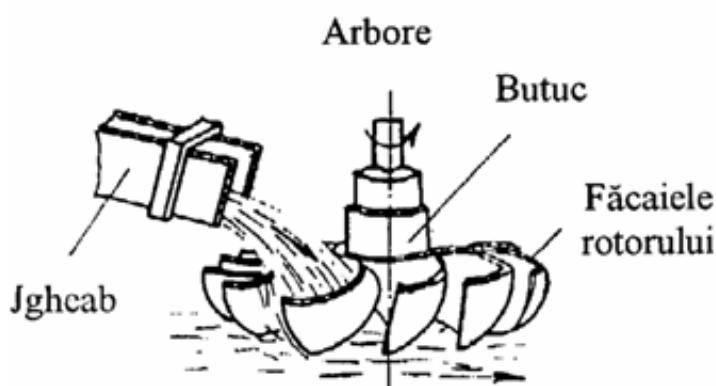
Prima mențiune despre utilizarea roților de apă apare în Egiptul antic, ele fiind utilizate la irigarea terenurilor agricole, ca elevatoare hidraulice [67]. Potențialul hidroenergetic se situează printre primele forme de energie exploatață, iar saltul major în exploatarea acestui potențial s-a făcut după descoperirea electricității [14].

Importanța energiei hidraulice, în zilele noastre, rezultă din faptul că dintre toate sursele reînnoibile de energie, aceasta este cea care se poate folosi cel mai ușor și cu eficiență maximă la utilizări pe scară industrială [15].

După autorii articolelor [67] se pot consemna următoarele informații:

- Arhimede a imaginat și construit un elevator hidraulic cu șurub;
- Tesibius este menționat ca inventator al seringii (pompa aspiro-respingătoare);
- Torricelli inventează pompa cu piston;
- Leonard Euler, în anul 1754, a fost primul care a formulat legile mașinilor hidraulice turbionare și a construit o pompă centrifugă;
- Ingineri și savanți precum Frederic Savage, Rateau, Bergeron, Neumann, Wagenbach, Reynolds, Fourneyron, Victor Kaplan, la nivel mondial, au inventat elicea navală, pompa axială, pompa centrifugă, mașinile hidraulice;
- Prof. Aurel Bărglăzan, acad. Ioan Anton, prof. Dorin Pavel și Mircea Cazacu și-au adus contribuții importante în domeniul turbinelor hidraulice în România.

În figura 1.3, se prezintă după [15] roata cu făcăie:



*Fig. 1.3
Roata
cu făcăie*

Mașinile hidraulice, conform articolului [3] „*sunt mașini de forță în care are loc transformarea energiei hidraulice în energie mecanică și invers*”. Turbina hidraulică, conform articolului [14] „*este un agregat ideal de conversie a energiei hidraulice în energie mecanică*” și „*hidroagregatul, obținut prin cuplarea turbinei cu un generator convertește direct energia hidraulică în energie electrică*”.

Turbinele hidraulice echipază hidrocentralele în vederea producerii de energie electrică, iar hidrocentralele fac parte din amenajările hidroenergetice. Conform articolului [59], o amenajare hidroenergetică poate conține o parte sau toate elementele de mai jos:

- a) Barajul frontal;
- b) Baraje laterale;
- c) Lac redresor;
- d) Lacul de acumulare;
- e) Nodul de presiune, care cuprinde:
 - galeria/canalul/conducta de aducție și castelul de echilibru.
- f) Casa vanelor;
- g) Conductele forțate;
- h) Centrala hidroelectrică, care cuprinde:
 - turbina și elementele sale auxiliare;
 - generatorul cu elementele sale auxiliare.
- i) Canalul de fugă;
- j) Transformatorul ridicător de tensiune;
- k) Stația de conexiuni.

Schema de principiu a unei hidrocentrale se prezintă în figura 1.4 (imagine preluată și prelucrată din referința bibliografică [66]).

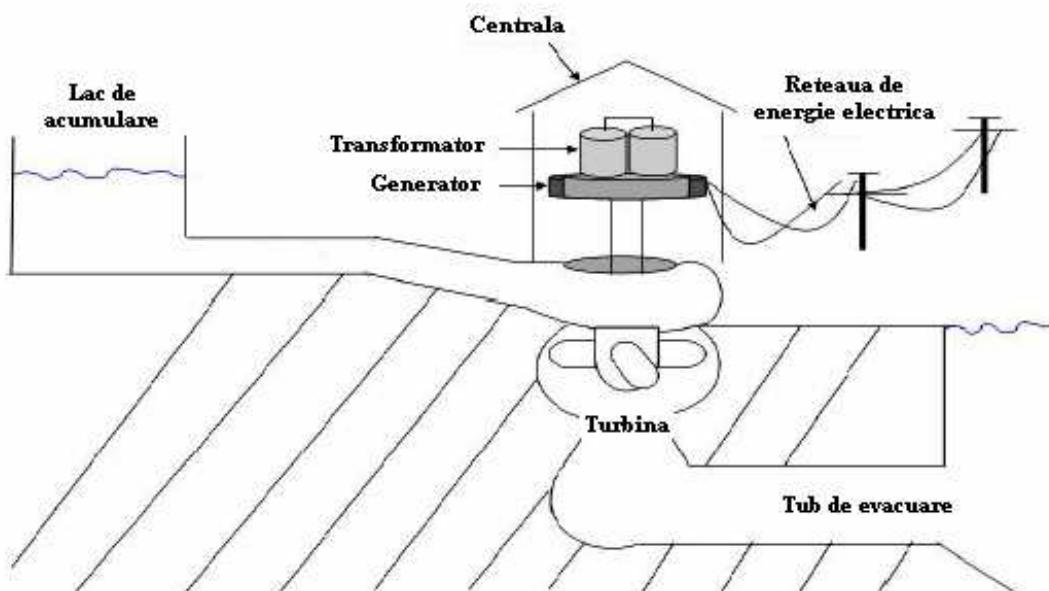


Fig. 1.4 Schema de principiu a unei amenajări hidroenergetice

Principalele tipuri de turbine hidraulice care sunt folosite în prezent în hidrocentrale sunt [4], [31], [71], [87], [89]: turbina Francis, Kaplan, Pelton și bulb.

Principalele componente și subansamble, rolurile hidrodinamice și mecanice ale acestora după [39], [16], [42] se prezintă în continuare:

A. Camerele spirale:

- distribuie uniform și pe direcții optime apă la intrare în stator;
- preiau o parte din greutatea turbinei și o transmit părților betonate.

B. Statorul:

- constituie principala piesă cu rol de rezistență a turbinei;
- asigură centrarea pieselor fixe ale turbinei.

C. Aparatul director:

- trimit apă pe direcții optime spre rotor;
- asigură o oprire rapidă a curgerii spre rotor în caz de avarie.

D. Rotoarele:

- transformă energia hidraulică a apei în lucru mecanic de rotație;
- cele cu palete reglabile asigură, împreună cu aparatul director, funcționarea cu regimuri de curgere cu randamente ridicate.

E. Tubul de aspirație:

- asigură recuperarea unei părți a energiei cinetice a apei de la ieșirea din turbină;
- conduce apa cu pierderi de sarcină minime spre canalul sau galeria de fugă.

După autorii referinței [43] este necesar ca turbinele să îndeplinească următoarele condiții:

- a) Să poată folosi orice căderi și debite de apă;
- b) Să funcționeze cu un randament cât mai ridicat;
- c) Să aibă turație maximă posibilă, în funcție de tipul de turbină;
- d) Accesul la mecanismele de reglare și la lagăre trebuie să fie ușor, în vederea efectuării reviziilor și reparațiilor necesare.

Conform referinței [96], [105], [23] S.C. Hidroelectrica S.A., produce energie electrică pentru România prin intermediul unui număr de 268 centrale, repartizate în 578 grupuri și 5 stații de pompare cu o putere totală instalată de 6438 [MW]. În România, S.C. Hidroelectrica S.A. înseamnă un număr de 13 sucursale mari. Funcție de energia produsă, sunt prezentate în **figurile 1.5÷1.8** sub formă de grafice, 12 din cele 13 sucursale, mai puțin sucursala Portile de Fier (PF 1+2).

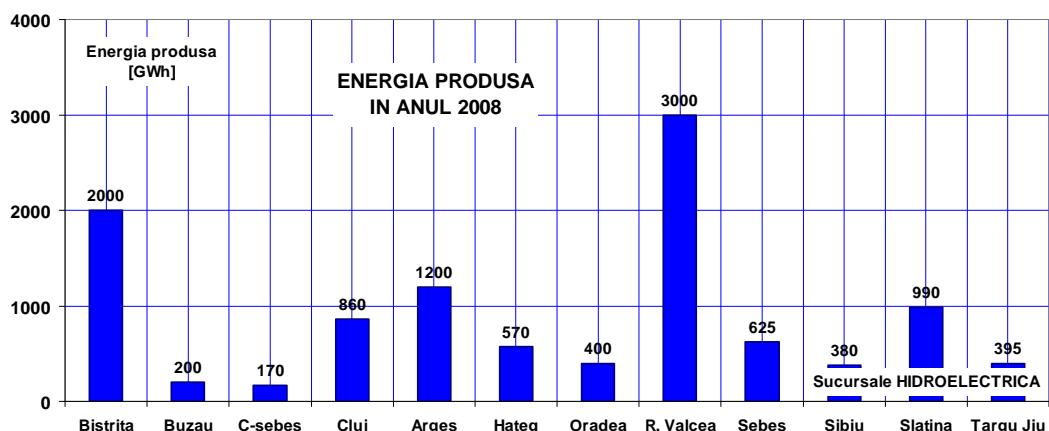


Fig. 1.5 Energia produsă în anul 2008

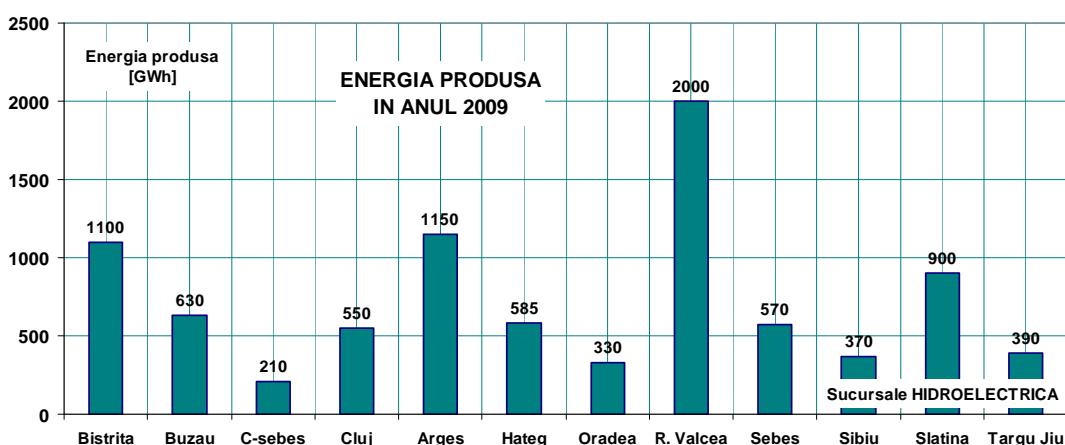


Fig. 1.6 Energia produsă în anul 2009

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

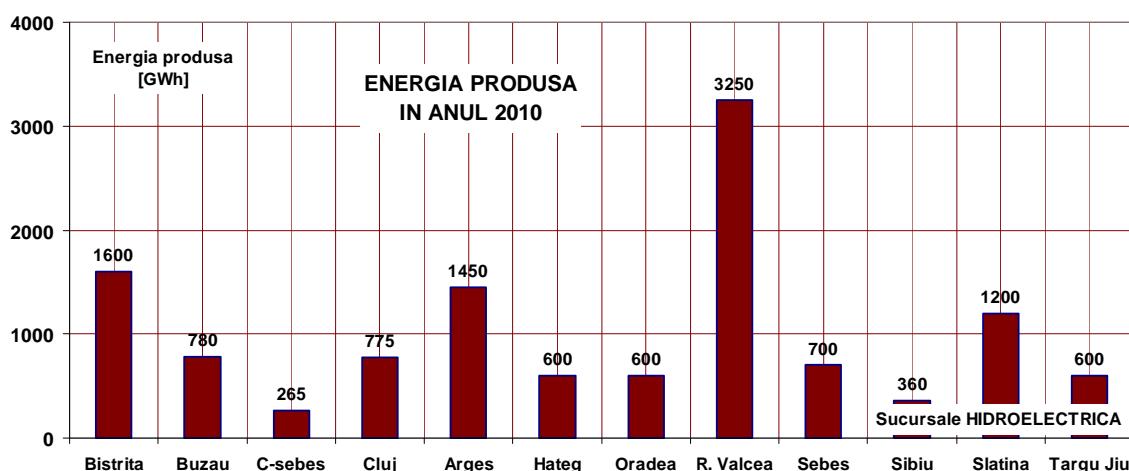


Fig. 1.7 Energia produsă în anul 2010

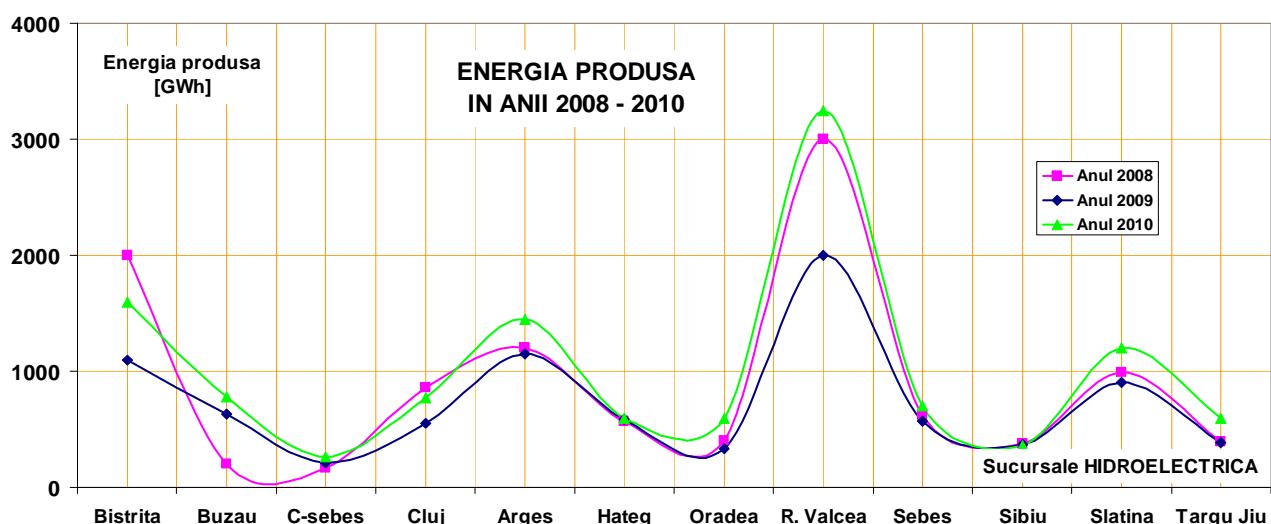


Fig. 1.8 Energia produsă în anii 2008 - 2010

Toate grupurile care funcționează în aceste hidrocentrale sunt echipate cu turbine Francis, Kaplan, Pelton și bulb.

Conform referinței [105], societatea a intrat în insolvență în vederea reorganizării, la 20 iunie 2012, administratorul judiciar desemnat fiind societatea EURO INSOL SPRL.

Cu o putere totală instalată de peste 6400 [MW], dar cu o producție de doar 11,8 [TWh] în 2012, din cauza unui deficitar din punct de vedere hidrologic, societatea vizează îmbunătățirea rapidă a indicatorilor economico-financiari în vederea ieșirii din insolvență.

La nivel internațional, Andritz Hydro, conform cu [102] este lider pe piață, în ce privește generarea de energie hidraulică și unul dintre furnizorii globali de sisteme electromecanice și servicii pentru centralele hidroelectrice.

1.4 Realizările privind turbinele hidraulice din România

În România, cercetările privind echipamentele hidraulice au fost făcute de către autori ai articolelor [56] pentru creșterea performanțelor energetice, [67] pentru pompe, [77] în ce privește sistemele și transmisiile hidraulice.

În vestul României se face cercetarea aplicativă și fundamentală în Universitatea „Politehnica” din Timișoara și prin „Centrul de Cercetări în Hidraulică, Automatizări și Procese Termice” (CCHAPT) din cadrul Universității „Eftimie Murgu” din Reșița, iar executarea de produse și servicii în domeniul turbinelor hidraulice (microturbine) se face prin U.C.M. Reșița și Hydro Engineering Reșița.

Astfel, în cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara, s-au făcut cercetări în ce privește:

- Turbinele și turbotransmisiile hidraulice [3];
- Mecanica fluidelor;
- Transmisii hidrodinamice;
- Hidraulică [22];
- Cavitație, turbine hidraulice, și.a. [9], [64], [72].

În cadrul „Centrului de Cercetări în Hidraulică, Automatizări și Procese Termice” (CCHAPT) – UEMR s-au făcut cercetări privind:

- Eroziunea cavitatională a materialelor [55];
- Turbine cu flux transversal [60], [61], [62];
- Determinarea parametrilor de funcționare și a stării tehnice a hidroagregatelor, calcule de rezistență și oboseală, determinarea de randamente [103], etc.

În cadrul U.C.M. Reșița [107] și a institutului Hydro Engineering se fac cercetări privind:

- Automatizări microhidrocentrale cu puteri sub 1 [MW] [2];
- Turbinele Francis orizontale [6];
- Microhidroaggregate axiale având generatoare cu magneți permanenți [10], [18], [86] și microhidroaggregate cu puteri până la 5 [kW] [35];
- Realizările generatoare și echipamente electrice [41], etc.

1.5 Cercetările teoretice și experimentale pe microturbine

Cercetările teoretice și experimentale pe microturbine sau chiar turbine mai puternice, care nu funcționează într-o hidrocentrală, de asemenea care sunt studiate, proiectate și realizate la nivel național și mondial în institute și centre de cercetare sau universități și care folosesc energia apelor pentru funcționarea lor, vor fi prezentate pe parcursul acestui subcapitol.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Autorii articolului [29] fac cercetări experimentale pe o minihidro-turbină bulb privind aparatul director al acestei instalații experimentale. În figura 1.9 se prezintă schema acestei mini-turbine preluată și prelucrată conform cu [29].

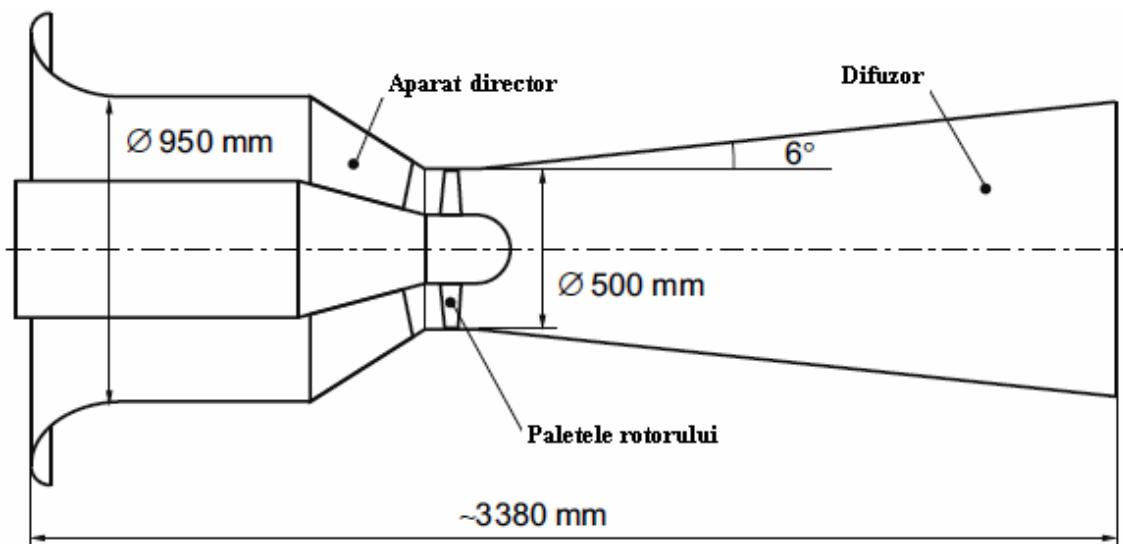


Fig. 1.9 Reprezentarea schematică a turbinei model

În figura 1.10, după [32] se prezintă imagini a unor turbine axial-verticale care sunt testate pentru a folosii energia curentilor mareiici.



Fig. 1.10 Modele de turbină și locația funcționării acestora

Acest tip de turbină (Achard Turbine) a fost proiectat și realizat pentru prima dată în anul 2001 la LEGI din Grenoble.

Autorii referinței bibliografice [38] studiază o turbină de curent oceanic care are o putere de ieșire de 47,34 [kW] la o viteză maximă a curentului oceanic de 6 [m/s]. Date constructive și functionale ale acestei turbine sunt enumerate mai jos:

- a) Turația maximă este de 120 [rpm];
 - b) Numărul de palete folosite este 3, cu o lungime a unei palete de 3600 [mm];
 - c) Diametrul rotorului este de 1360 [mm].

În figura 1.11 se prezintă modelul acestei turbine în 2 vederi:

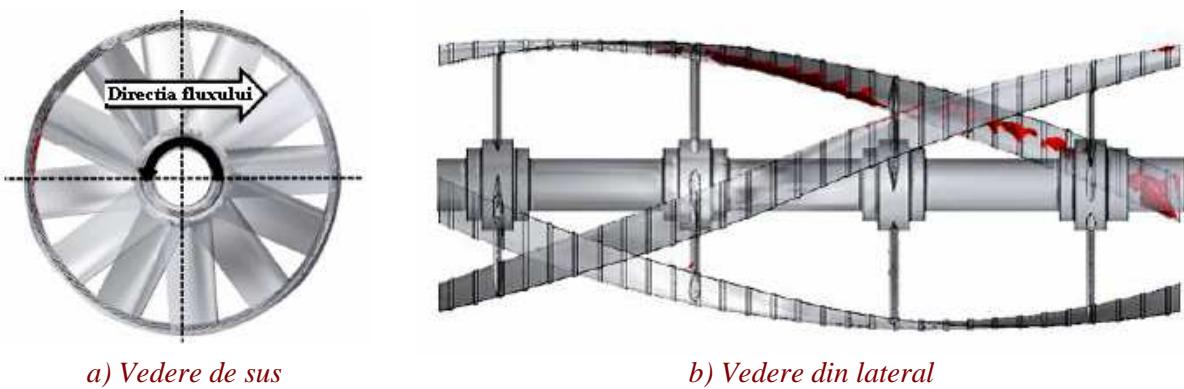
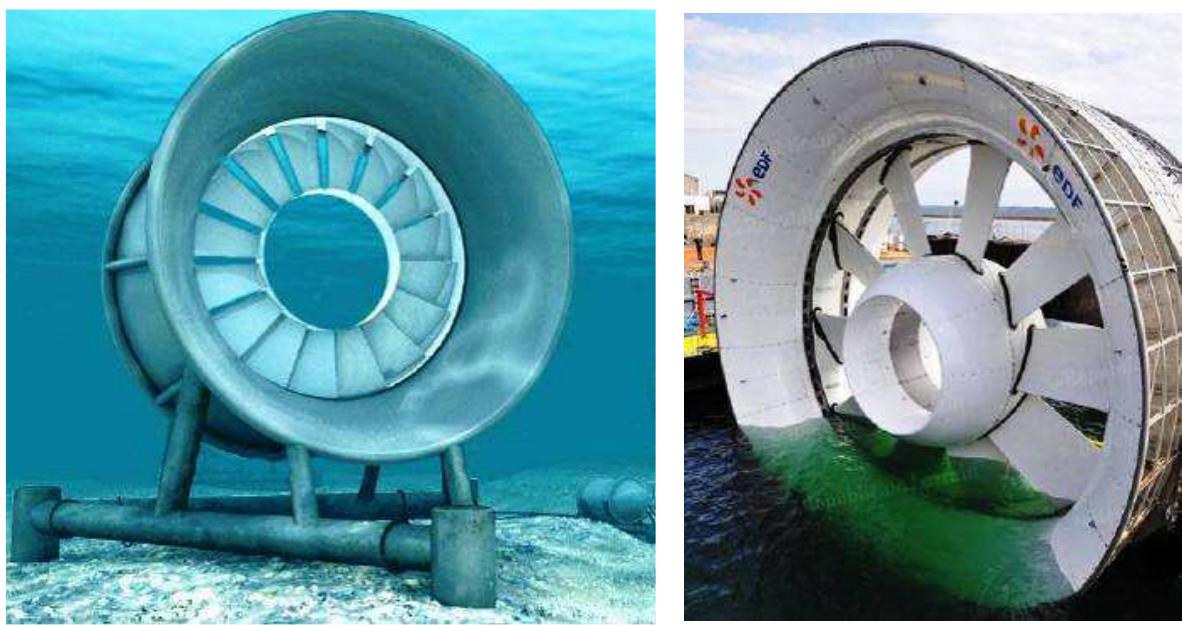


Fig. 1.11 Modelul turbinei de curenti oceanici

Autorii articolului [40] au simulațat curgerea unei turbine (Tidal Turbine) pentru a proiecta și realiza forma finală. Acest tip de turbină folosește energia curentilor mareaici, iar în figura 1.12 se prezintă această turbină printr-o formă inițială și finală a geometriei acesteia.



Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

În figura 1.13 se prezintă instalația experimentală utilizată de autorii referinței [68] pentru testarea unei mini-pompe centrifugale cu paletele rotorului divizate, iar schița acestui rotor este arătată în figura figura 1.14.

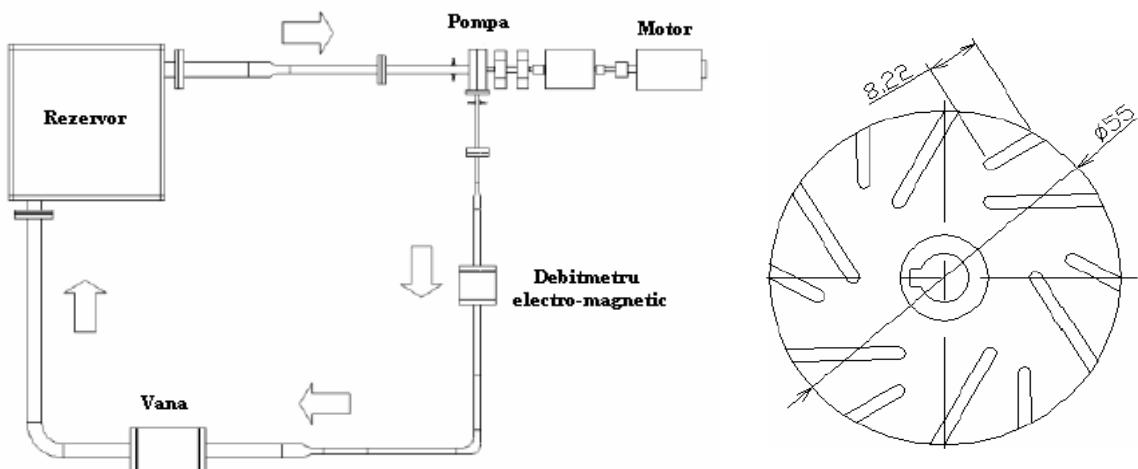


Fig. 1.13 Instalația experimentală cu mini-pompă centrifugală (imagine preluată după [40] și prelucrată)

Fig. 1.14 Rotorul cu palete divizate

Pentru rotorul acestei mini-pompe centrifugale, caracteristicile sunt următoarele:

- Diametrul exterior al rotorului este 55 [mm];
- Numărul total al paletelor este 12:
 - 6 palete de bază;
 - 6 palete divizate.
- Grosimea unei palete este de 2 [mm].

În continuare, în figura 1.15 se prezintă după referință bibliografică [73] o construcție a unei turbine în miniatură:

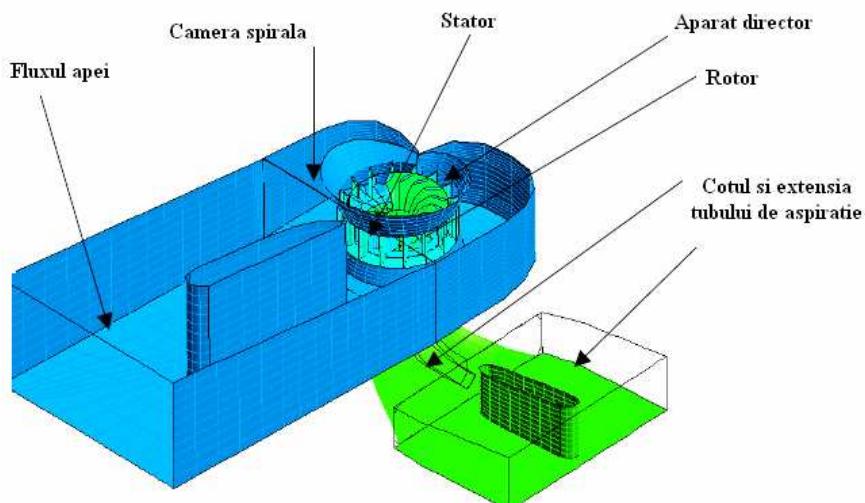


Fig. 1.15 Construcția unei turbine în miniatură

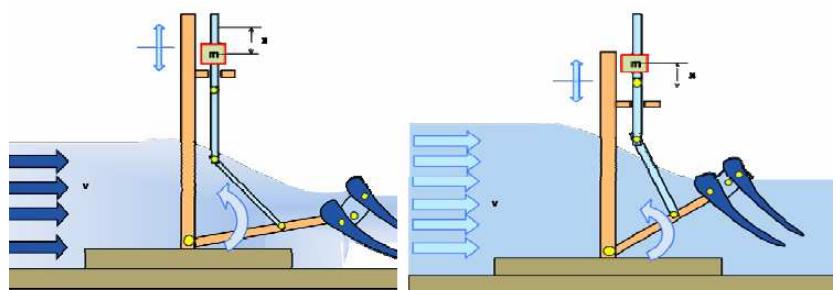
Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

În această figură, preluată după referința menționată anterior, autorii au făcut cercetare privind curgerea apei prin turbină, cu ajutorul programului CFX-TASCflow cu modulul CFD (Computational Fluid Dynamics – dinamica computerizată a fluidelor).

Autorii articolului [74] cercetează un aparat hidrocinetic pentru generarea electricității denumit „Hidropólio®”, care poate avea o putere maximă de 80 [W]. În figura 1.16 (a, b) se prezintă o imagine a acestui aparat, cât și 2 fotografii în timpul testării acestuia.



a) Imaginea aparatului hidrocinetic

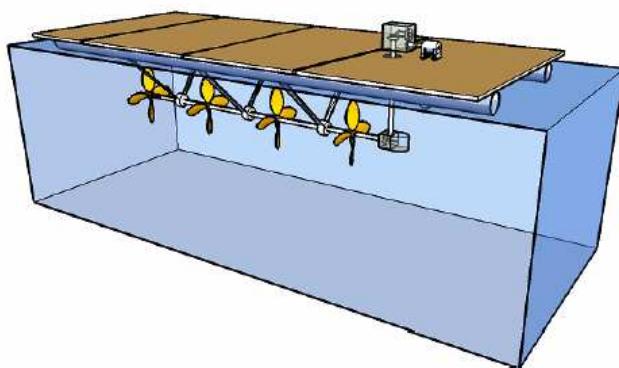


b) Imagini 3D din timpul testării

Fig. 1.16 Aparatul hidrocinetic „Hidropólio®” pentru generarea electricității

Așa cum se poate observa energia valurilor acționează pivotul oscilant prin mișcări care antrenează un generator linear electric.

De asemenea, o altă instalație care folosește energia apei este turbina hidrocinetică „Poraque” care are o putere de 100 [kW]. Această instalație după [75] este descrisă în figura 1.17 a), iar în figura 1.19 b) este prezentat un rotor din componența acesteia.



a) Turbina hidrocinetică „Poraque”



b) Imagine rotor

Fig. 1.17 Schița turbinei hidrocinetică „Poraque” și imaginea rotorului

Autorii articolului [80], prezintă o turbină de apă cu rotorul din material compozit, turbină care are următorii parametrii caracteristici pentru testul de simulare:

- Diametrul de intrare al duzei: 9000 [mm];
- Diametrul de ieșire al difuzorului: 6000 [mm];

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

- Diametrul rotorului: 4000 [mm];
- Grosimea rotorului: 20 [mm];
- Densitatea fluidului: 998,2 [kg/m³];
- Fluidul de lucru: apă.

În **figurile 1.18÷1.20** se prezintă imagini ale rotorului, domeniul de simulare, respectiv modelul a 10 mini-unități de turbine, care pot avea o putere de ieșire de aproape 8,48 [MW], la o viteză a debitului apei de 4 [m/s] și o turația de 16 [rpm].



Fig. 1.18 Rotorul turbinei

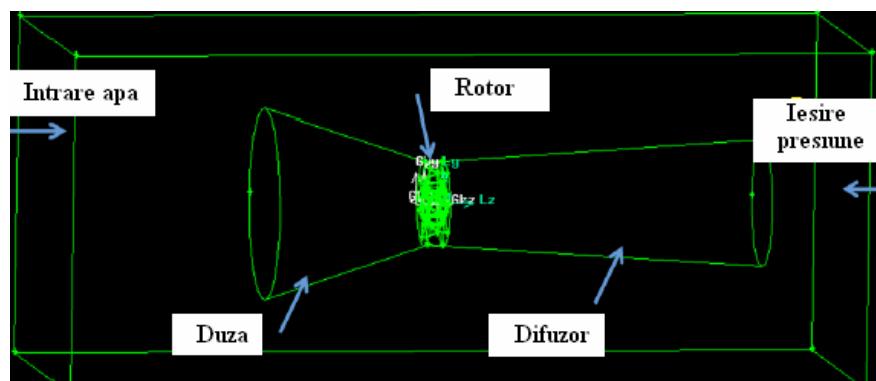


Fig. 1.19 Domeniul de simulare

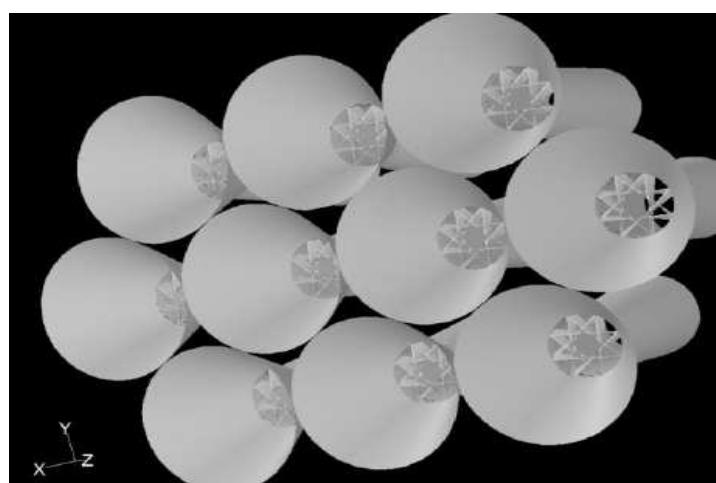


Fig. 1.20 Modelul a 10 mini-unități de turbine

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

În continuare, în figura 1.21 se prezintă o instalație cu o pompă centrifugă, ce a fost supusă la teste experimentale în ce privește variațiile de viteză [82].

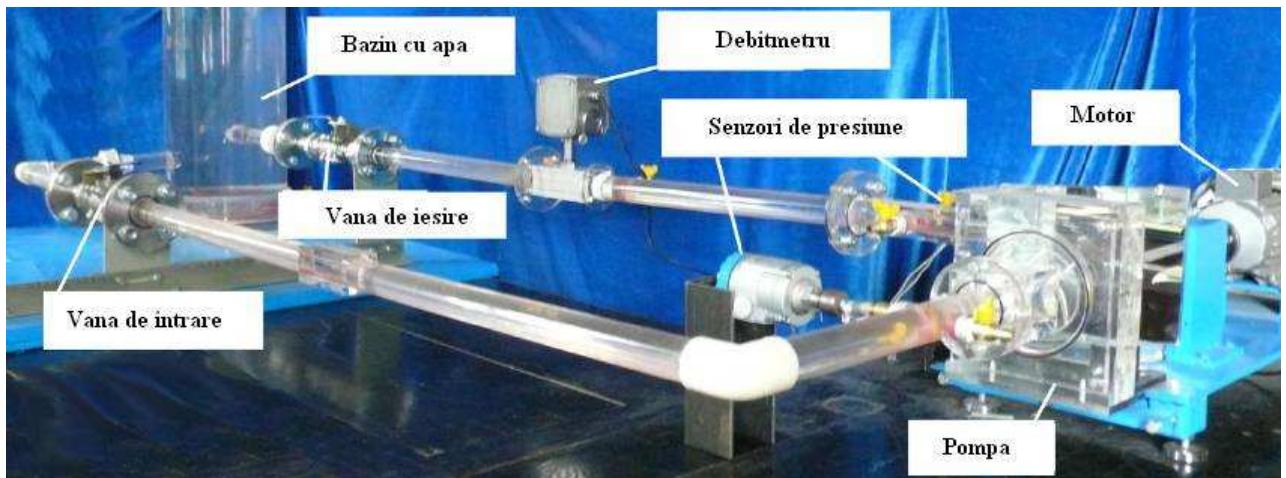


Fig. 1.21 Instalația experimentală a pompei centrifuge

Autorii articolului [83], concep o mini-turbo pompă care se regăsește în figura 1.22 și care a fost supusă la mai multe încercări, încercări care au vizat forme diferite ale rotorului, aşa cum se arată în figura 1.23.

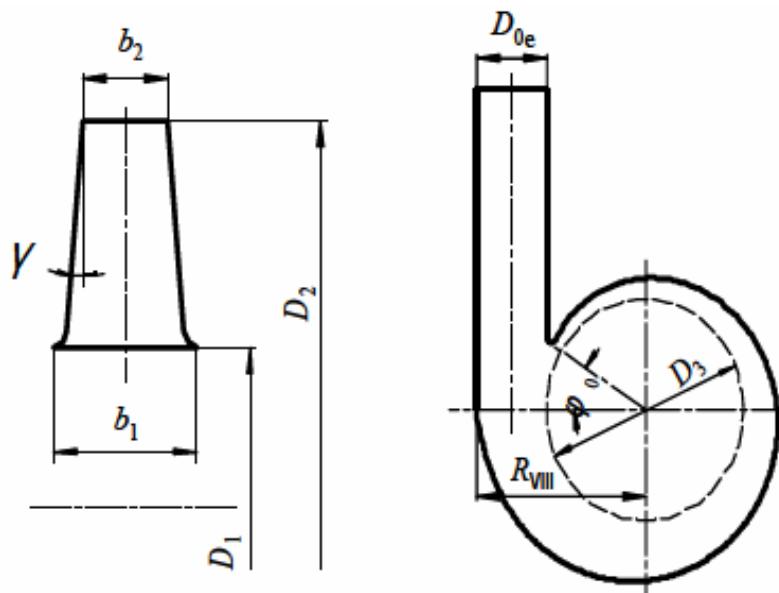


Fig. 1.22 Forma constructivă a mini-turbo pompei

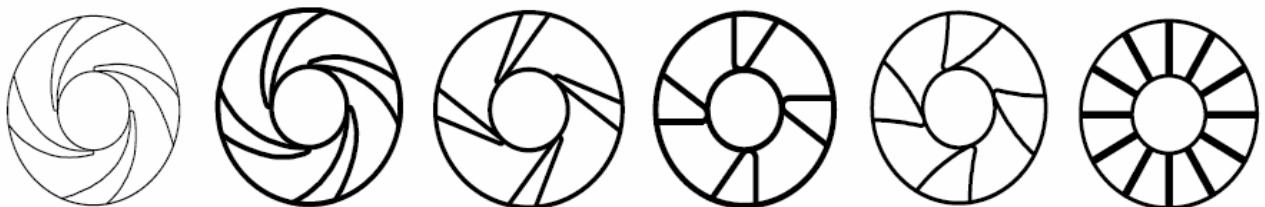


Fig. 1.23 Forme ale rotorului mini-turbo pompei

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Notățile din **figura 1.22** au următoarele dimensiuni: $D_2=24$ [mm]; $D_1=10$ [mm]; $D_{0e}=10$ [mm]; $b_2=3$ [mm]; $b_1=5$ [mm]; $Y=5$ [$^{\circ}$]; $D_3=25$ [mm]; $\phi_0=32$ [$^{\circ}$]; $R_{VIII}=21,5$ [mm].

Autorii articolului **[84]**, cercetează prin simulări numerice, cu algoritmul NSGA-II, programul ANSYS-CFX, metoda CFD (dinamica computațională a fluidelor) rotorul unei turbine de curent marin orizontal-axială. În **figurile 1.24 și 1.25** se prezintă geometria paletelor rotorului și discretizarea în elemente finite (mesh) a acestora prin ANSYS-CFX.

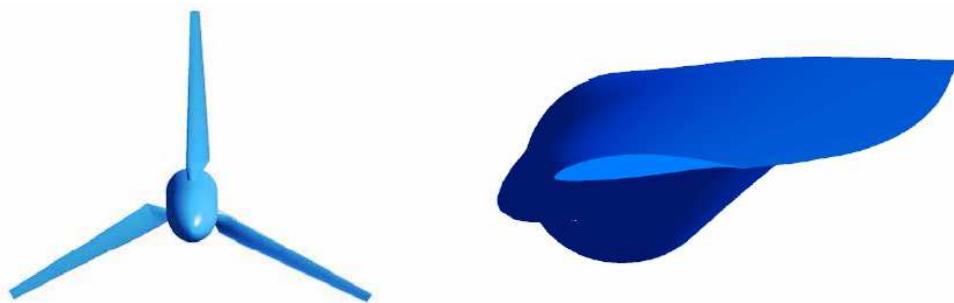


Fig. 1.24 Modelul geometriei paletelor rotorului

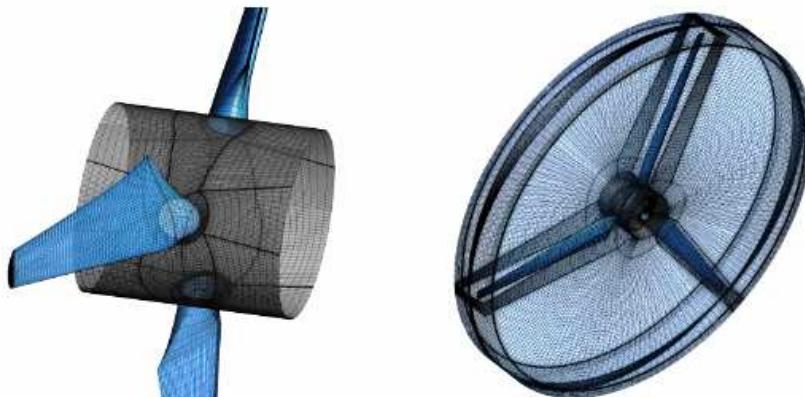


Fig. 1.25 Discretizare în elemente finite a paletelor rotorului și a domeniului rotorului

Un alt tip de rotor studiat și analizat în literatura de specialitate este descris în referința bibliografică **[85]**, unde autorii cercetează prin simulare 4 tipuri de rotoare cu paletele sub formă de spirale cu următoarea relație pentru putere:

$$P = M \cdot \omega = 2\pi N M \quad (1.1)$$

unde:

P – puterea, exprimată în [W];

M – momentul, exprimat în [Nm];

ω – viteza unghiulară, exprimată în [rad/s];

N – viteza de rotație a rotorului, exprimată în [r/s];

În **figura 1.26**, se prezintă cele 4 tipuri de rotoare analizate, iar în **tabelul 1.2** sunt consemnate valorile obținute, pentru cele 4 cazuri.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

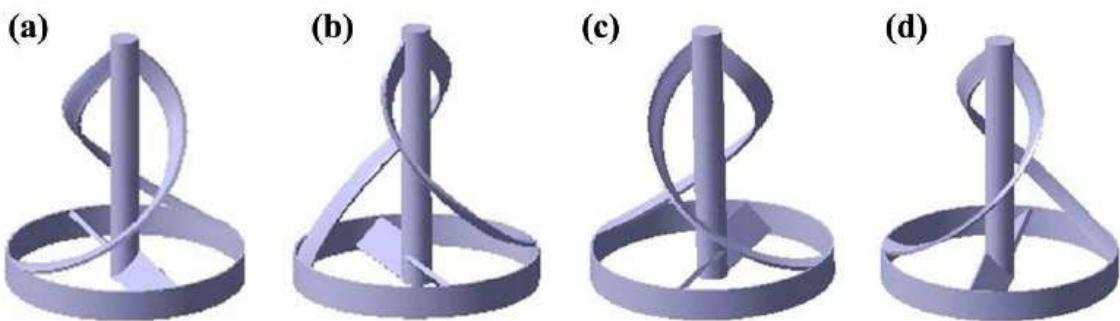


Fig. 1.26 Cele 4 forme diferite combinate ale rotoarelor cu paletele în spirală

<i>Puterea obținute pentru cele 4 tipuri de rotoare cu paletele în spirală</i>			<i>Tabel 1.2</i>
Tip rotor	ω [rad/s]	M [Nm]	P [W]
Model (a)	31,42	0,020	0,628
Model (b)		0,023	0,723
Model (c)		0,025	0,773
Model (d)		0,021	0,660

Alte cercetări experimentale privind producerea de energie electrică au fost întreprinse și la Universitatea Maritimă din Constanța, iar conform [figuri 1.27](#) se prezintă standul experimental [24], [25], [26], [27], [28]:

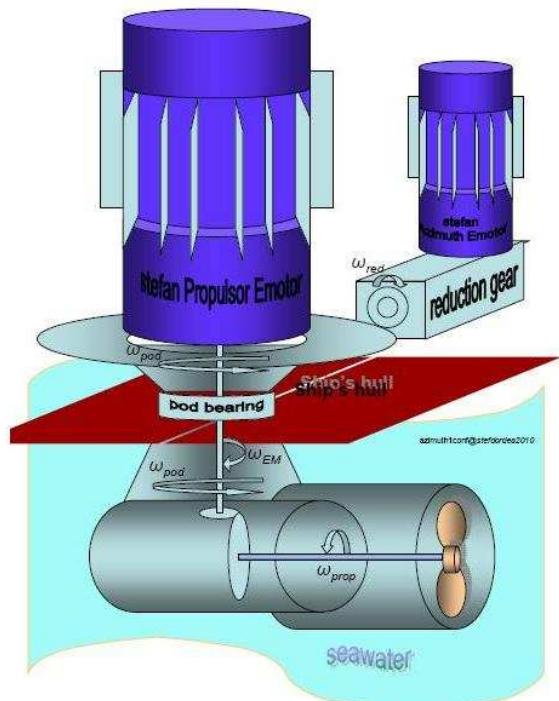


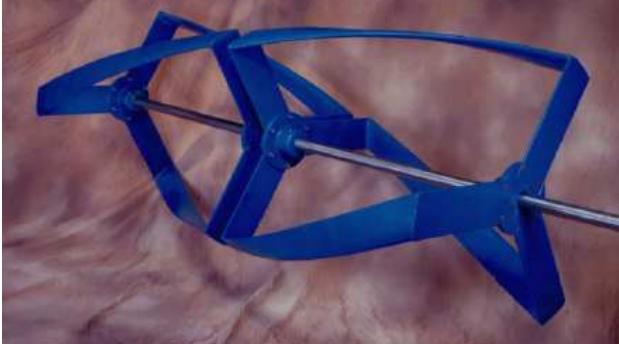
Fig. 1.27 Stand experimental cu „Stefan Propulsor Emotor”

Mai există și alte variante de rotoare [30], [69], [90], [94], [100] și microturbine/turbină proiectate și realizate sau anumite invenții [81], [91], [92], [93], [101] regăsite în literatura de specialitate aşa cum se prezintă în [tabelul 1.3](#).

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Variante de microturbine

Tabel 1.3

Imagine caracteristică	Tip microturbină
	Turbină Helical
 	Instalație SeaGen
	Turbină subacvatica
	Turbină LSM
 	Turbină Seaflow

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

	Microturbină hidraulică
	Turbină subacvatică cu 3 pale

În figura 1.28 se prezintă microturbină de tip axial-tubular proiectată și executată de către autor [51], a cărei descriere va fi realizată în capitolele următoare ale acestei teze de doctorat, [52], [53], [54].



Fig. 1.28 Microturbina de tip axial prezentată de autor la conferința internațională Think-Hydro.com

Cap. 2 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivul general al prezentei teze este investigarea experimentală a unei microturbine de tip axial-tubulară, echipată cu generator imersat cu magneți permanenți, concepută într-o nouă soluție constructivă, prin parcurgerea unui ciclu complet de proiectare hidrodinamică / proiectare constructiv-funcțională / simulare / execuție / cercetare experimentală. Rezultatele tezei vor fi concretizate prin:

- rezultate experimentale pentru mai multe variante de rotoare proiectate în cadrul tezei, care vor putea fi utilizate la proiectarea microturbinelor de tip axial;
- prototipul fizic al microturbinei, care va putea fi utilizat și în viitor la cercetări experimentale pe alte variante de geometrii ale rotoarelor, ca material didactic pentru lucrări de laborator sau ca material publicitar la expoziții și simpozioane.

Principalele obiective specifice propuse spre a fi realizate în prezenta teză de doctorat sunt următoarele:

- consultare bibliografică asupra microturbinelor de tip axial și alternative;
- proiectare hidrodinamică de variante de rotoare axiale;
- proiectare constructivă prototip microturbină axială;
- simularea numerică a curgerii și ale microturbinei;
- execuția componentelor microturbinei;
- cercetări preliminare pe generatorul echipat cu magneți permanenți;
- încadrarea microturbinei în standul experimental;
- cercetări experimentale derulate pe microturbină și variante de rotoare axiale.

Cercetările experimentale vor fi efectuate pe standul de încercări microturbine al S.C. Hydro-Engineering S.A. Reșița. În acest sens între Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița și S.C. Hydro-Engineering S.A. Reșița s-a semnat un acord de colaborare, încheiat în baza acordului de cooperare științifică și tehnică nr. 32/2009 - act adițional nr. 3/2013, încheiat între cele două instituții.

Cap. 3 PROIECTAREA HIDRODINAMICĂ A VARIANTELOR DE ROTOARE ALE MICROTURBINEI

3.1 Simularea curgerii prin traseul microturbinei

Simularea curgerii prin traseul microturbinei a avut drept obiectiv determinarea variației vitezei meridiane cu raza în zona rotorului, în absența paletajului rotoric. Simularea a fost realizată prin intermediul modulului Flow Simulation, integrat în interfața aplicației SolidWorks, pentru 3 puncte de funcționare, care vor constitui date de proiectare pentru paletajul rotoarele R4, R6 și R8, a căror geometrie va fi calculată ulterior în cadrul acestui capitol. În simulare punctele de funcționare sunt caracterizate, pentru fiecare rotor, de debitele de intrare în tubulatură: rotor R4 → $Q=0,0109 \text{ m}^3/\text{s}$, rotor R6 → $Q=0,0106 \text{ m}^3/\text{s}$, rotor R8 → $Q=0,0094 \text{ m}^3/\text{s}$. Variația vitezei meridiane determinată în acest paragraf va fi utilizată ca date de intrare în algoritmul de calcul al proiectării hidrodinamice a celor trei variante de rotoare. Componentele hidrodinamice ale turbinei (rotor fără palete, aparat director conic și stator) au fost incluse într-o tubulatură cu diametrul egal cu al carcasei amonte, iar ieșirea include o înclinare identică cu tubul de aspirație a microturbinei, **figura 3.1**. Aceste simplificări au fost impuse de necesitatea utilizării în simulare a cât mai puține componentelor, în scopul reducerii resurselor calculatorului și a timpului de calcul, fără a afecta precizia rezultatelor.

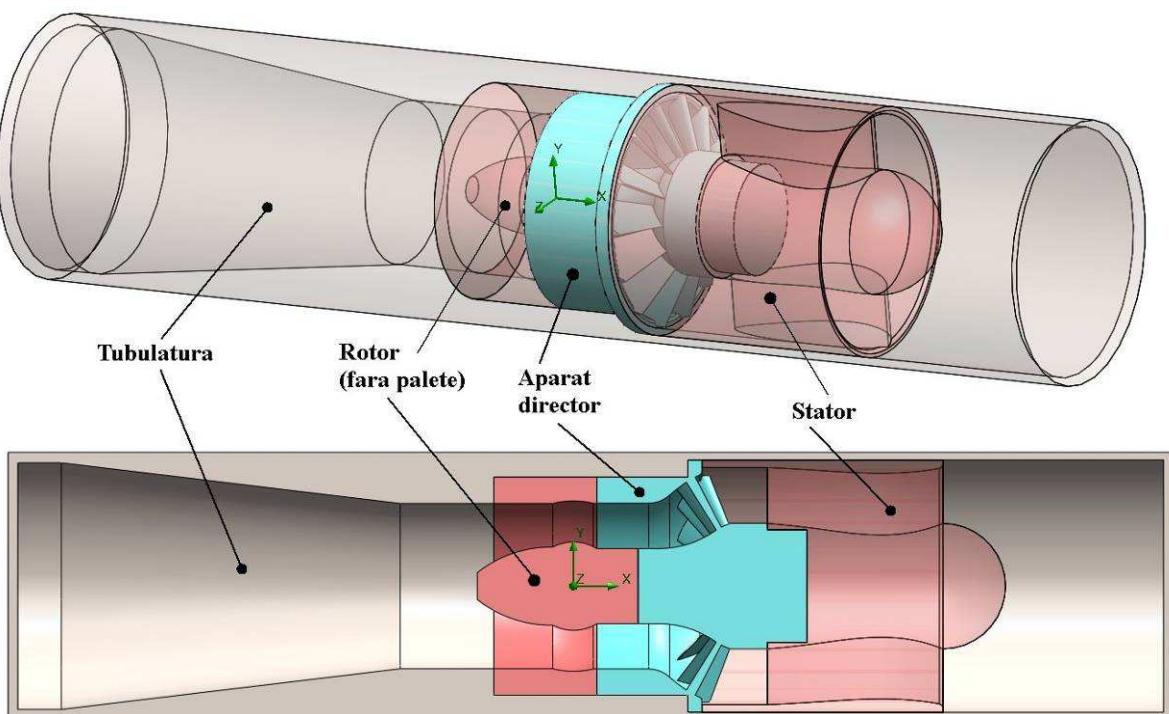


Fig. 3.1 Traseul hidraulic al microturbinei utilizat în simularea numerică a curgerii

Etapele simulării numerice sunt următoarele [49]:

- Creare geometrie;
- Activare modul Flow Simulation;
- Creare proiect de simulare a curgerii;
- Definire tip analiză și volum de control;
- Specificare condiții de frontieră;
- Specificare criteriu de convergență;
- Calcul studiu de curgere;
- Vizualizare rezultate.

Activarea modulului Flow Simulation se realizează din meniul SolidWorks prin click **Tools** → **Add-Ins**, urmat de selecție modul SolidWorks Flow Simulation; bara de meniu **Flow Simulation** se va adăuga la meniul principal, din care se vor selecta opțiunile de simulare.

Un proiect de simulare a curgerii conține toate datele și rezultatele unei probleme. Fiecare proiect este asociat unei configurații. Prin modificarea unui proiect este posibilă analizarea curgerii pentru diferite condiții și modificări de geometrie. La crearea unui proiect, un nou arbore **Flow Simulation Design Tree** va apărea în dreapta zonei **Configuration Manager** a interfeței SolidWorks. Acest arbore va fi utilizat pentru a specifica date ale proiectului: condiții de frontieră, condiții initiale, surse de căldură, condiții de material și criterii de convergență. Pentru a crea un proiect, trebuie furnizate următoarele informații:

- numele proiectului;
- sistemul de unități;
- tipul de analiză (externă sau internă); analiza de tip **Internal** se utilizează acolo unde fluidul parcurge geometria între intrări și ieșiri, cu excepția unor probleme de convenție naturală, care însă nu presupun deschideri în model; spațiul interior umplut cu fluid trebuie să fie complet închis; analiza de tip **External** se utilizează acolo unde fluidul curge în jurul modelului, cum ar fi la avioane, automobile, clădiri, etc, pentru acest tip de analiză volumul de control este mult mai extins;
- tipul de fluid (gaz, lichid incompresibil, lichid non-Newtonian sau compresibil);
- substanțele (fluide și solide);
- condiții initiale și ambientale;
- rezoluția discretizării geometriei și a rezultatelor;
- valoare a rugozității pereților;
- tipuri de procese fizice: transfer de căldură, efecte ale curgerii gazelor la numere Mach ridicate, efecte gravitaționale, procese care depind de timp, radiații de suprafațe și curgere laminară.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Crearea unui proiect de simulare a curgerii se realizează prin click pe opțiunea de meniu **Flow Simulation → Project → Wizard**; pentru fiecare variantă de simulare se va crea câte un proiect cu proprietățile din **tabelul 3.1**:

<i>Tabel 3.1</i>			
<i>Parametrii principali ai proiectelor de simulare a curgerii</i>			
Nume configurație	Curgere R4	Curgere R6	Curgere R8
Sistem de unități	SI (m-kg-s)	SI (m-kg-s)	SI (m-kg-s)
Tip analiză	Internal	Internal	Internal
Procese fizice avansate	Inexistente	Inexistente	Inexistente
Tip fluid	Liquids→Water	Liquids→Water	Liquids→Water
Condiții pentru pereți	Adiabatic wall - toți pereții modelului sunt izolați termic Roughness - se va accepta valoarea 0 pentru rugozitatea pereților		
Condiții inițiale	Pressure 101325 Pa	Pressure 101325 Pa	Pressure 101325 Pa
Rezoluție inițială	4/Automatic Settings	4/Automatic Settings	4/Automatic Settings

Valoarea specificată pentru opțiunea „Rezoluție inițială” influențează acuratețea soluției, prin intermediul setărilor discretizării și condițiilor impuse de finalizare a calculelor, ceea ce poate fi interpretat ca și rezoluție a rezultatelor calculate. Această valoare se impune funcție de acuratețea dorită a soluției, consumul de timp și memoria disponibilă. Această setare are o influență semnificativă asupra numărului de elemente finite generate, astfel încât o soluție mai precisă necesită un timp de calcul mult mai lung și memorie RAM suplimentară.

Definirea tipului de analiză și a volumului de control se realizează prin expandarea ramurei **Input Data** în arborele analizei de curgere, urmat de click dreapta pe icoana **Computational Domain** și selecție **Edit Definition**; va apărea fereastra **Computational Domain**, **figura 3.2**, în care se va selecta icoana **3D simulation** (ceea ce înseamnă că simularea se va realiza pe un domeniu tridimensional) și se vor accepta valorile implicate din zona **Size and Conditions**. Volumul de control este definit prin volumul fixat în raport cu sistemul de referință în câmpul de curgere al fluidului. Modulul SolidWorks Flow Simulation analizează geometria modelului și generează automat volumul de control de formă prismatică care include modelul analizat, **figura 3.2**. Din figură se observă faptul că originea sistemului de referință coincide cu originea rotorului, direcția X fiind orientată în sens invers curgerii (motiv pentru care semnul vitezei meridiane, adică a componentei vitezei pe direcția X, a rezultat negativ), iar direcțiile Y și Z orientate radial.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

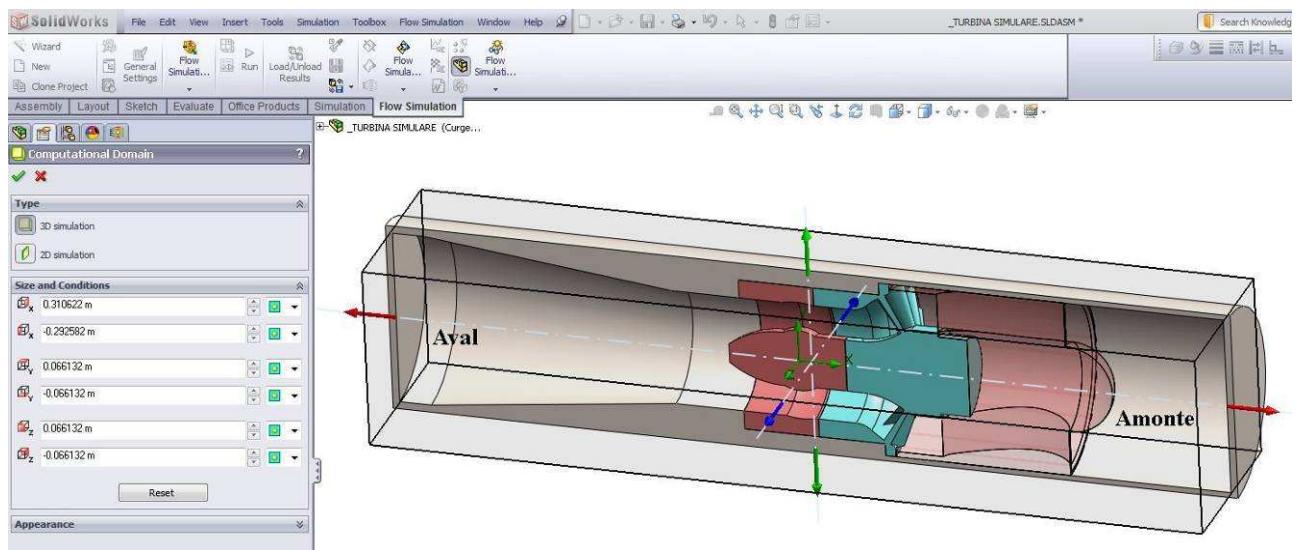


Fig. 3.2 Domeniul de analiză și simularea numerică a curgerii

Condițiile pe frontieră constau în impunerea debitului pe secțiunea de intrare (amonte) a tubulaturii, respectiv a presiunii atmosferice $p=101325$ Pa pe secțiunea de ieșire (aval) a tubulaturii, figura 3.3. Pentru cele trei variante de simulare debitele de intrare în tubulatură au fost: rotor R4 → $Q=0.0109$ m^3/s , rotor R6 → $Q=0.0106$ m^3/s , rotor R8 → $Q=0.0094$ m^3/s .

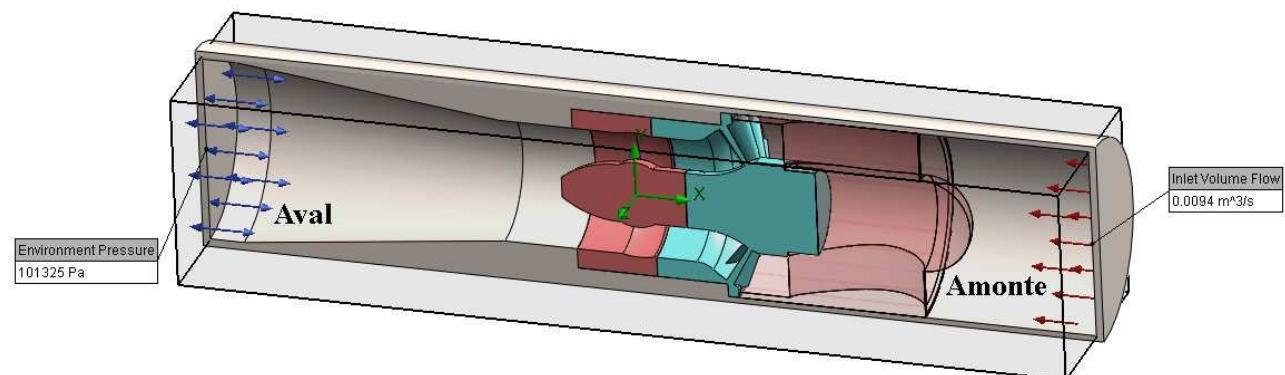


Fig. 3.3 Condițiile de frontieră pentru simularea numerică a curgerii

Flow Simulation consideră inițial orice problemă de curgere staționară ca fiind dependentă de timp. Solver-ul iterează în pași de timp determinați pentru a căuta stările de curgere staționară, deci devine necesară existența unor criterii de identificarea a atingerii curgerii staționare, pentru a opri calculul. Flow Simulation include criterii interne de oprire a soluției, dar este mai bine să fie utilizate criterii specifice, al căror nume generic în Flow Simulation este **Goals** (scop). Flow Simulation oferă următoarele tipuri de criterii: globale, punctuale, de suprafață, volumice și ecuații.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Pentru această simulare vor fi specificate următoarele patru criterii globale de convergență:

- **GG Av Total Pressure 1** – criteriu global mediat al presiunii totale;
- **GG Mass Flow Rate 1** - criteriu global debitului masic;
- **GG Av Velocity 1**– criteriu global mediat al vitezei rezultante;
- **GG Av X - Component of Velocity 1** - criteriu global mediat al componentei pe direcția X al vitezei.

Aceasta va asigura convergența soluției, deoarece calculul nu se va finaliza până când cele patru criterii nu vor fi convergente pe întreg volumul de control.

Calculul studiului de curgere se declanșează prin click pe opțiunile **Flow Simulation** → **Solve** → **Run**. Pe durata calculului, în fereastra **Mesh Generation** pot fi vizualizați pașii curenți și informațiile asociate. După lansarea calculului, fereastra **Solver Monitor**, figura 3.4, oferă informații despre starea curentă a soluției, prin monitorizarea modificărilor intervenite în criteriile de convergență și prin vizualizarea rezultatelor preliminare în plane selectate.

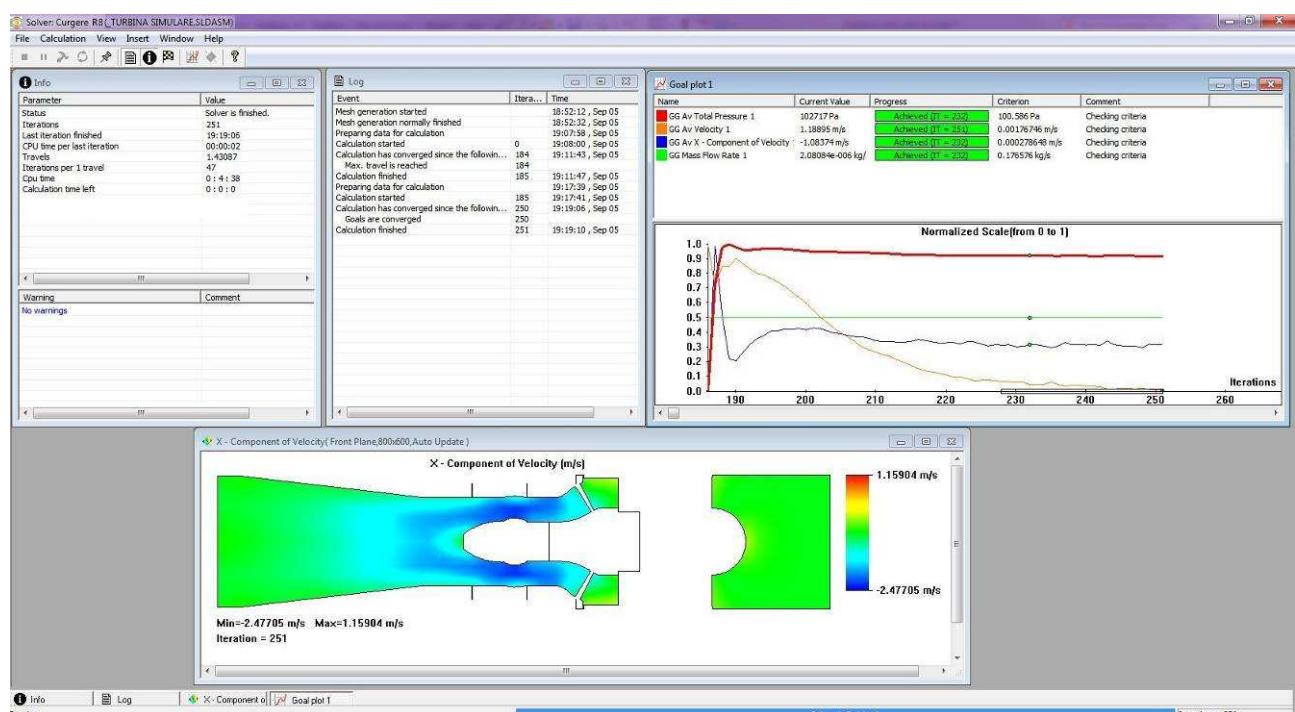


Fig. 3.4 Fereastra Solver Monitor

Flow Simulation va genera automat discretizarea volumului de control, prin divizarea volumului de control inițial (Basic Mesh), figura 3.5, în secțiuni, care vor fi ulterior subdivizate în celule. Celulele vor fi rafinate atât este necesar pentru rezolvarea corespunzătoare a geometriei modelului.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Domeniul de analiză prismatic este construit inițial automat astfel ca să includă geometria solidă și are planele echidistante și paralele cu ale sistemului de referință. Ulterior domeniul este rafinat, funcție de rezoluția impusă, ajungându-se astfel la divizarea finală. În [figura 6](#) se prezintă o secțiune în planul XY prin discretizarea 3D; din figură se observă că discretizarea este mai fină în zona rotorului și aparatului director.

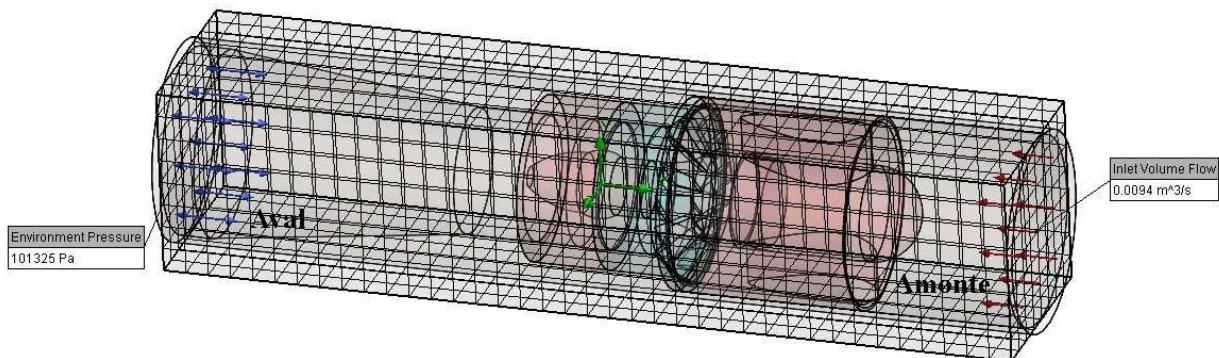


Fig. 3.5 Divizarea inițială a domeniului de analiză (Basic Mesh)

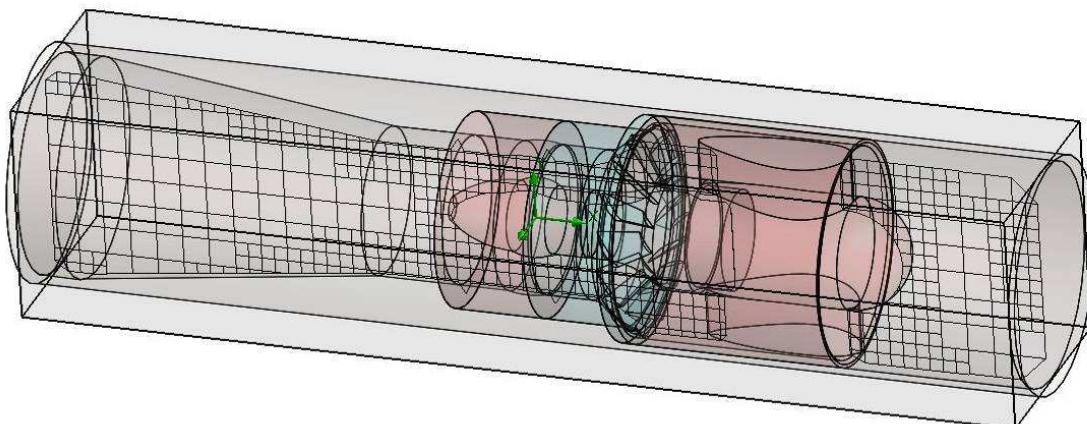


Fig. 3.6 Secțiune prin planul XY al discretizării 3D

Flow Simulation poate rezolva curgeri de tip laminar și turbulent, deși, în practică, majoritatea curgerilor sunt de tip turbulent. Pentru simularea curgerii Flow Simulation utilizează ecuațiile mediate Favre Navier-Stokes, unde sunt luate în considerare efectele temporale mediate ale curgerii turbulentă asupra parametrilor curgerii; de asemenea sunt utilizate ecuațiile de transport ale energiei cinetice turbulentă și rata de disipare, denumite generic modelul $k-\epsilon$. Soluționarea numerică a curgerii nu necesită cunoștințe de metode numerice din parte utilizatorului. Flow Simulation rezolvă ecuațiile cu metoda volumelor finite, pe un domeniu de analiză spațial rectangular, cu planele paralele cu ale sistemului de referință și rafinări locale la interfața dintre solid și fluid, efectuate chiar pe durata calculului. Valorile variabilelor fizice sunt memorate în

centrul celulelor. Datorită metodei utilizate, ecuațiile sunt discretizate într-o formă conservativă, derivatele spațiale sunt approximate cu operatori de diferențe de ordinul 2, derivatele temporale sunt approximate prin schema Euler de ordin 1.

Figura 3. 7 prezintă liniile de curgere pentru varianta R8, de unde rezultă că la intrare în tubulatură liniile de curgere sunt paralele cu axa curgerii X, apoi aparatul director generează o rotație a curentului. Liniile de curgere sunt similare și pentru variantele R4, R6.

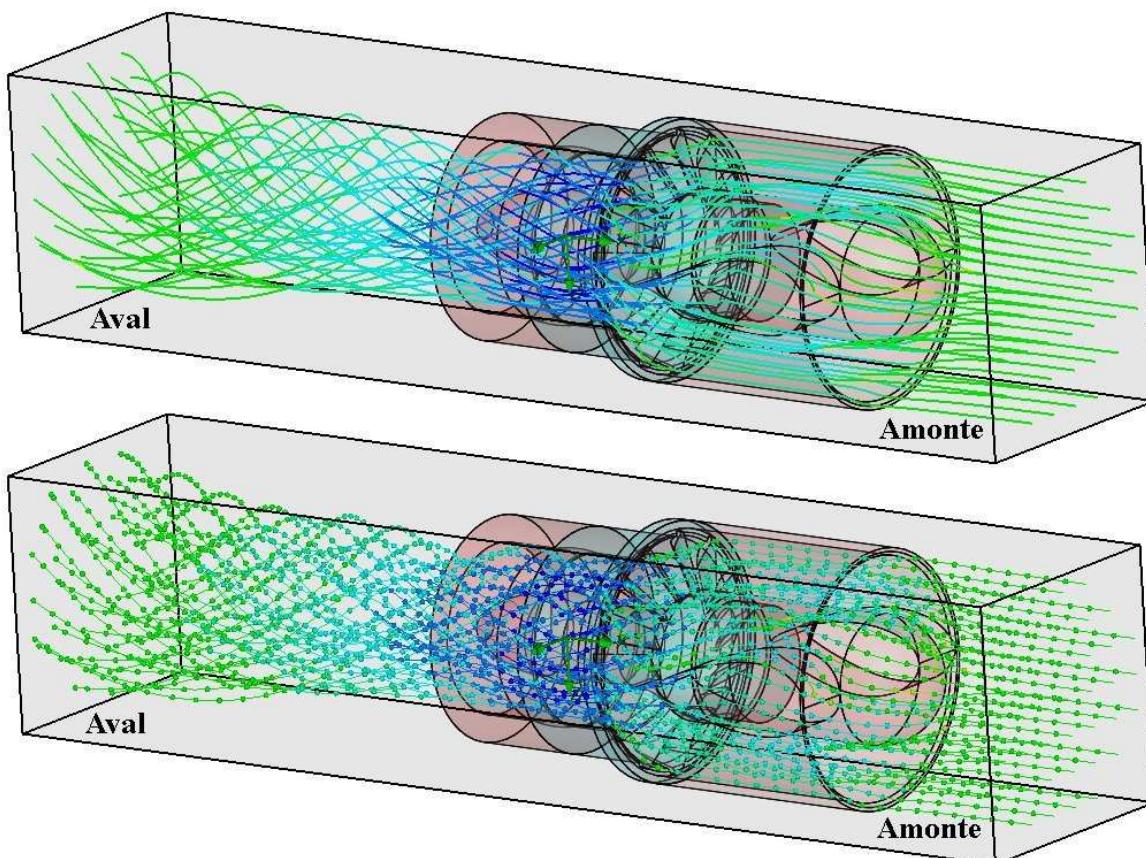


Fig. 3.7 Liniile de curgere prin domeniul de analiză al microturbinei

Figura 3. 8 prezintă distribuția vitezei V_x pe domeniul de analiză pentru varianta R4, de unde rezultă că domeniul de valori al vitezei meridiane este cuprins între $1,239 \div -2,88$ m/s, semnul „-“ reprezentând faptul că direcția vitezei V_x este opusă direcție pozitive a axei X, care este orientată pozitiv dinspre aval spre amonte.

Figura 3. 9 prezintă distribuția vitezei V_x pe domeniul de analiză pentru varianta R6, de unde rezultă că domeniul de valori al vitezei meridiane este cuprins între $1,353 \div -2,801$ m/s.

Figura 3. 10 prezintă distribuția vitezei V_x pe domeniul de analiză pentru varianta R8, de unde rezultă că domeniul de valori al vitezei meridiane este cuprins între $0,948 \div -2,49$ m/s.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

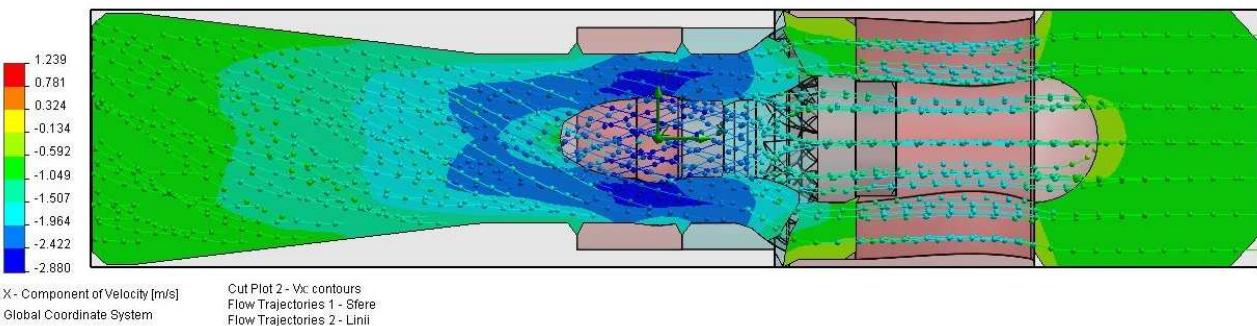


Fig. 3.8 Distribuția vitezei V_x pe domeniul de analiză pentru varianta R4

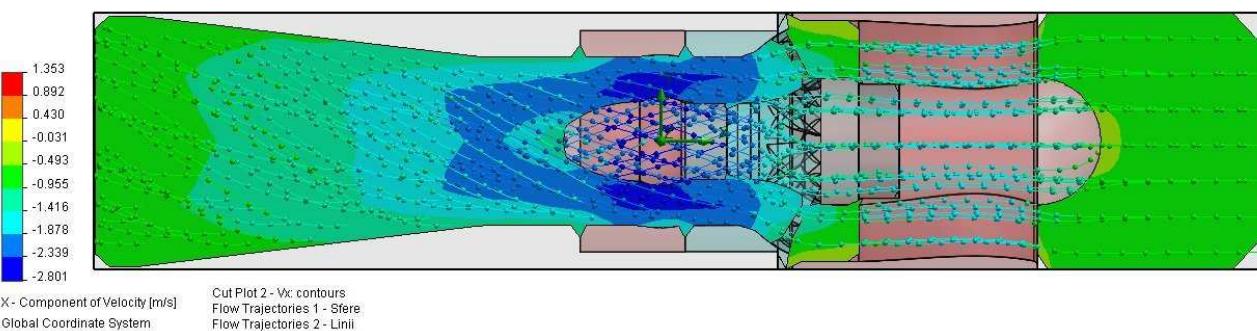


Fig. 3.9 Distribuția vitezei V_x pe domeniul de analiză pentru varianta R6

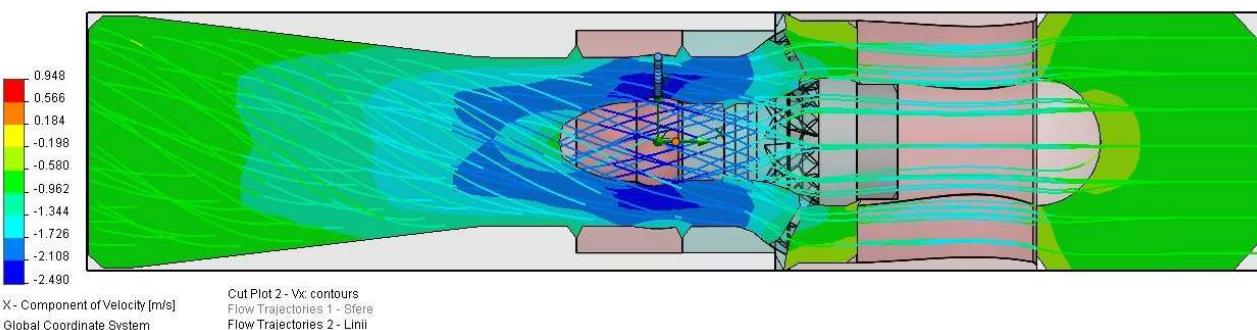


Fig. 3.10 Distribuția vitezei V_x pe domeniul de analiză pentru varianta R8

Figura 3.11 prezintă punctele în care au fost preluate din simulare valorile următorilor parametrii în zona rotorului: presiune statică p_{st} , presiune dinamică p_{din} , presiune totală p_{tot} , viteza rezultantă V , componenta vitezei meridiane V_x , componenta vitezei V_y , componenta vitezei V_z . Toate aceste puncte au coordonatele $X=0$ și $Z=0$, iar coordonata Y coincide cu raza, cuprinsă în domeniul razei butucului $R_{but}=23,4$ mm și a razei periferice $R_{per}=44,5$ mm.

Tabelele 3.2, 3.3, 3.4 prezintă tabelar valorile parametrilor preluati din studiu de simulare a curgerii pentru rotoarele R4, R6 respectiv R8. Printre puncte sunt incluse și cele corespunzătoare razelor la care se vor calcula hidrodinamic profilele rotoarelor, adică a celor care au coordonate $Y=R$ marcată cu bold și albastru în aceste tabele.

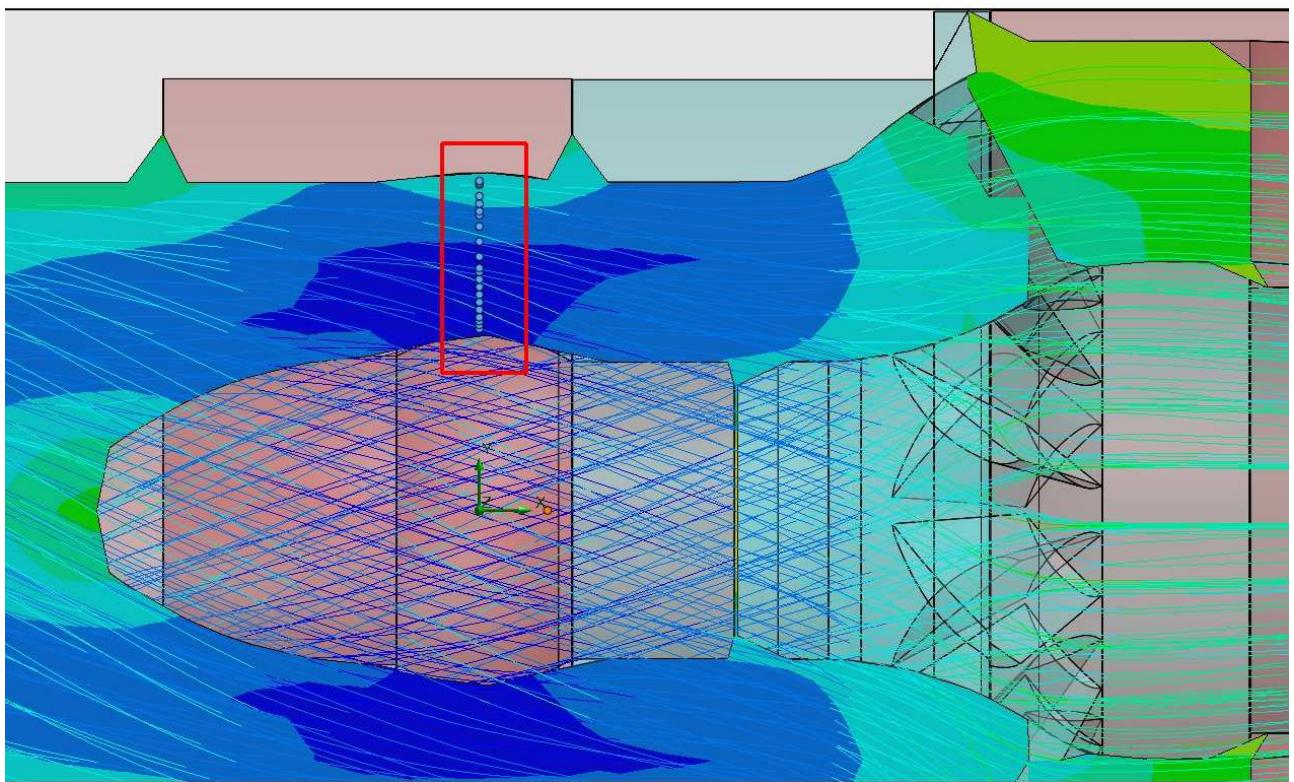


Fig. 3.11 Puncte de preluare ale parametrilor în zona rotorului

Figurile 3.12, 3.14, 3.16 prezintă grafic variația vitezei rezultante V , a componentei vitezei meridiane V_x , a componentei vitezei V_y , a componentei vitezei V_z , preluate punctual din studiu de simulare a curgerii pentru rotoarele R4, R6 respectiv R8. În aceste grafice s-au reprezentat valorile absolute ale vitezelor, valorile negative evidențiind numai direcția vitezei în raport cu sistemul de referință selectat pentru simulare.

Din aceste grafice se observă că:

- componenta majoritar valoric este componenta V_x , care reprezintă viteza meridiană, valorile acesteia fiind foarte apropiate de cele ale vitezei rezultante, deoarece valorile componentelor V_y și V_z sunt mici;
- o cădere bruscă a vitezei meridiane spre periferie.

Valorile vitezei meridiane V_x preluate din studiile de simulare în punctele corespunzătoare razelor la care se vor calcula hidrodinamic profilele rotoarelor, $Y=R=25; 28,5; 32; 35,5; 39; 43$ mm, vor fi utilizate ca date de intrare în calculul hidrodinamice a variantelor de rotoare R4, R6, R8.

Figurile 3.13, 3.15, 3.17 prezintă grafic variația presiunii totale P_{tot} , a presiunii statice P_{st} , a presiunii dinamice P_{din} , preluate punctual din studiu de simulare a curgerii pentru rotoarele R4, R6 respectiv R8.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.2

Parametrii preluăți din studiul de simulare a curgerii pentru rotorul R4

X	Y=R	Z	Presiune totală p _{tot}	Presiune statică p _{st}	Presiune dinamică p _{din}	Viteza V	Vx=Vm	Vy	Vz
[mm]	[mm]	[mm]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
0	24	0	101195,74	98619,38	2576,36	1,89	-1,83	0,02	-0,47
0	24,5	0	102359,99	98683,96	3676,04	2,69	-2,61	0,05	-0,67
0	25	0	102407,35	98703,99	3703,36	2,70	-2,62	0,05	-0,68
0	25,5	0	102449,72	98731,73	3717,99	2,71	-2,62	0,05	-0,70
0	26,5	0	102534,46	98787,22	3747,24	2,72	-2,62	0,05	-0,73
0	27,5	0	102619,20	98842,71	3776,49	2,73	-2,62	0,05	-0,76
0	28,5	0	102703,93	98898,20	3805,73	2,74	-2,63	0,05	-0,79
0	29,5	0	102788,67	98953,69	3834,98	2,76	-2,63	0,05	-0,82
0	30,5	0	102873,41	99009,18	3864,23	2,77	-2,63	0,05	-0,85
0	31,5	0	102958,15	99064,67	3893,48	2,78	-2,63	0,05	-0,89
0	32	0	103000,51	99092,41	3908,10	2,79	-2,64	0,05	-0,90
0	33,5	0	103030,96	99166,88	3864,08	2,76	-2,60	0,05	-0,94
0	35,5	0	102750,33	99237,03	3513,30	2,59	-2,41	0,05	-0,96
0	37,5	0	102469,70	99307,18	3162,52	2,42	-2,22	0,05	-0,97
0	39	0	102259,23	99359,80	2899,43	2,30	-2,08	0,05	-0,99
0	39,5	0	102189,07	99377,34	2811,73	2,26	-2,03	0,05	-0,99
0	40,5	0	102048,75	99412,41	2636,34	2,18	-1,93	0,05	-1,00
0	41,5	0	101908,95	99443,69	2465,25	2,10	-1,84	0,05	-1,01
0	43	0	100940,09	99461,72	1478,37	1,28	-1,11	0,02	-0,62
0	43,2	0	100790,85	99464,13	1326,72	1,15	-1,00	0,02	-0,56
0	43,5	0	100566,99	99467,75	1099,23	0,95	-0,83	0,01	-0,47

Tabel 3.3

Parametrii preluăți din studiul de simulare a curgerii pentru rotorul R6

X	Y=R	Z	Presiune totală p _{tot}	Presiune statică p _{st}	Presiune dinamică p _{din}	Viteza V	Vx=Vm	Vy	Vz
[mm]	[mm]	[mm]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
0	24	0	101200,93	98766,71	2434,22	1,84	-1,78	0,02	-0,46
0	24,5	0	102301,23	98827,91	3473,32	2,62	-2,53	0,05	-0,65
0	25	0	102346,19	98846,86	3499,32	2,63	-2,54	0,05	-0,66
0	25,5	0	102386,37	98873,06	3513,31	2,63	-2,54	0,05	-0,68
0	26,5	0	102466,74	98925,45	3541,29	2,64	-2,55	0,05	-0,71
0	27,5	0	102547,12	98977,85	3569,27	2,66	-2,55	0,05	-0,74
0	28,5	0	102627,49	99030,24	3597,24	2,67	-2,55	0,05	-0,77
0	29,5	0	102707,86	99082,64	3625,22	2,68	-2,56	0,05	-0,80
0	30,5	0	102788,23	99135,04	3653,20	2,69	-2,56	0,05	-0,83
0	31,5	0	102868,60	99187,43	3681,17	2,70	-2,56	0,05	-0,86
0	32	0	102908,79	99213,63	3695,16	2,71	-2,56	0,05	-0,87

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.3

Parametrii preluăți din studiul de simulare a curgerii pentru rotorul R6

X	Y=R	Z	Presiune totală p _{tot}	Presiune statică p _{st}	Presiune dinamică p _{din}	Viteza V	Vx=Vm	Vy	Vz
[mm]	[mm]	[mm]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
0	33,5	0	102937,73	99283,90	3653,83	2,69	-2,53	0,05	-0,91
0	35,5	0	102671,85	99349,94	3321,91	2,52	-2,34	0,05	-0,93
0	37,5	0	102405,97	99415,98	2989,99	2,36	-2,16	0,05	-0,94
0	39	0	102206,56	99465,50	2741,05	2,24	-2,02	0,05	-0,96
0	39,5	0	102140,09	99482,01	2658,07	2,20	-1,97	0,05	-0,96
0	40,5	0	102007,15	99515,03	2492,11	2,12	-1,88	0,05	-0,97
0	41,5	0	101874,70	99544,48	2330,22	2,04	-1,79	0,05	-0,98
0	43	0	100958,78	99561,47	1397,31	1,24	-1,08	0,02	-0,60
0	43,2	0	100817,70	99563,74	1253,96	1,12	-0,97	0,02	-0,54
0	43,5	0	100606,08	99567,15	1038,93	0,93	-0,81	0,01	-0,45

Tabel 3.4

Parametrii preluăți din studiul de simulare a curgerii pentru rotorul R8

X	Y=R	Z	Presiune totală p _{tot}	Presiune statică p _{st}	Presiune dinamică p _{din}	Viteza V	Vx=Vm	Vy	Vz
[mm]	[mm]	[mm]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
0	24	0	101234,05	99318,54	1915,51	1,63	-1,58	0,02	-0,40
0	24,5	0	102099,14	99365,90	2733,24	2,32	-2,25	0,04	-0,57
0	25	0	102134,63	99380,67	2753,96	2,33	-2,26	0,05	-0,58
0	25,5	0	102166,52	99401,14	2765,38	2,34	-2,26	0,05	-0,60
0	26,5	0	102230,31	99442,10	2788,21	2,35	-2,26	0,05	-0,62
0	27,5	0	102294,09	99483,05	2811,05	2,36	-2,26	0,05	-0,65
0	28,5	0	102357,88	99524,00	2833,88	2,37	-2,27	0,04	-0,68
0	29,5	0	102421,66	99564,95	2856,71	2,38	-2,27	0,04	-0,71
0	30,5	0	102485,45	99605,90	2879,54	2,39	-2,27	0,04	-0,73
0	31,5	0	102549,23	99646,85	2902,38	2,40	-2,28	0,04	-0,76
0	32	0	102581,12	99667,33	2913,79	2,41	-2,28	0,04	-0,77
0	33,5	0	102604,47	99722,37	2882,10	2,39	-2,25	0,04	-0,81
0	35,5	0	102395,25	99774,55	2620,71	2,24	-2,08	0,04	-0,82
0	37,5	0	102186,04	99826,72	2359,32	2,09	-1,92	0,04	-0,84
0	39	0	102029,12	99865,85	2163,27	1,99	-1,79	0,04	-0,85
0	39,5	0	101976,82	99878,90	2097,92	1,95	-1,75	0,04	-0,85
0	40,5	0	101872,21	99904,98	1967,23	1,88	-1,67	0,04	-0,86
0	41,5	0	101767,93	99928,26	1839,67	1,81	-1,59	0,04	-0,87
0	43	0	101044,97	99941,87	1103,11	1,10	-0,96	0,02	-0,53
0	43,2	0	100933,62	99943,69	989,93	0,99	-0,87	0,02	-0,48
0	43,5	0	100766,59	99946,43	820,17	0,82	-0,72	0,01	-0,40

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

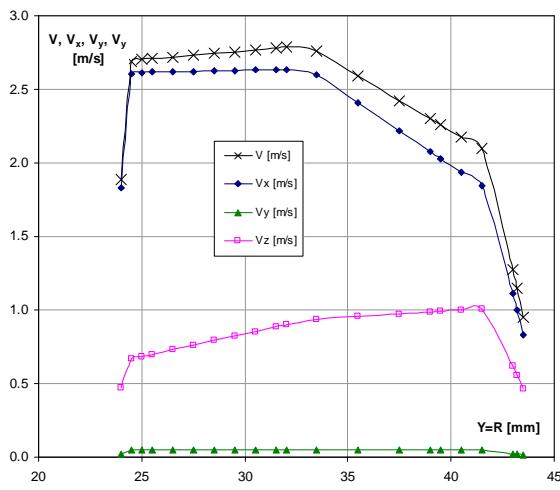


Fig. 3.12 Variația vitezelor în zona rotorului R4

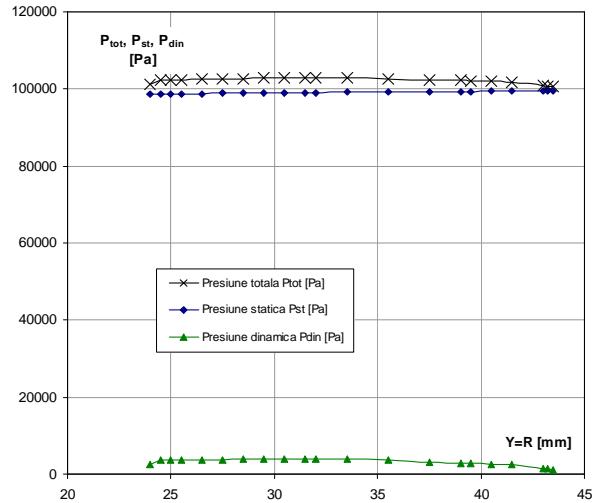


Fig. 3.13 Variația presiunilor în zona rotorului R4

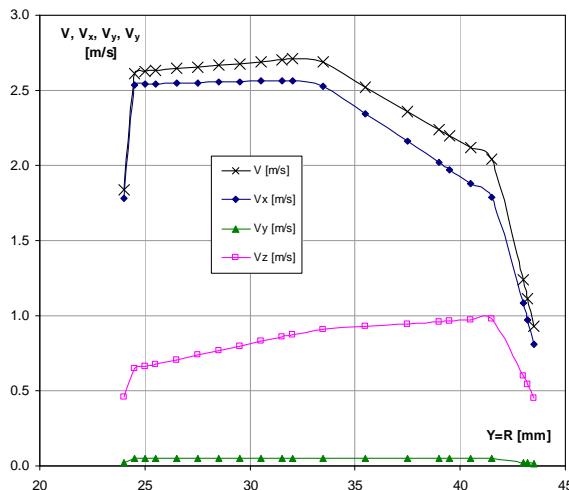


Fig. 3.14 Variația vitezelor în zona rotorului R6

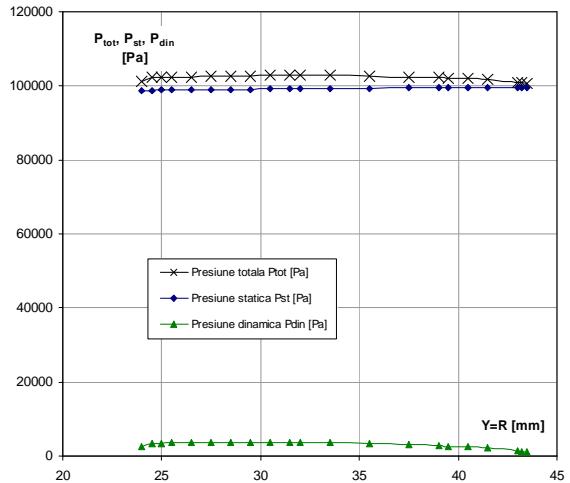


Fig. 3.15 Variația presiunilor în zona rotorului R6

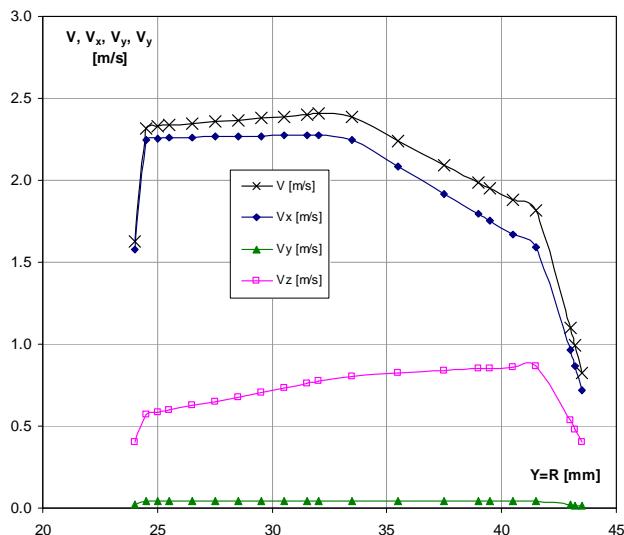


Fig. 3.16 Variația vitezelor în zona rotorului R8

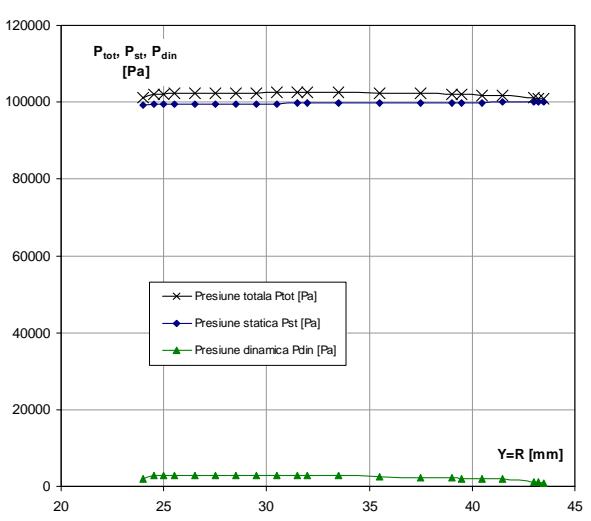


Fig. 3.17 Variația presiunilor în zona rotorului R8

3.2 Algoritmul de proiectare hidrodinamică a rotoarelor

Conform [12] „În cazul turbinelor, transferul de energie de la lichid la rotor se face prin intermediul paletajului rotoric. Mișcarea fluidului prin rotorul turbinei poate fi raportată la un reper fix, inerțial (cazul mișcării absolute, caracterizat de viteza absolută \vec{V}) sau la un reper mobil, neinerțial, solidar cu rotorul (cazul mișcării relative permanente, caracterizat de viteza relativă \vec{W} , tangentă la linia de curent relativă, care coincide cu traectoria relativă), între viteză fiind valabilă relația 3.1, unde \vec{U} este viteza de transport, care, în cazul mașinilor axiale este tangentă la cercul de rază R , al cărui plan este ortogonal pe axa mașinii. Reprezentarea grafică a relației 3.1 se numește triunghiul de viteză, unde indicele 1 reprezintă intrarea în rotor, iar indicele 2 ieșirea din rotor.”

La turbinele axiale, mișcarea principală a fluidului prin rotor este preponderent axială, ceea ce înseamnă că vitezele meridiane au doar componentă axială, iar suprafețele de curgere (pentru câmpul vitezelor absolute și relative) sunt suprafețe cilindrice, coaxiale cu axa mașinii. Pentru o suprafață de curgere aflată la raza „ r ”, vitezele meridiane și cele tangențiale de la intrare și ieșire din rotor sunt egale, conform relațiilor 3.2 și 3.3:

$$\vec{V} = \vec{W} + \vec{U} \quad (3.1) \quad V_{m1} = V_{m2} = V_m = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad 3.2) \quad U_1 = U_2 = U \quad (3.3)$$

Intersecția rotorului cu cilindrii coaxiali cu axa mașinii generează o rețea de profile, care prin aplativare formează o rețea de profile plane rectilinii. La trecerea curentului de fluid prin rotor, acesta suferă o deviație majoră, datorată diferenței de presiune dintre extradosul și intradosul paletei. Această deviație se manifestă în zona paletelor rotorice, la o distanță egală „ $t/2$ ”, precum și în zonele de dinainte și după rotor (marcate cu indicele 0 respectiv 3), unde „ t ” este pasul rețelei. Elementele unghiulare și cinematice asymptotice ale curentului la o rază oarecare „ r ” sunt definite cu ajutorul triunghiurilor de viteză, figura 3.18.

Printre elementele asymptotice sunt incluse viteza W_∞ și unghiul β_∞ , viteza W_∞ fiind o mărime de calcul mediată impusă din necesitatea exprimării portanței profilului dispus în rețea similar cu portanța stabilită de Jukovski pentru profilul singular. Relația de calcul a vitezei W_∞ este:

$$\vec{W}_\infty = \frac{\vec{W}_o + \vec{W}_3}{2} \quad (3.4)$$

Din triunghiurile de viteză rezultă următoarele expresii matematice ale elementelor unghiulare și cinematice asymptotice ale curentului la o rază oarecare „ r ”, exprimate funcție de următorii parametrii:

- k_r – coeficientul de postrotatie la ieșire din rotor;
- η_h – randamentul hidraulic;
- H – căderea de calcul;
- U_r – viteza tangențială la raza „r”;
- V_m – viteza meridiană la raza „r”, ale cărei valori sunt preluate din simularea numerică, &3.1, tabelele 3.2, 3.3, 3.4.

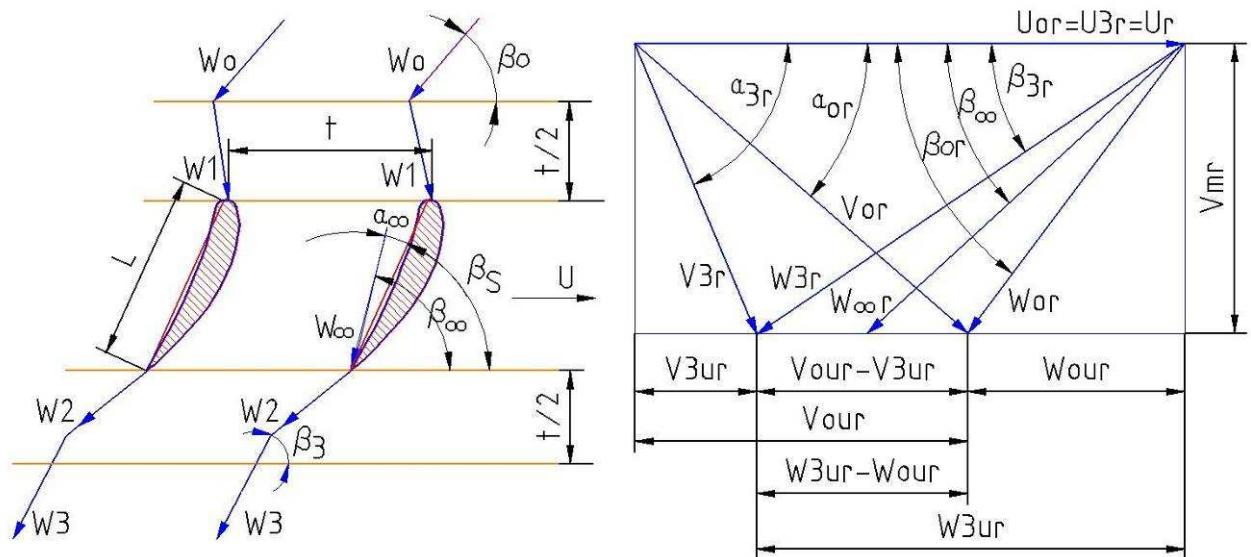


Fig. 3.18 Elemente asimptotice la intrare și ieșire din rotor

$$V_{3ur} = k_r \cdot \frac{\eta_h \cdot g \cdot H}{U_r} \quad (3.5) \quad V_{our} = (1 + k_r) \cdot \frac{\eta_h \cdot g \cdot H}{U_r} \quad (3.6)$$

$$V_{3r} = \sqrt{V_{mr}^2 + V_{3ur}^2} \quad (3.7) \quad V_{0r} = \sqrt{V_{mr}^2 + V_{our}^2} \quad (3.8)$$

$$W_{3ur} = U_r - V_{3ur} \quad (3.9) \quad W_{0ur} = U_r - V_{our} \quad (3.10)$$

$$W_{3r} = \sqrt{V_{mr}^2 + W_{3ur}^2} \quad (3.11) \quad W_{0r} = \sqrt{V_{mr}^2 + W_{0ur}^2} \quad (3.12)$$

$$\tan(\alpha_3) = \frac{V_{mr}}{V_{3ur}} \quad (3.13) \quad \tan(\alpha_0) = \frac{V_{mr}}{V_{0ur}} \quad (3.14)$$

$$\tan(\beta_3) = \frac{U_r - V_{3ur}}{V_{mr}} \quad (3.15) \quad \tan(\beta_0) = \frac{U_r - V_{0ur}}{V_{mr}} \quad (3.16)$$

$$W_{\infty r} = \frac{V_{mr}}{\sin(\beta_{\infty r})} \quad (3.17) \quad \tan(\beta_{\infty r}) = \frac{V_{mr}}{U_r - \frac{V_{our} + V_{3ur}}{2}} = \frac{V_{mr}}{U_r - \frac{\eta_h \cdot g \cdot H}{2 \cdot U_r} (1 + 2 \cdot k_r)} \quad (3.18)$$

$$\beta_{sr} = \beta_{\infty r} - \alpha_{\infty r}$$

$$(3.19) \quad \lambda_r = \beta_{sr} - \frac{\pi}{2} \quad (3.20)$$

Unghiul λ este unghiul de instalare al rețelei de profile, care ia valori între $(-\frac{\pi}{2}, 0)$ pentru rețele de turbină, iar α_∞ este unghiul de incidență al curentului.

Proiectarea paletei rotorului s-a realizat cu aplicația informatică prezentată în [50], ce utilizează algoritmul metodei prof. O. Popa de dimensionare a rețelelor de profile, bazată pe reprezentarea conformă [63] și extins de prof. V. Câmpian [13]:

- Specificare date de intrare;
- Calcul parametrii principali ai rotorului;
- Calcul elemente asymptotice (unghiulare și cinematice) ale curentului;
- Calcul coeficienți Fourier ai profilelor și săgeata profile f/L;
- Calcul profile, distribuție de viteze și coeficienți de presiune profile;
- Calcul poziție ax rotație profile;
- Calcul coordonate spațiale profile și export coordonate în fișiere pentru Microsoft Excel și SolidWorks.

Datele de intrare în programul de proiectare a paleterelor rotorice, constante și variabile funcție de rază, sunt prezentate în **tabelul 3.5**:

Tabel 3.5

<i>Date de intrare constante pentru proiectarea paletei rotorice</i>			<i>Date de intrare variabile funcție de rază pentru proiectarea paletei rotorice</i>	
Identifier rotor	-	-	Pas relativ	$t/l = f(R)$
Număr secțiuni de calcul	NS	-	Randament hidraulic	$\eta_h = f(R)$
Turația unitară	n_{11}	rot/min	Unghi de incidență	$\alpha_\infty = f(R)$
Debit unitar	Q_{11}	m^3/s	Coeficient de postrotație la ieșire din rotor	$K_r = f(R)$
Cădere de calcul	H	m		
Diametru rotor	D	mm	Poziția săgeții maxime	$X_{FR} = f(R)$
Diametru relativ butuc d/D	v	-	Grosimea maximă	$d/L = f(R)$
Număr palete rotor	Z	buc	Poziția grosimii maxime	$X_{DR} = f(R)$
Pozitie ax rotație	-	%	Rotunjirea la bordul de fugă	$\epsilon = f(R)$
Secțiune definire ax rotație	-	-	Viteza meridiană	$V_{mR} = f(R)$

3.3 Proiectarea hidrodinamică a rotorului R4

Rotorul R4 este un rotor cu 4 palete. Datele de proiectare a paletelor rotorice, constante și variabile funcție de rază, sunt prezentate în **tabelele 3.6 respectiv 3.7.**

Tabel 3.6

Date de proiectare rotor R4

Tip rotor	-	-	R4
Număr secțiuni calcul	-	-	6
Turația unitară	n_{11}	rot/min	155
Debit unitar	Q_{11}	m^3/s	1,6
Cădere de calcul	H	m	0,742
Diametru rotor	D	mm	89
Diametru relativ butuc	v	-	0,5258
Număr palete rotor	Z_R	buc	4
Pozitie ax rotație	-	%	55
Secțiune de definire a axului de rotație	-	-	6

Tabel 3.7

Date de proiectare rotor R4 variabile funcție de rază

R	t/l	η_h	α_∞	K_r	X_{FR}	d/L	X_{DR}	ϵ	Vm_R
mm	-	-	grade	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	m/s
25,0	1,1011	0,8	2,796	-0,2006	-0,050	0,130	-0,15	2,6	2,656
28,5	1,1207	0,8	2,235	-0,1229	-0,050	0,114	-0,15	2,6	2,657
32,0	1,1403	0,8	1,794	-0,0452	-0,050	0,099	-0,15	2,6	2,586
35,5	1,1599	0,8	1,472	0,0325	-0,050	0,083	-0,15	2,6	2,444
39,0	1,1795	0,8	1,271	0,1102	-0,050	0,068	-0,15	2,6	2,232
43,0	1,2019	0,8	1,189	0,1990	-0,050	0,050	-0,15	2,6	1,902

Valorile vitezei meridiane Vm_R sunt preluate din simularea numerică &3.1, tabelul 3.2, pentru razele de calcul $R=25, 28,5, 32, 35,5, 39, 43$ mm, figura 3.19, curba „Flow Simulation”. Se observă faptul că această curbă are o cădere bruscă spre exterior (la raza periferică $R=43$ mm). Calculul rotorului cu această valoare generează o paletă exagerat de torsionată. Pentru comparație, în același grafic este reprezentată și curba „Viteza medie constantă”, a cărei valoare rezultă din relația 3.2. În consecință, pentru proiectarea rotorului, s-a utilizat curba „Interpolare viteza medie”, care trece foarte aproape de punctele corespunzătoare razelor $R=25, 28,5, 32, 35,5$ mm, iar pentru razele $R=39, 43$ mm s-au adoptat valori mai ridicate față de curba „Flow Simulation”, dar inferioare curbei „Viteza medie constantă”, cu expresia matematică:

$$Vm_R = -0,0029 \times R^2 + 0,1553 \times R + 0,586 \quad (3.21)$$

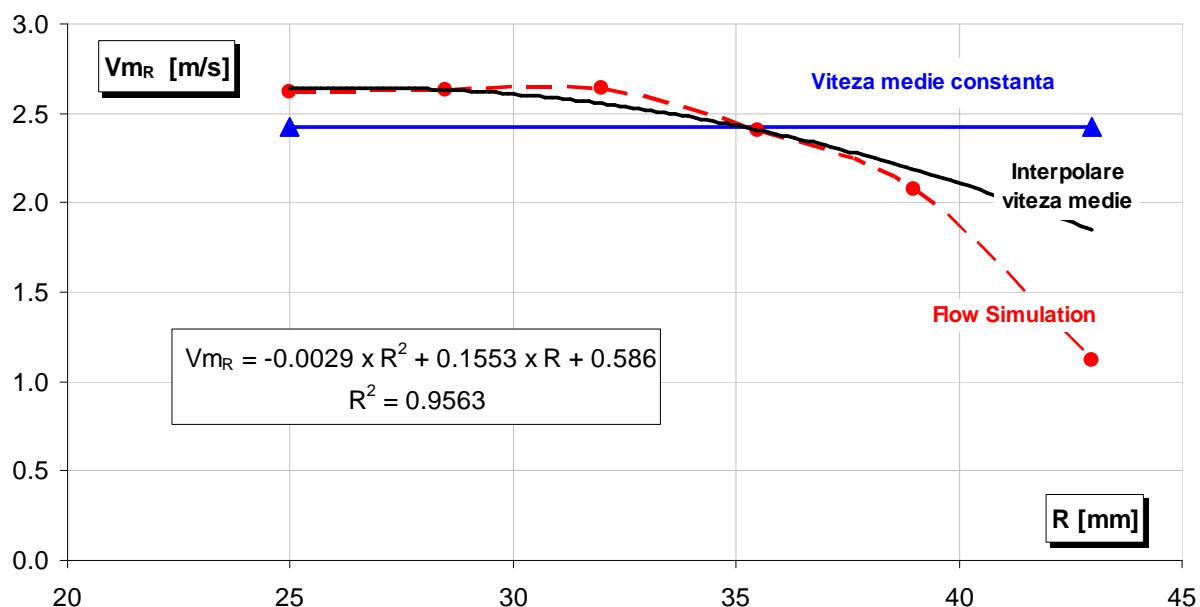


Fig. 3.19 Variația vitezei meridiane funcție de razele de calcul pentru rotorul R4

Figura 3.20 prezintă variația pasului relativ t/l și a unghiului de incidentă α_∞ funcție de razele de calcul pentru rotorul R4. Figura 3.21 prezintă variația poziției săgeții X_{FR} , grosimii X_{DR} și a grosimii d/L relative funcție de razele de calcul pentru rotorul R4. Figura 3.22 prezintă variația randamentului hidraulic η_h și a coeficientului de postrotatie K_r funcție de razele de calcul pentru rotorul R4. Figura 3.23 prezintă variația coeficientului de portanță C_A și a săgeții relative f/L funcție de razele de calcul pentru rotorul R4. Figura 3.24 prezintă variația vitezelor absolute V_{ou} , V_{3u} , a vitezei relative W_∞ , a vitezei tangențiale U și meridiane V_{mR} funcție de razele de calcul pentru rotorul R4. Figura 3.25 prezintă variația unghiurilor β_∞ , β_s , λ funcție de razele de calcul pentru rotorul R4. Figura 3.26 prezintă variația lungimii profilelor L funcție de razele de calcul pentru rotorul R4.

Figurile 3.27 ÷ 3.32 prezintă forma profilelor pentru rotorul R4. Figurile 3.33 ÷ 3.68 prezintă variațiile $X=f(\phi)$, $Y=f(\phi)$, $V_t=f(\phi)$, $C_p=f(\phi)$, $V_t=f(X)$, $C_p=f(X)$ pentru secțiunile 1 ÷ 6. Figurile 3.69 ÷ 3.74 prezintă vederi 3D a rotorului, intersecții cu plane radiale și plane de nivel.

Tabelul 3.8 prezintă mărimele constante calculate pentru rotorul R4. Tabelul 3.9 prezintă elementele asimptotice calculate pentru rotorul R4, variabile funcție de rază. Tabelele 3.10 ÷ 3.15 prezintă coordonatele calculate ale profilului pentru secțiunile 1 ÷ 6, iar 3.16 ÷ 3.21 valorile vitezelor tangențiale la profil și coeficientul de presiune pentru rotorul R4.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

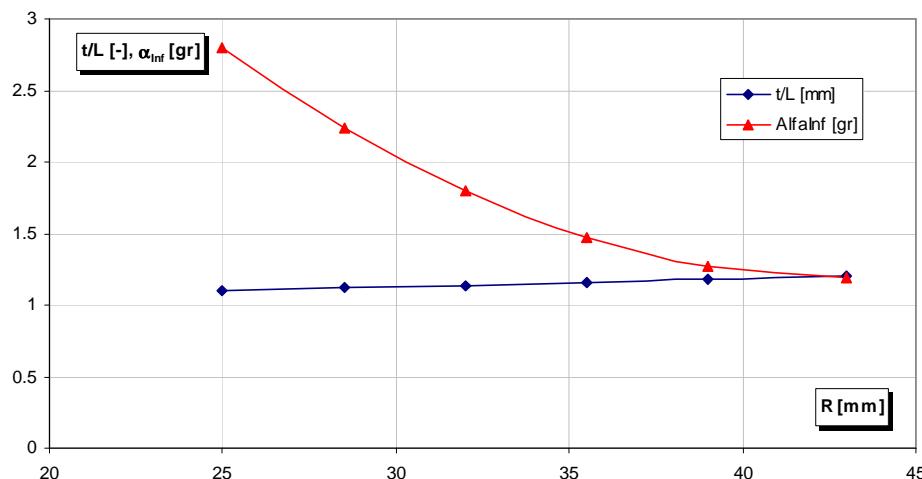


Fig. 3.20 Variația pasului relativ și a unghiului de incidență funcție de razele de calcul pentru rotorul R4

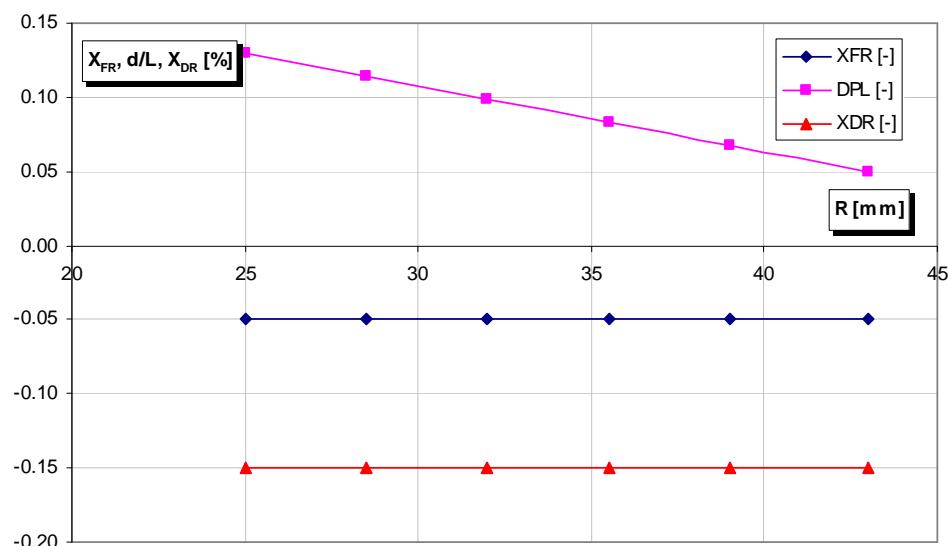


Fig. 3.21 Variația poziției săgeții, grosimii și a grosimii funcție de razele de calcul pentru rotorul R4

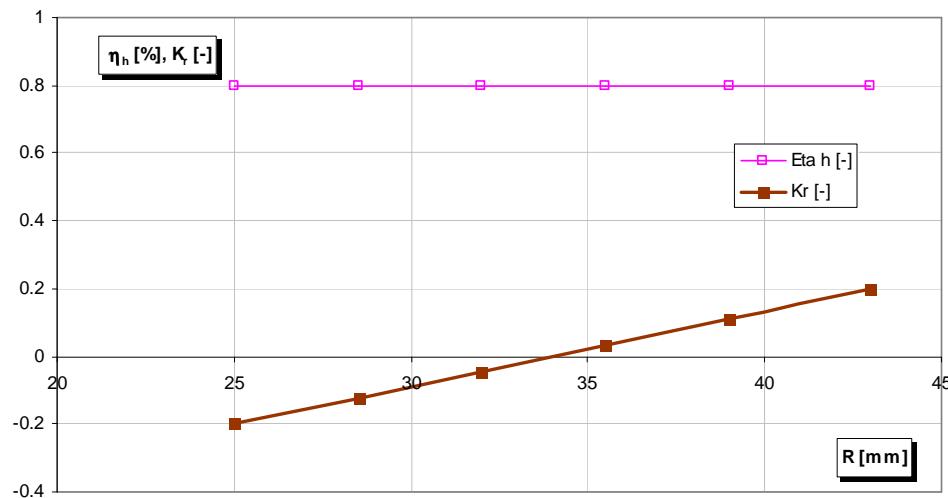


Fig. 3.22 Variația randamentului hidraulic și a coeficientului de postrotație funcție de razele de calcul pentru rotorul R4

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

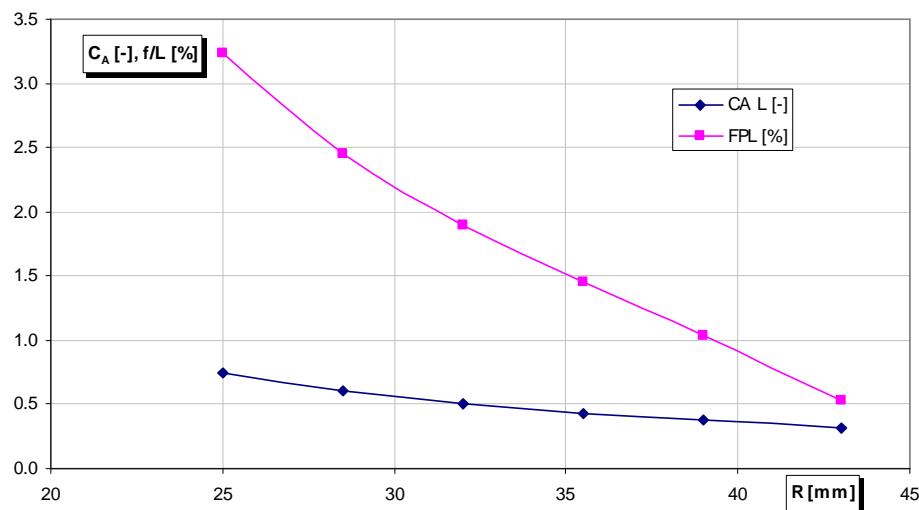


Fig. 3.23 Variația coeficientului de portanță și a săgeții relative funcție de razele de calcul pentru rotorul R4

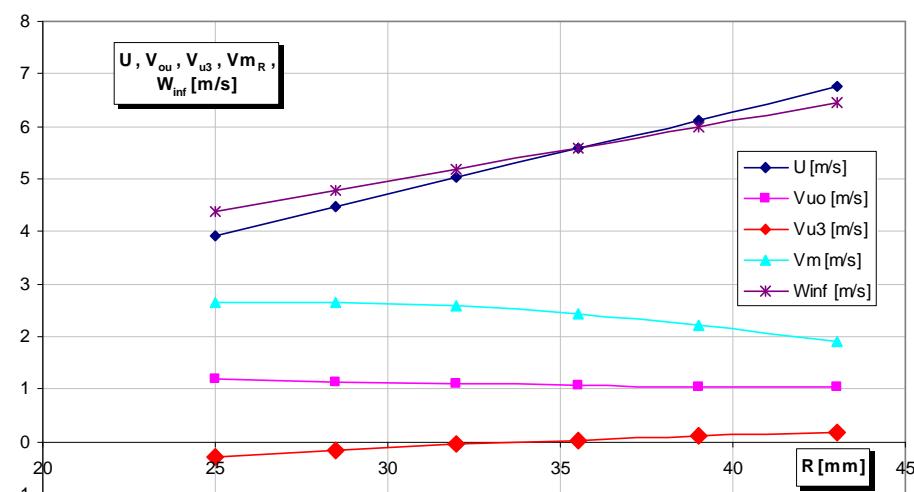


Fig. 3.24 Variația vitezelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R4

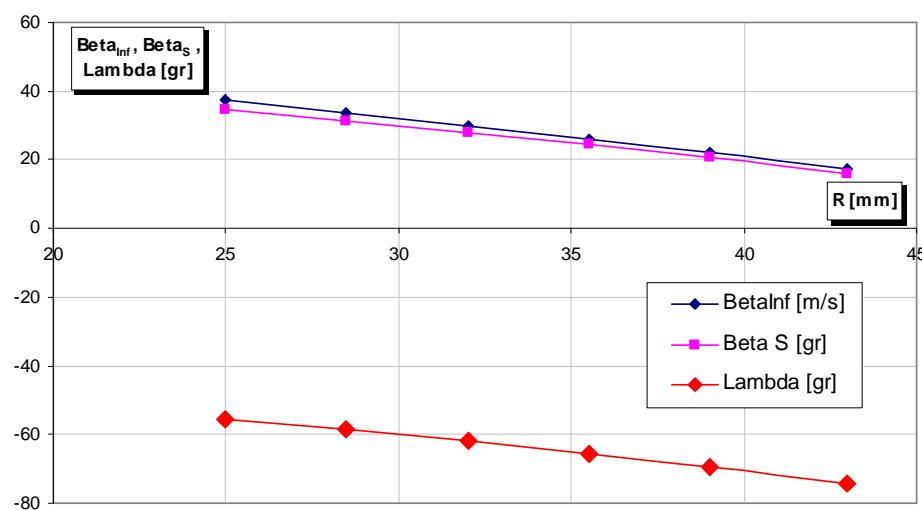


Fig. 3.25 Variația unghiurilor funcție de razele de calcul pentru rotorul R4

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

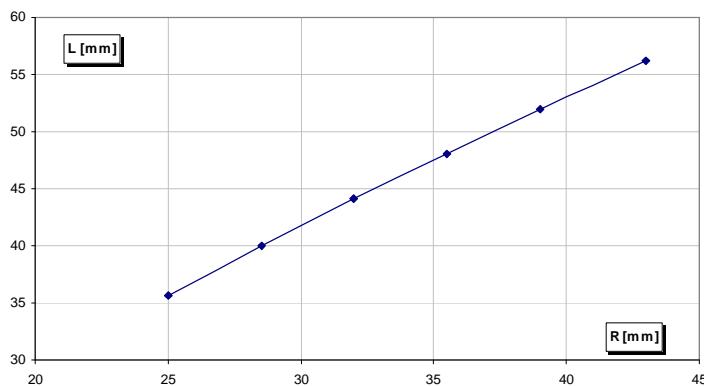


Fig. 3.26 Variația lungimii profilelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R4

Tabel 3.8

Mărimi constante calculate pentru rotorul rotorul R4

Turătie unitara de calcul	n_{11}	rot/min	155	Diametru periferie rotor	D	mm	89
Debit unitar de calcul	Q_{11}	m^3/s	1,6	Diametru butuc rotor	d	mm	46,8
Turătie de calcul	n	rot/min	1500	Raza periferie rotor	R=D/2	mm	44,5
Debit de calcul	Q	m^3/s	0,0109	Raza butuc rotor	R=d/2	mm	23,4
Viteza meridiană	V_m	m/s	2,425				

Tabel 3.9

Elemente asimptotice calculate pentru rotorul R4 variabile funcție de rază

R	L	U	V_{u0}	V_{u3}	V_{mR}	β_∞	W_∞
mm	mm	m/s	m/s	m/s	m/s	gr	m/s
25,00	35,664	3,927	1,185	-0,297	2,656	37,3255	4,3804
28,50	39,946	4,477	1,140	-0,160	2,657	33,6784	4,7906
32,00	44,081	5,027	1,105	-0,052	2,586	29,8847	5,1901
35,50	48,076	5,576	1,078	0,034	2,444	25,9606	5,5840
39,00	51,938	6,126	1,055	0,105	2,232	21,9191	5,9786
43,00	56,198	6,754	1,033	0,171	1,902	17,1778	6,4394
R	C_a	β_s	λ	Γ_R	f/L	α_1	α_2
mm	-	gr	gr	m^2/s	%	gr	gr
25,00	0,7451	34,5295	-55,4705	0,186092	3,231	65,9609	96,3865
28,50	0,6082	31,4436	-58,5564	0,20418	2,453	66,7703	93,4417
32,00	0,5088	28,0911	-61,9089	0,222267	1,897	66,8542	91,1593
35,50	0,4336	24,4881	-65,5119	0,240355	1,451	66,2108	89,2050
39,00	0,3748	20,6477	-69,3523	0,258443	1,037	64,7061	87,3144
43,00	0,3216	15,9892	-74,0108	0,279114	0,530	61,4887	84,8483
R	β_1	β_2	$\Delta\beta_s$	$\Delta\beta_{12}$	t	L	d
mm	gr	gr	gr	gr	mm	mm	mm
25,00	44,0842	32,1595	0,0000	11,92	39,27	35,66	4,64
28,50	38,5264	29,8107	3,0858	8,72	44,77	39,95	4,57
32,00	33,4053	26,9837	3,3526	6,42	50,27	44,08	4,36
35,50	28,5177	23,7994	3,6030	4,72	55,76	48,08	4,01
39,00	23,7530	20,3369	3,8403	3,42	61,26	51,94	3,52
43,00	18,3870	16,1139	4,6585	2,27	67,54	56,20	2,81

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.10

*Coordonatele profilului secțiunea 1
pentru rotorul R4*

Secțiunea 1 R=25 mm L=35,66 mm						Secțiunea 2 R=28,5 mm L=39,95 mm					
φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d	φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d
gr	mm	mm	mm	mm	mm	gr	mm	mm	mm	mm	mm
0	35,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0	39,95	0,00	0,00	0,00	0,00
5	35,60	0,12	-0,11	0,01	0,23	5	39,87	0,12	-0,11	0,01	0,23
10	35,39	0,26	-0,20	0,03	0,46	10	39,64	0,25	-0,21	0,02	0,46
15	35,06	0,41	-0,29	0,06	0,70	15	39,27	0,40	-0,29	0,05	0,69
20	34,59	0,58	-0,36	0,11	0,94	20	38,74	0,56	-0,37	0,09	0,93
25	33,99	0,76	-0,43	0,17	1,19	25	38,07	0,73	-0,44	0,14	1,17
30	33,28	0,95	-0,49	0,23	1,44	30	37,27	0,91	-0,51	0,20	1,42
35	32,44	1,16	-0,54	0,31	1,70	35	36,33	1,10	-0,57	0,27	1,68
40	31,49	1,38	-0,59	0,40	1,97	40	35,27	1,31	-0,63	0,34	1,94
45	30,44	1,61	-0,63	0,49	2,24	45	34,10	1,52	-0,69	0,41	2,21
50	29,29	1,84	-0,68	0,58	2,51	50	32,81	1,73	-0,74	0,49	2,48
55	28,06	2,07	-0,72	0,67	2,78	55	31,43	1,95	-0,80	0,57	2,75
60	26,75	2,29	-0,76	0,77	3,05	60	29,96	2,16	-0,85	0,65	3,01
65	25,37	2,51	-0,80	0,86	3,32	65	28,41	2,36	-0,91	0,73	3,27
70	23,93	2,72	-0,85	0,94	3,57	70	26,80	2,56	-0,96	0,80	3,52
75	22,45	2,91	-0,90	1,01	3,81	75	25,14	2,73	-1,02	0,86	3,75
80	20,93	3,08	-0,94	1,07	4,02	80	23,44	2,89	-1,08	0,91	3,97
85	19,39	3,22	-0,99	1,11	4,21	85	21,71	3,02	-1,13	0,94	4,15
90	17,83	3,33	-1,05	1,14	4,37	90	19,97	3,13	-1,19	0,97	4,31
95	16,28	3,40	-1,10	1,15	4,50	95	18,23	3,20	-1,24	0,98	4,44
100	14,74	3,44	-1,15	1,15	4,59	100	16,50	3,24	-1,29	0,97	4,52
105	13,22	3,44	-1,19	1,12	4,63	105	14,80	3,24	-1,33	0,95	4,57
110	11,73	3,39	-1,24	1,08	4,63	110	13,14	3,20	-1,37	0,92	4,57
115	10,30	3,31	-1,27	1,02	4,58	115	11,53	3,12	-1,39	0,87	4,52
120	8,92	3,19	-1,30	0,94	4,48	120	9,99	3,01	-1,41	0,80	4,42
125	7,60	3,02	-1,31	0,86	4,34	125	8,52	2,87	-1,41	0,73	4,28
130	6,37	2,83	-1,31	0,76	4,14	130	7,13	2,68	-1,40	0,64	4,08
135	5,22	2,60	-1,29	0,65	3,89	135	5,85	2,47	-1,36	0,56	3,83
140	4,17	2,34	-1,25	0,55	3,59	140	4,67	2,24	-1,31	0,46	3,54
145	3,22	2,06	-1,19	0,44	3,25	145	3,61	1,98	-1,23	0,37	3,21
150	2,39	1,77	-1,10	0,34	2,87	150	2,68	1,70	-1,13	0,29	2,83
155	1,67	1,47	-0,98	0,24	2,45	155	1,87	1,41	-1,00	0,21	2,42
160	1,08	1,16	-0,84	0,16	2,00	160	1,20	1,12	-0,85	0,14	1,97
165	0,61	0,85	-0,67	0,09	1,52	165	0,68	0,83	-0,67	0,08	1,50
170	0,27	0,56	-0,47	0,04	1,03	170	0,30	0,54	-0,47	0,04	1,01
175	0,07	0,27	-0,25	0,01	0,52	175	0,08	0,26	-0,25	0,01	0,51
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L=X _{max}	35,66	f _{max}	d _{max}	1,15	4,63	L=X _{max}	39,95	f _{max}	d _{max}	0,98	4,57
		f/L _{max}	d/L _{max}	3,231	12,987			f/L _{max}	d/L _{max}	2,452	11,432

Tabel 3.11

*Coordonatele profilului secțiunea 2
pentru rotorul R4*

Tabel 3.12

*Coordonatele profilului secțiunea 3
pentru rotorul R4*

Secțiunea 3 R=32 mm L=44,08 mm						Secțiunea 4 R=35,5 mm L=48,08 mm					
φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d	φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d
gr	mm	mm	mm	mm	mm	gr	mm	mm	mm	mm	mm
0	44,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0	48,08	0,00	0,00	0,00	0,00
5	44,00	0,11	-0,10	0,00	0,22	5	47,98	0,10	-0,10	0,00	0,20
10	43,75	0,24	-0,20	0,02	0,44	10	47,71	0,22	-0,18	0,02	0,40
15	43,33	0,37	-0,28	0,04	0,66	15	47,26	0,34	-0,27	0,04	0,60
20	42,75	0,52	-0,36	0,08	0,88	20	46,63	0,47	-0,34	0,07	0,81
25	42,02	0,68	-0,44	0,12	1,12	25	45,82	0,61	-0,41	0,10	1,03
30	41,13	0,85	-0,51	0,17	1,36	30	44,86	0,76	-0,48	0,14	1,25
35	40,09	1,03	-0,57	0,23	1,60	35	43,73	0,92	-0,55	0,19	1,47
40	38,92	1,21	-0,64	0,29	1,85	40	42,45	1,09	-0,61	0,24	1,70
45	37,63	1,41	-0,70	0,35	2,10	45	41,04	1,26	-0,67	0,29	1,93
50	36,21	1,60	-0,76	0,42	2,36	50	39,49	1,44	-0,73	0,35	2,17
55	34,68	1,80	-0,82	0,49	2,62	55	37,83	1,61	-0,79	0,41	2,41
60	33,06	1,99	-0,88	0,56	2,87	60	36,06	1,78	-0,86	0,46	2,64
65	31,36	2,18	-0,94	0,62	3,12	65	34,20	1,95	-0,92	0,52	2,87
70	29,58	2,36	-1,00	0,68	3,36	70	32,26	2,11	-0,98	0,57	3,08
75	27,74	2,52	-1,06	0,73	3,58	75	30,26	2,25	-1,03	0,61	3,29
80	25,87	2,66	-1,12	0,77	3,78	80	28,21	2,38	-1,09	0,65	3,48
85	23,96	2,79	-1,17	0,81	3,96	85	26,13	2,49	-1,15	0,67	3,64
90	22,04	2,88	-1,23	0,83	4,11	90	24,04	2,58	-1,20	0,69	3,78
95	20,12	2,95	-1,28	0,84	4,23	95	21,94	2,64	-1,25	0,70	3,89
100	18,21	2,99	-1,32	0,83	4,31	100	19,86	2,68	-1,29	0,69	3,96
105	16,34	2,99	-1,36	0,81	4,35	105	17,82	2,68	-1,32	0,68	4,00
110	14,50	2,96	-1,39	0,78	4,35	110	15,82	2,65	-1,35	0,65	4,00
115	12,73	2,89	-1,42	0,74	4,31	115	13,88	2,60	-1,36	0,62	3,96
120	11,02	2,79	-1,42	0,68	4,22	120	12,02	2,51	-1,37	0,57	3,88
125	9,40	2,66	-1,42	0,62	4,08	125	10,25	2,39	-1,36	0,52	3,75
130	7,87	2,50	-1,39	0,55	3,89	130	8,59	2,25	-1,33	0,46	3,58
135	6,46	2,30	-1,35	0,47	3,66	135	7,04	2,08	-1,28	0,40	3,36
140	5,16	2,09	-1,29	0,40	3,38	140	5,62	1,88	-1,22	0,33	3,11
145	3,99	1,85	-1,21	0,32	3,06	145	4,35	1,67	-1,14	0,27	2,81
150	2,95	1,59	-1,11	0,24	2,70	150	3,22	1,44	-1,04	0,20	2,48
155	2,07	1,33	-0,98	0,18	2,31	155	2,25	1,21	-0,91	0,15	2,12
160	1,33	1,06	-0,83	0,12	1,88	160	1,45	0,96	-0,77	0,10	1,73
165	0,75	0,78	-0,65	0,07	1,43	165	0,82	0,71	-0,60	0,06	1,32
170	0,33	0,51	-0,45	0,03	0,97	170	0,37	0,47	-0,42	0,03	0,89
175	0,08	0,25	-0,24	0,01	0,49	175	0,09	0,23	-0,22	0,01	0,45
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L=X _{max}	44,08	f _{max}	d _{max}	0,84	4,35	L=X _{max}	48,08	f _{max}	d _{max}	0,70	4,00
		f/L _{max}	d/L _{max}	1,897	9,878			f/L _{max}	d/L _{max}	1,451	8,325

Tabel 3.13

*Coordonatele profilului secțiunea 4
pentru rotorul R4*

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.14

*Coordonatele profilului secțiunea 5
pentru rotorul R4*

Secțiunea 5 R=39 mm L=51,94 mm						Secțiunea 6 R=43 mm L=56,20 mm					
φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d	φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d
gr	mm	mm	mm	mm	mm	gr	mm	mm	mm	mm	mm
0	51,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0	56,20	0,00	0,00	0,00	0,00
5	51,84	0,09	-0,08	0,00	0,18	5	56,09	0,07	-0,07	0,00	0,14
10	51,54	0,19	-0,16	0,01	0,35	10	55,77	0,15	-0,13	0,01	0,28
15	51,05	0,29	-0,24	0,03	0,53	15	55,24	0,23	-0,20	0,02	0,42
20	50,37	0,41	-0,31	0,05	0,71	20	54,50	0,31	-0,26	0,03	0,57
25	49,51	0,53	-0,37	0,08	0,90	25	53,57	0,40	-0,32	0,04	0,72
30	48,46	0,66	-0,44	0,11	1,09	30	52,43	0,50	-0,38	0,06	0,87
35	47,24	0,79	-0,50	0,15	1,29	35	51,12	0,60	-0,44	0,08	1,03
40	45,86	0,93	-0,56	0,19	1,49	40	49,62	0,70	-0,49	0,10	1,19
45	44,33	1,08	-0,62	0,23	1,70	45	47,97	0,80	-0,55	0,13	1,36
50	42,66	1,22	-0,68	0,27	1,91	50	46,16	0,91	-0,61	0,15	1,52
55	40,86	1,37	-0,74	0,32	2,11	55	44,22	1,02	-0,67	0,17	1,69
60	38,95	1,52	-0,80	0,36	2,32	60	42,15	1,12	-0,73	0,20	1,85
65	36,94	1,66	-0,86	0,40	2,52	65	39,97	1,23	-0,78	0,22	2,01
70	34,85	1,79	-0,92	0,44	2,71	70	37,71	1,32	-0,84	0,24	2,16
75	32,69	1,92	-0,97	0,47	2,89	75	35,37	1,41	-0,89	0,26	2,31
80	30,48	2,03	-1,03	0,50	3,05	80	32,98	1,49	-0,94	0,28	2,44
85	28,23	2,12	-1,08	0,52	3,20	85	30,55	1,56	-0,99	0,29	2,55
90	25,97	2,19	-1,13	0,53	3,32	90	28,10	1,62	-1,03	0,29	2,65
95	23,71	2,25	-1,17	0,54	3,42	95	25,65	1,66	-1,07	0,30	2,73
100	21,46	2,28	-1,21	0,54	3,48	100	23,22	1,69	-1,09	0,30	2,78
105	19,25	2,28	-1,23	0,52	3,52	105	20,83	1,69	-1,11	0,29	2,81
110	17,09	2,26	-1,25	0,50	3,52	110	18,49	1,68	-1,13	0,28	2,81
115	14,99	2,22	-1,26	0,48	3,48	115	16,22	1,65	-1,13	0,26	2,78
120	12,98	2,14	-1,26	0,44	3,41	120	14,05	1,60	-1,12	0,24	2,72
125	11,07	2,05	-1,25	0,40	3,29	125	11,98	1,54	-1,09	0,22	2,63
130	9,28	1,93	-1,22	0,35	3,14	130	10,04	1,45	-1,06	0,20	2,51
135	7,61	1,78	-1,17	0,31	2,95	135	8,23	1,35	-1,01	0,17	2,36
140	6,08	1,62	-1,11	0,26	2,73	140	6,57	1,23	-0,95	0,14	2,18
145	4,70	1,44	-1,03	0,20	2,47	145	5,08	1,10	-0,87	0,11	1,97
150	3,48	1,25	-0,93	0,16	2,18	150	3,76	0,96	-0,78	0,09	1,74
155	2,43	1,04	-0,82	0,11	1,86	155	2,63	0,81	-0,68	0,06	1,49
160	1,57	0,83	-0,69	0,07	1,52	160	1,69	0,65	-0,57	0,04	1,21
165	0,88	0,62	-0,54	0,04	1,16	165	0,96	0,49	-0,44	0,02	0,92
170	0,39	0,41	-0,37	0,02	0,78	170	0,43	0,32	-0,30	0,01	0,62
175	0,10	0,20	-0,19	0,00	0,39	175	0,11	0,16	-0,15	0,00	0,31
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L=X _{max}	51,94	f _{max}	d _{max}	0,54	3,52	L=X _{max}	56,20	f _{max}	d _{max}	0,30	2,81
		f/L _{max}	d/L _{max}	1,037	6,771			f/L _{max}	d/L _{max}	0,530	4,996

Tabel 3.15

*Coordonatele profilului secțiunea 6
pentru rotorul R4*

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

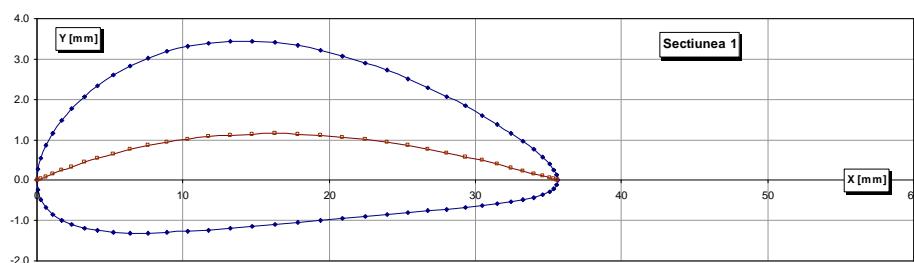


Fig. 3.27 Profilul și scheletul secțiunii 1 pentru rotorul R4

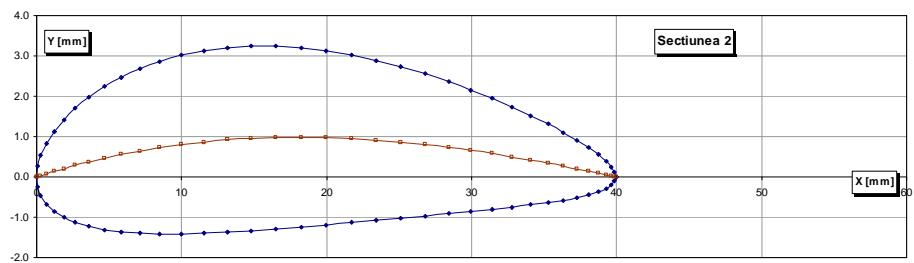


Fig. 3.28 Profilul și scheletul secțiunii 2 pentru rotorul R4

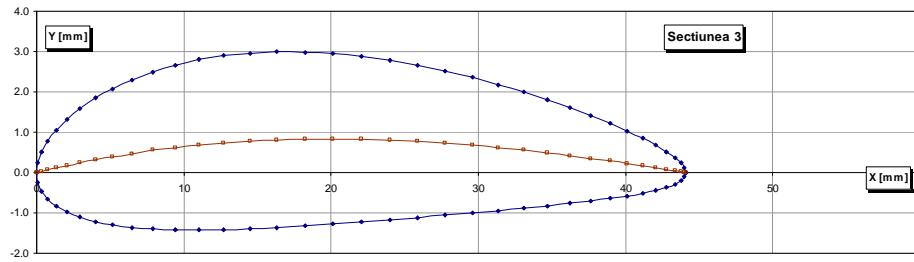


Fig. 3.29 Profilul și scheletul secțiunii 3 pentru rotorul R4

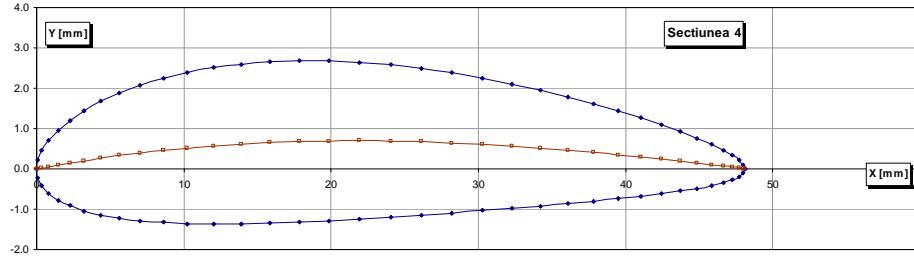


Fig. 3.30 Profilul și scheletul secțiunii 4 pentru rotorul R4

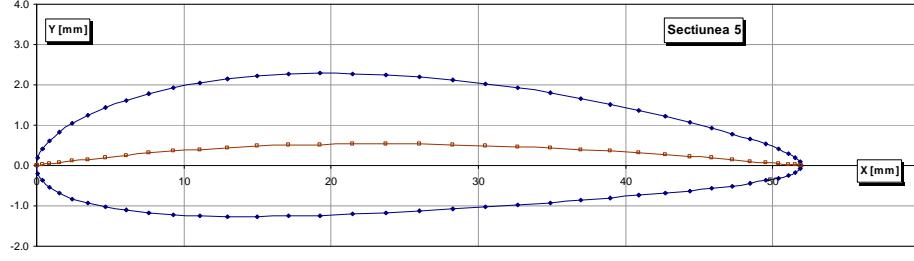


Fig. 3.31 Profilul și scheletul secțiunii 5 pentru rotorul R4

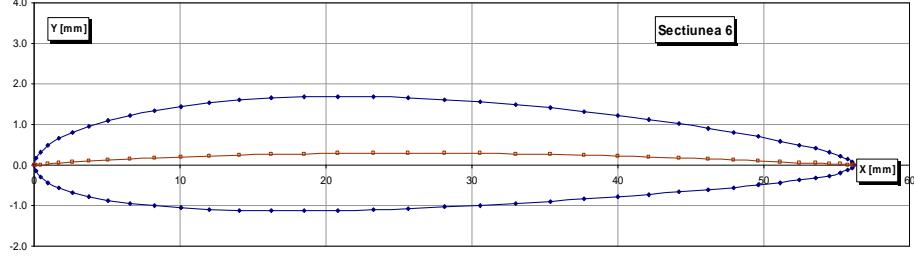


Fig. 3.32 Profilul și scheletul secțiunii 6 pentru rotorul R4

Tabel 3.16

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 1 rotorul R4

	φ	X	V _t	C _p		φ	X	V _t	C _p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	35,66	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	2,4326	0,6916
Extrados	5	35,60	3,5756	0,3337	Intrados	185	0,07	0,2130	0,9976
	10	35,39	4,4007	-0,0093		190	0,27	2,1103	0,7679
	15	35,06	4,6797	-0,1413		195	0,61	3,0862	0,5036
	20	34,59	4,8298	-0,2157		200	1,08	3,5661	0,3372
	25	33,99	4,9371	-0,2703		205	1,67	3,8107	0,2432
	30	33,28	5,0249	-0,3159		210	2,39	3,9453	0,1888
	35	32,44	5,1050	-0,3582		215	3,22	4,0191	0,1582
	40	31,49	5,1825	-0,3998		220	4,17	4,0580	0,1418
	45	30,44	5,2583	-0,4410		225	5,22	4,0801	0,1324
	50	29,29	5,3339	-0,4827		230	6,37	4,0921	0,1273
	55	28,06	5,4095	-0,5251		235	7,60	4,0996	0,1241
	60	26,75	5,4849	-0,5679		240	8,92	4,1061	0,1213
	65	25,37	5,5596	-0,6109		245	10,30	4,1136	0,1181
	70	23,93	5,6329	-0,6536		250	11,73	4,1238	0,1137
	75	22,45	5,7038	-0,6955		255	13,22	4,1375	0,1078
	80	20,93	5,7715	-0,7360		260	14,74	4,1552	0,1002
	85	19,39	5,8347	-0,7742		265	16,28	4,1772	0,0906
	90	17,83	5,8923	-0,8095		270	17,83	4,2034	0,0791
	95	16,28	5,9433	-0,8409		275	19,39	4,2337	0,0658
	100	14,74	5,9865	-0,8678		280	20,93	4,2674	0,0509
	105	13,22	6,0212	-0,8895		285	22,45	4,3040	0,0345
	110	11,73	6,0464	-0,9053		290	23,93	4,3431	0,0170
	115	10,30	6,0616	-0,9150		295	25,37	4,3835	-0,0014
	120	8,92	6,0667	-0,9182		300	26,75	4,4248	-0,0204
	125	7,60	6,0613	-0,9148		305	28,06	4,4661	-0,0395
	130	6,37	6,0455	-0,9048		310	29,29	4,5067	-0,0585
	135	5,22	6,0198	-0,8886		315	30,44	4,5464	-0,0772
	140	4,17	5,9840	-0,8662		320	31,49	4,5845	-0,0954
	145	3,22	5,9370	-0,8370		325	32,44	4,6207	-0,1127
	150	2,39	5,8767	-0,7999		330	33,28	4,6543	-0,1290
	155	1,67	5,8018	-0,7543		335	33,99	4,6819	-0,1424
	160	1,08	5,6922	-0,6887		340	34,59	4,6997	-0,1511
	165	0,61	5,5178	-0,5868		345	35,06	4,6858	-0,1443
	170	0,27	5,1606	-0,3880		350	35,39	4,5679	-0,0874
	175	0,07	4,2691	0,0501		355	35,60	3,9185	0,1997
BA	180	0,00	2,4326	0,6916	BF	360	35,66	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.17

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 2 rotorul R4

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	39,95	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	2,5853	0,7088
Extrados	5	39,87	4,0905	0,2709	Intrados	185	0,08	0,5938	0,9846
	10	39,64	4,8523	-0,0259		190	0,30	2,6525	0,6934
	15	39,27	5,0997	-0,1332		195	0,68	3,6046	0,4339
	20	38,74	5,2273	-0,1906		200	1,20	4,0686	0,2787
	25	38,07	5,3194	-0,2330		205	1,87	4,3045	0,1927
	30	37,27	5,3954	-0,2684		210	2,68	4,4357	0,1427
	35	36,33	5,4653	-0,3015		215	3,61	4,5091	0,1140
	40	35,27	5,5330	-0,3340		220	4,67	4,5498	0,0980
	45	34,10	5,5994	-0,3662		225	5,85	4,5734	0,0886
	50	32,81	5,6660	-0,3989		230	7,13	4,5863	0,0835
	55	31,43	5,7326	-0,4320		235	8,52	4,5937	0,0805
	60	29,96	5,7992	-0,4654		240	9,99	4,5992	0,0783
	65	28,41	5,8653	-0,4990		245	11,53	4,6048	0,0761
	70	26,80	5,9303	-0,5324		250	13,14	4,6117	0,0733
	75	25,14	5,9935	-0,5653		255	14,80	4,6209	0,0696
	80	23,44	6,0540	-0,5970		260	16,50	4,6334	0,0645
	85	21,71	6,1110	-0,6272		265	18,23	4,6492	0,0582
	90	19,97	6,1635	-0,6553		270	19,97	4,6687	0,0502
	95	18,23	6,2108	-0,6808		275	21,71	4,6917	0,0409
	100	16,50	6,2519	-0,7031		280	23,44	4,7178	0,0302
	105	14,80	6,2862	-0,7218		285	25,14	4,7470	0,0181
	110	13,14	6,3131	-0,7366		290	26,80	4,7784	0,0051
	115	11,53	6,3324	-0,7472		295	28,41	4,8118	-0,0089
	120	9,99	6,3439	-0,7536		300	29,96	4,8463	-0,0234
	125	8,52	6,3475	-0,7556		305	31,43	4,8812	-0,0382
	130	7,13	6,3437	-0,7535		310	32,81	4,9161	-0,0531
	135	5,85	6,3324	-0,7473		315	34,10	4,9501	-0,0677
	140	4,67	6,3144	-0,7373		320	35,27	4,9831	-0,0820
	145	3,61	6,2896	-0,7237		325	36,33	5,0142	-0,0956
	150	2,68	6,2561	-0,7054		330	37,27	5,0429	-0,1081
	155	1,87	6,2113	-0,6811		335	38,07	5,0668	-0,1187
	160	1,20	6,1405	-0,6429		340	38,74	5,0818	-0,1253
	165	0,68	6,0130	-0,5754		345	39,27	5,0694	-0,1198
	170	0,30	5,7267	-0,4290		350	39,64	4,9552	-0,0699
	175	0,08	4,8541	-0,0267		355	39,87	4,3298	0,1831
BA	180	0,00	2,5853	0,7088	BF	360	39,95	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.18

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 3 rotorul R4

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	44,08	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	2,7756	0,7140
Extrados	5	44,00	4,6582	0,1945	Intrados	185	0,08	0,9743	0,9648
	10	43,75	5,2963	-0,0413		190	0,33	3,2116	0,6171
	15	43,33	5,5087	-0,1265		195	0,75	4,1083	0,3734
	20	42,75	5,6149	-0,1704		200	1,33	4,5408	0,2346
	25	42,02	5,6929	-0,2031		205	2,07	4,7600	0,1589
	30	41,13	5,7581	-0,2308		210	2,95	4,8832	0,1148
	35	40,09	5,8190	-0,2570		215	3,99	4,9522	0,0896
	40	38,92	5,8778	-0,2825		220	5,16	4,9925	0,0747
	45	37,63	5,9362	-0,3082		225	6,46	5,0154	0,0662
	50	36,21	5,9947	-0,3341		230	7,87	5,0282	0,0614
	55	34,68	6,0536	-0,3604		235	9,40	5,0351	0,0588
	60	33,06	6,1124	-0,3870		240	11,02	5,0396	0,0572
	65	31,36	6,1709	-0,4137		245	12,73	5,0432	0,0558
	70	29,58	6,2286	-0,4402		250	14,50	5,0478	0,0541
	75	27,74	6,2847	-0,4663		255	16,34	5,0540	0,0518
	80	25,87	6,3388	-0,4916		260	18,21	5,0625	0,0486
	85	23,96	6,3899	-0,5158		265	20,12	5,0740	0,0443
	90	22,04	6,4374	-0,5384		270	22,04	5,0883	0,0388
	95	20,12	6,4805	-0,5591		275	23,96	5,1060	0,0322
	100	18,21	6,5187	-0,5775		280	25,87	5,1267	0,0243
	105	16,34	6,5514	-0,5933		285	27,74	5,1504	0,0153
	110	14,50	6,5781	-0,6064		290	29,58	5,1766	0,0052
	115	12,73	6,5988	-0,6165		295	31,36	5,2048	-0,0057
	120	11,02	6,6134	-0,6237		300	33,06	5,2349	-0,0173
	125	9,40	6,6221	-0,6280		305	34,68	5,2659	-0,0294
	130	7,87	6,6254	-0,6296		310	36,21	5,2973	-0,0417
	135	6,46	6,6238	-0,6288		315	37,63	5,3285	-0,0541
	140	5,16	6,6180	-0,6260		320	38,92	5,3590	-0,0661
	145	3,99	6,6086	-0,6213		325	40,09	5,3881	-0,0778
	150	2,95	6,5958	-0,6150		330	41,13	5,4150	-0,0885
	155	2,07	6,5775	-0,6061		335	42,02	5,4379	-0,0978
	160	1,33	6,5471	-0,5913		340	42,75	5,4523	-0,1036
	165	0,75	6,4691	-0,5536		345	43,33	5,4467	-0,1013
	170	0,33	6,2576	-0,4537		350	43,75	5,3562	-0,0650
	175	0,08	5,3683	-0,0698		355	44,00	4,8512	0,1263
BA	180	0,00	2,7756	0,7140	BF	360	44,08	0,0000	1,0000

Tabel 3.19

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 4 rotorul R4

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	48,08	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	3,1153	0,6888
Extrados	5	47,98	5,1690	0,1431	Intrados	185	0,09	1,5302	0,9249
	10	47,71	5,7408	-0,0569		190	0,37	3,7254	0,5549
	15	47,26	5,9083	-0,1195		195	0,82	4,5736	0,3292
	20	46,63	5,9942	-0,1523		200	1,45	4,9721	0,2072
	25	45,82	6,0590	-0,1773		205	2,25	5,1743	0,1414
	30	44,86	6,1146	-0,1990		210	3,22	5,2883	0,1031
	35	43,73	6,1666	-0,2196		215	4,35	5,3549	0,0804
	40	42,45	6,2175	-0,2398		220	5,62	5,3942	0,0668
	45	41,04	6,2681	-0,2600		225	7,04	5,4175	0,0587
	50	39,49	6,3190	-0,2806		230	8,59	5,4310	0,0540
	55	37,83	6,3703	-0,3014		235	10,25	5,4387	0,0514
	60	36,06	6,4216	-0,3225		240	12,02	5,4434	0,0498
	65	34,20	6,4727	-0,3436		245	13,88	5,4468	0,0486
	70	32,26	6,5232	-0,3647		250	15,82	5,4504	0,0473
	75	30,26	6,5725	-0,3854		255	17,82	5,4550	0,0457
	80	28,21	6,6201	-0,4055		260	19,86	5,4613	0,0435
	85	26,13	6,6654	-0,4248		265	21,94	5,4698	0,0405
	90	24,04	6,7078	-0,4430		270	24,04	5,4809	0,0366
	95	21,94	6,7468	-0,4598		275	26,13	5,4947	0,0317
	100	19,86	6,7818	-0,4750		280	28,21	5,5114	0,0258
	105	17,82	6,8124	-0,4884		285	30,26	5,5310	0,0189
	110	15,82	6,8385	-0,4998		290	32,26	5,5531	0,0110
	115	13,88	6,8598	-0,5091		295	34,20	5,5779	0,0022
	120	12,02	6,8766	-0,5166		300	36,06	5,6047	-0,0074
	125	10,25	6,8892	-0,5221		305	37,83	5,6329	-0,0176
	130	8,59	6,8981	-0,5260		310	39,49	5,6622	-0,0282
	135	7,04	6,9043	-0,5288		315	41,04	5,6919	-0,0390
	140	5,62	6,9090	-0,5308		320	42,45	5,7214	-0,0498
	145	4,35	6,9140	-0,5331		325	43,73	5,7500	-0,0603
	150	3,22	6,9198	-0,5356		330	44,86	5,7769	-0,0703
	155	2,25	6,9295	-0,5400		335	45,82	5,8003	-0,0789
	160	1,45	6,9378	-0,5436		340	46,63	5,8174	-0,0853
	165	0,82	6,9290	-0,5397		345	47,26	5,8176	-0,0854
	170	0,37	6,8185	-0,4910		350	47,71	5,7577	-0,0631
	175	0,09	6,2687	-0,2602		355	47,98	5,2658	0,1107
BA	180	0,00	3,1153	0,6888	BF	360	48,08	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.20

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 5 rotorul R4

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	51,94	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	3,8205	0,5917
Extrados	5	51,84	5,7497	0,0751	Intrados	185	0,10	1,8983	0,8992
	10	51,54	6,1793	-0,0683		190	0,39	4,1595	0,5159
	15	51,05	6,3027	-0,1114		195	0,88	4,9699	0,3090
	20	50,37	6,3717	-0,1358		200	1,57	5,3368	0,2032
	25	49,51	6,4229	-0,1542		205	2,43	5,5349	0,1429
	30	48,46	6,4686	-0,1706		210	3,48	5,6481	0,1075
	35	47,24	6,5116	-0,1863		215	4,70	5,7185	0,0851
	40	45,86	6,5543	-0,2019		220	6,08	5,7612	0,0714
	45	44,33	6,5968	-0,2175		225	7,61	5,7887	0,0625
	50	42,66	6,6397	-0,2334		230	9,28	5,8062	0,0569
	55	40,86	6,6829	-0,2495		235	11,07	5,8175	0,0532
	60	38,95	6,7264	-0,2658		240	12,98	5,8250	0,0507
	65	36,94	6,7697	-0,2821		245	14,99	5,8306	0,0489
	70	34,85	6,8126	-0,2985		250	17,09	5,8355	0,0473
	75	32,69	6,8548	-0,3146		255	19,25	5,8405	0,0457
	80	30,48	6,8957	-0,3303		260	21,46	5,8466	0,0437
	85	28,23	6,9350	-0,3455		265	23,71	5,8540	0,0413
	90	25,97	6,9723	-0,3600		270	25,97	5,8633	0,0382
	95	23,71	7,0071	-0,3736		275	28,23	5,8747	0,0345
	100	21,46	7,0391	-0,3862		280	30,48	5,8885	0,0299
	105	19,25	7,0680	-0,3976		285	32,69	5,9048	0,0245
	110	17,09	7,0938	-0,4079		290	34,85	5,9238	0,0182
	115	14,99	7,1164	-0,4169		295	36,94	5,9452	0,0111
	120	12,98	7,1362	-0,4247		300	38,95	5,9691	0,0032
	125	11,07	7,1536	-0,4317		305	40,86	5,9950	-0,0055
	130	9,28	7,1693	-0,4380		310	42,66	6,0223	-0,0147
	135	7,61	7,1849	-0,4443		315	44,33	6,0510	-0,0244
	140	6,08	7,2018	-0,4511		320	45,86	6,0799	-0,0342
	145	4,70	7,2225	-0,4594		325	47,24	6,1086	-0,0440
	150	3,48	7,2502	-0,4706		330	48,46	6,1363	-0,0534
	155	2,43	7,2912	-0,4873		335	49,51	6,1613	-0,0621
	160	1,57	7,3481	-0,5106		340	50,37	6,1815	-0,0690
	165	0,88	7,4251	-0,5424		345	51,05	6,1886	-0,0715
	170	0,39	7,4933	-0,5709		350	51,54	6,1489	-0,0578
	175	0,10	7,1915	-0,4469		355	51,84	5,8148	0,0540
BA	180	0,00	3,8205	0,5917	BF	360	51,94	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.21

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 6 rotorul R4

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	56,20	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	5,7302	0,2081
Extrados	5	56,09	6,3785	0,0188	Intrados	185	0,11	2,2172	0,8814
	10	55,77	6,6742	-0,0743		190	0,43	4,4780	0,5164
	15	55,24	6,7561	-0,1008		195	0,96	5,2760	0,3287
	20	54,50	6,8029	-0,1161		200	1,69	5,6591	0,2277
	25	53,57	6,8404	-0,1284		205	2,63	5,8696	0,1691
	30	52,43	6,8741	-0,1396		210	3,76	6,0007	0,1316
	35	51,12	6,9067	-0,1504		215	5,08	6,0857	0,1068
	40	49,62	6,9388	-0,1611		220	6,57	6,1438	0,0897
	45	47,97	6,9711	-0,1720		225	8,23	6,1841	0,0777
	50	46,16	7,0037	-0,1829		230	10,04	6,2131	0,0690
	55	44,22	7,0366	-0,1941		235	11,98	6,2342	0,0627
	60	42,15	7,0697	-0,2054		240	14,05	6,2500	0,0579
	65	39,97	7,1031	-0,2167		245	16,22	6,2626	0,0542
	70	37,71	7,1363	-0,2282		250	18,49	6,2728	0,0511
	75	35,37	7,1694	-0,2396		255	20,83	6,2818	0,0484
	80	32,98	7,2021	-0,2509		260	23,22	6,2903	0,0458
	85	30,55	7,2341	-0,2620		265	25,65	6,2989	0,0432
	90	28,10	7,2653	-0,2730		270	28,10	6,3081	0,0403
	95	25,65	7,2954	-0,2836		275	30,55	6,3183	0,0372
	100	23,22	7,3246	-0,2938		280	32,98	6,3302	0,0336
	105	20,83	7,3525	-0,3037		285	35,37	6,3436	0,0295
	110	18,49	7,3795	-0,3133		290	37,71	6,3592	0,0248
	115	16,22	7,4057	-0,3226		295	39,97	6,3768	0,0193
	120	14,05	7,4315	-0,3319		300	42,15	6,3967	0,0132
	125	11,98	7,4578	-0,3413		305	44,22	6,4191	0,0063
	130	10,04	7,4857	-0,3514		310	46,16	6,4435	-0,0013
	135	8,23	7,5169	-0,3627		315	47,97	6,4697	-0,0094
	140	6,57	7,5539	-0,3761		320	49,62	6,4973	-0,0180
	145	5,08	7,6009	-0,3933		325	51,12	6,5255	-0,0269
	150	3,76	7,6637	-0,4164		330	52,43	6,5536	-0,0358
	155	2,63	7,7517	-0,4491		335	53,57	6,5803	-0,0442
	160	1,69	7,8828	-0,4986		340	54,50	6,6037	-0,0517
	165	0,96	8,0890	-0,5780		345	55,24	6,6186	-0,0564
	170	0,43	8,4283	-0,7131		350	55,77	6,6043	-0,0519
	175	0,11	8,9637	-0,9377		355	56,09	6,3823	0,0177
BA	180	0,00	5,7302	0,2081	BF	360	56,20	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

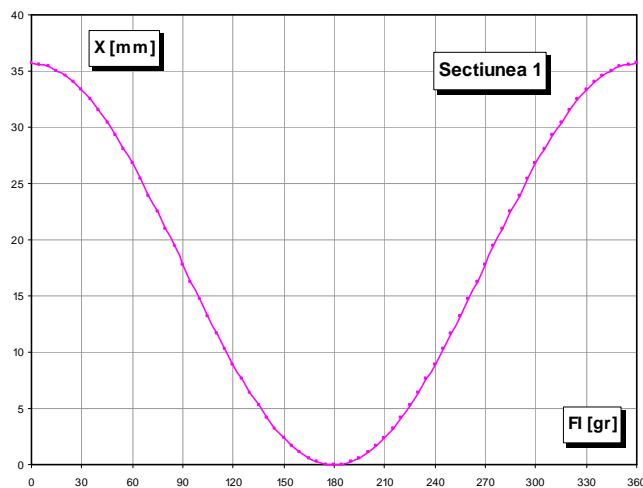


Fig. 3.33 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R4

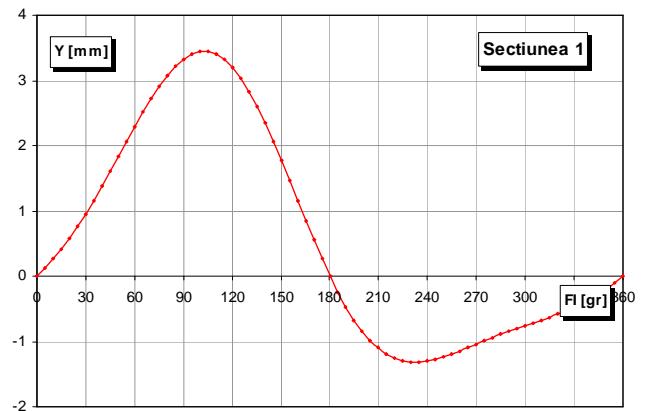


Fig. 3.34 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R4

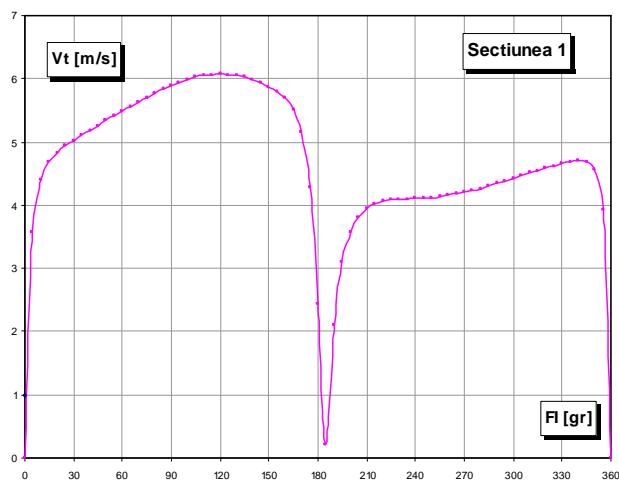


Fig. 3.35 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R4

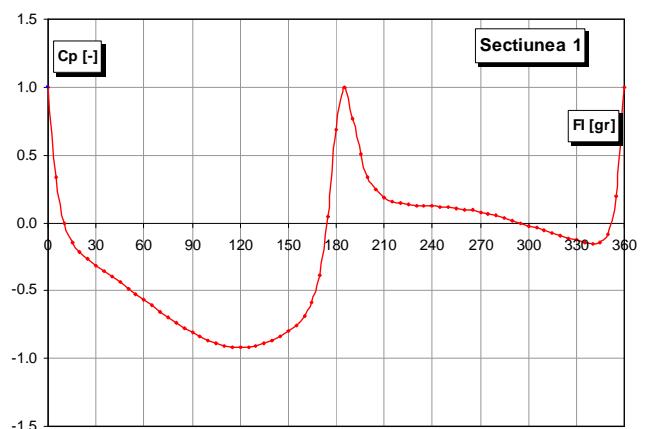


Fig. 3.36 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R4

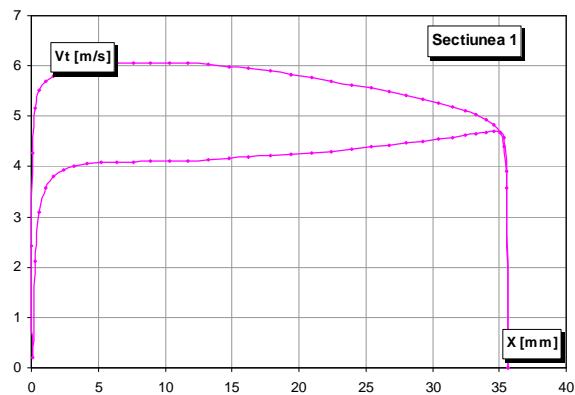


Fig. 3.37 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R4

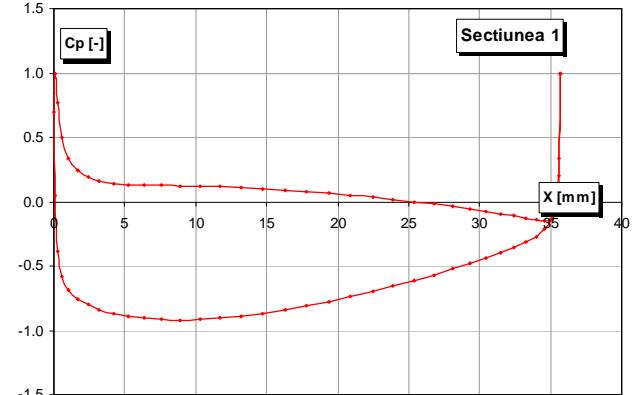


Fig. 3.38 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R4

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

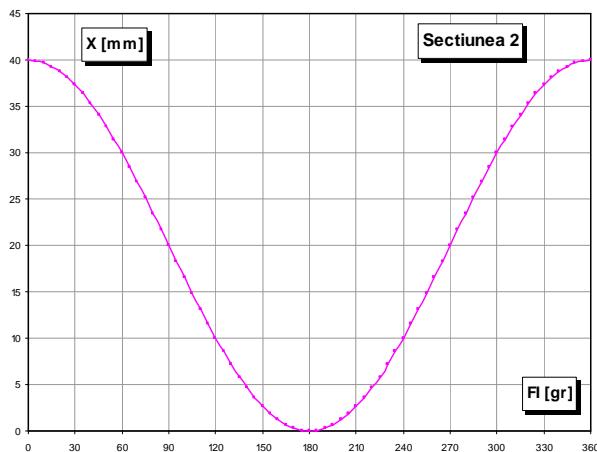


Fig. 3.39 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R4

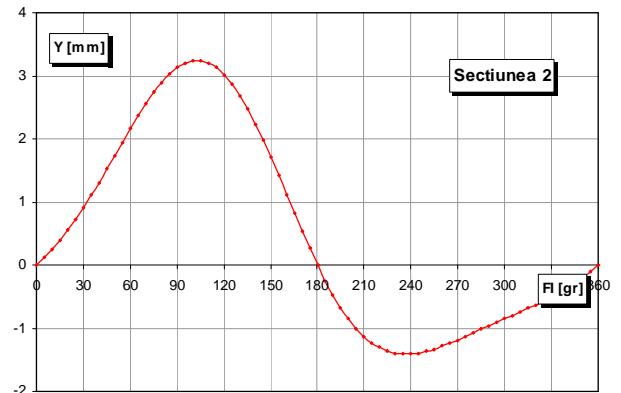


Fig. 3.40 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R4

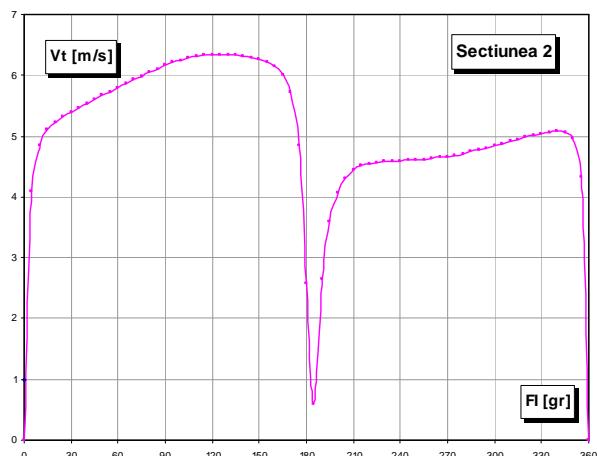


Fig. 3.41 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R4

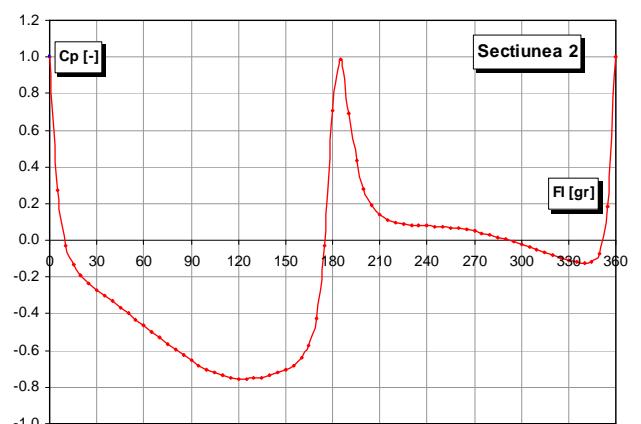


Fig. 3.42 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R4

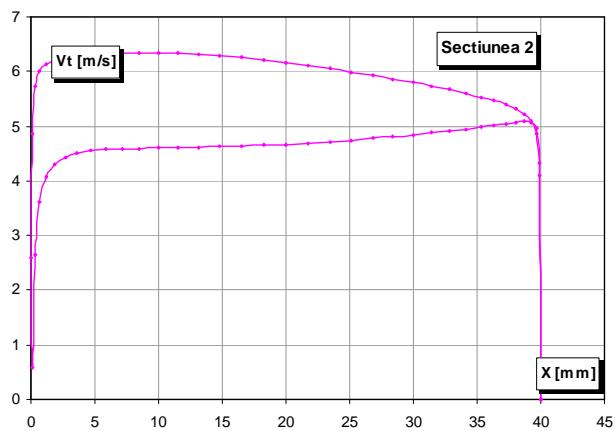


Fig. 3.43 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R4

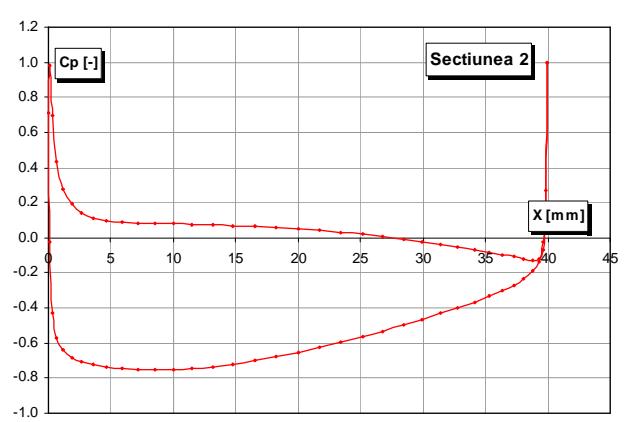


Fig. 3.44 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R4

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

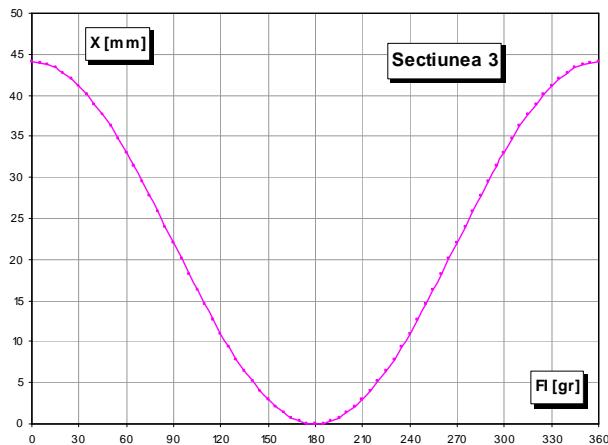


Fig. 3.45 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R4

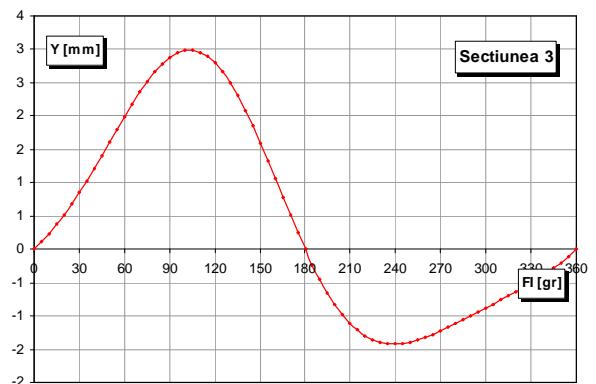


Fig. 3.46 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R4

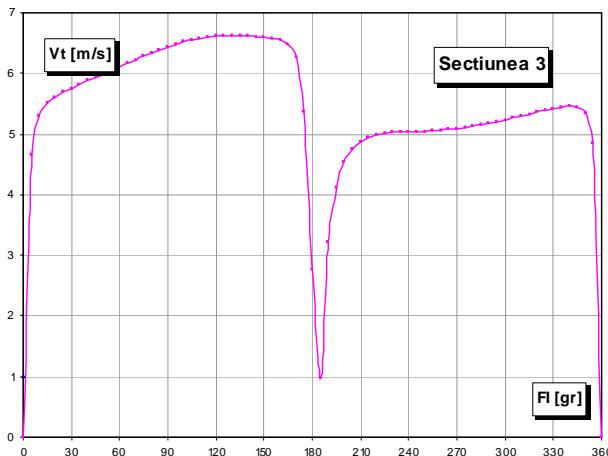


Fig. 3.47 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R4

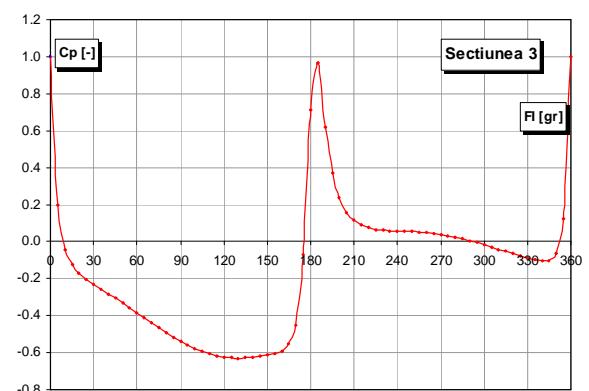


Fig. 3.48 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R4

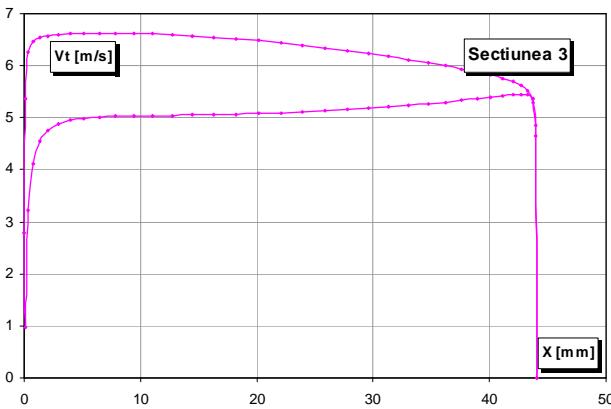


Fig. 3.49 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R4

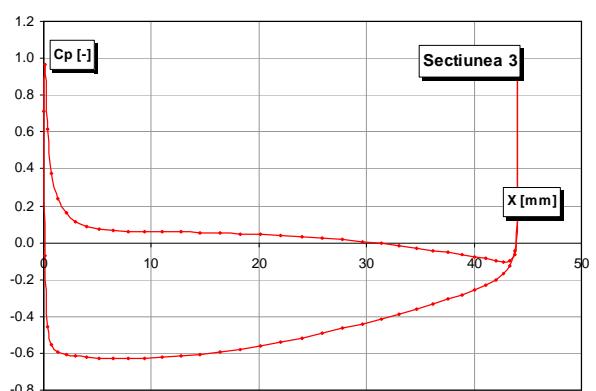


Fig. 3.50 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R4

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

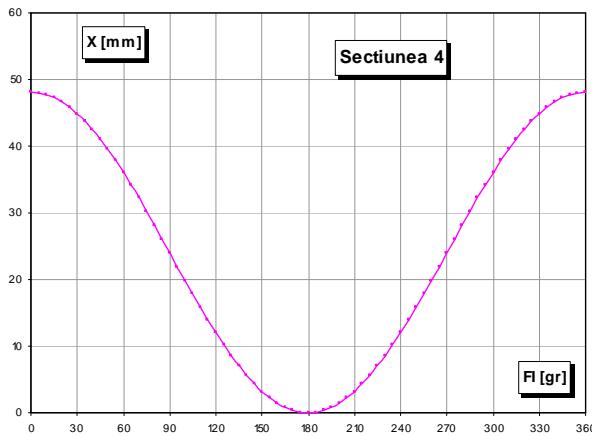


Fig. 3.51 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R4

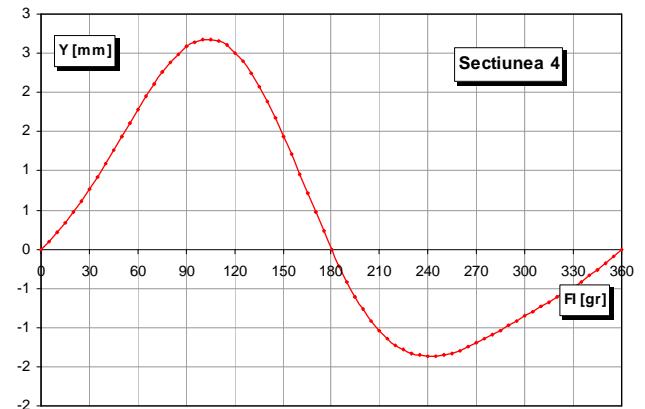


Fig. 3.52 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R4

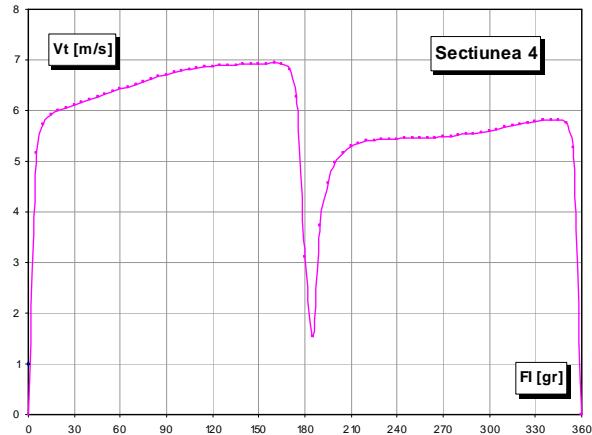


Fig. 3.53 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R4

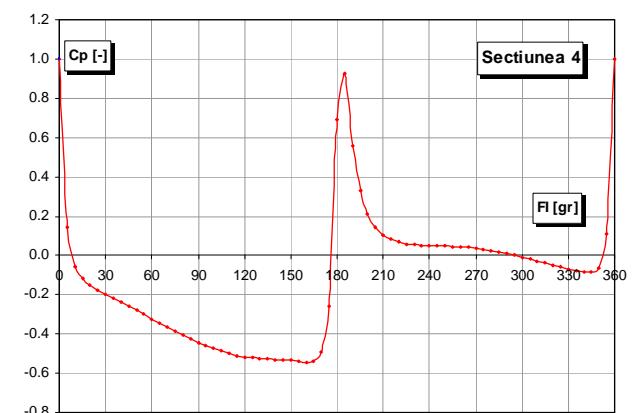


Fig. 3.54 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 4 / rotorul R4

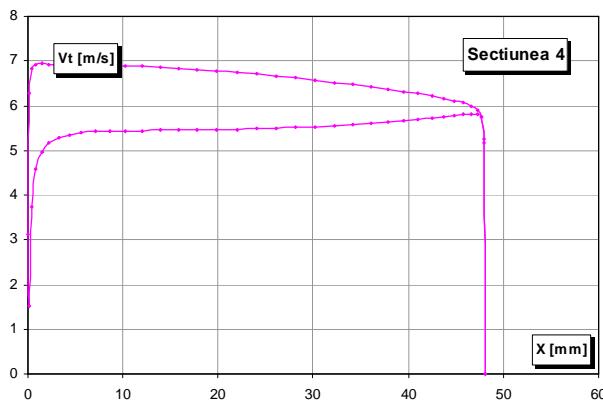


Fig. 3.55 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R4

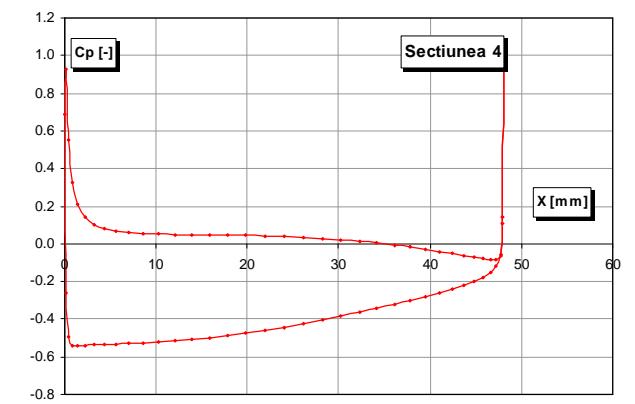


Fig. 3.56 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R4

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

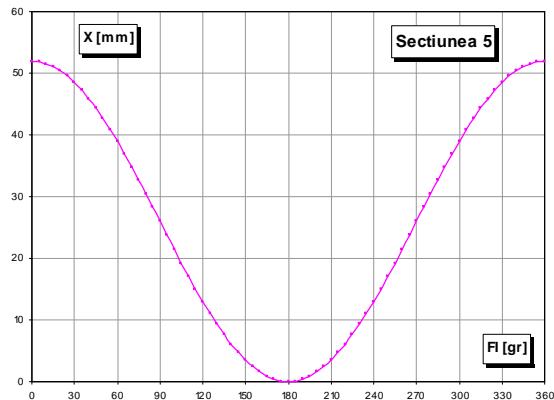


Fig. 3.57 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R4

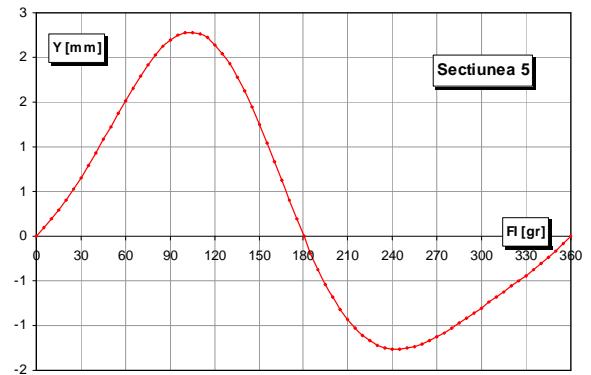


Fig. 3.58 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R4

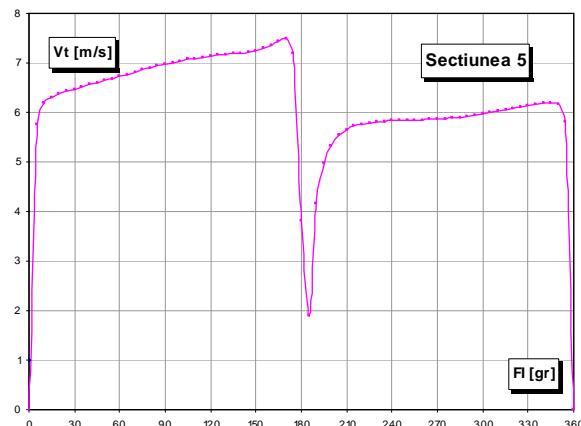


Fig. 3.59 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R4

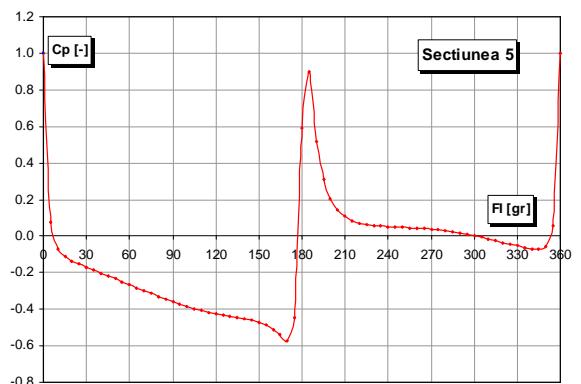


Fig. 3.60 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R4

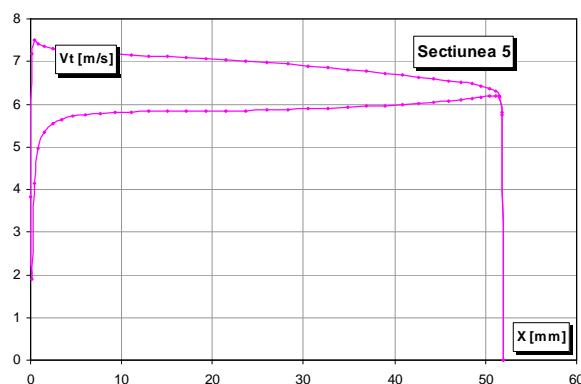


Fig. 3.61 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R4

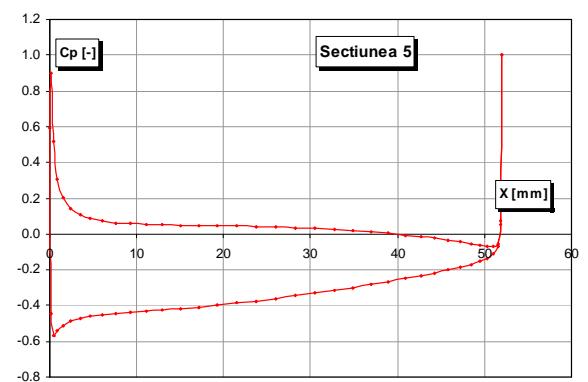


Fig. 3.62 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R4

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

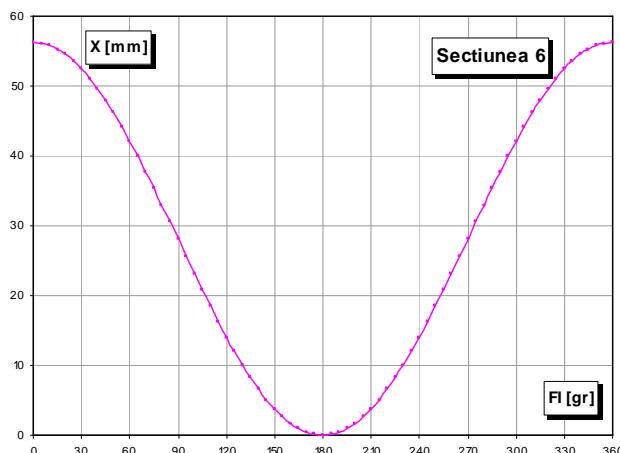


Fig. 3.63 Variația $X=f(\varphi)$ Secțiunea 6 / rotorul R4

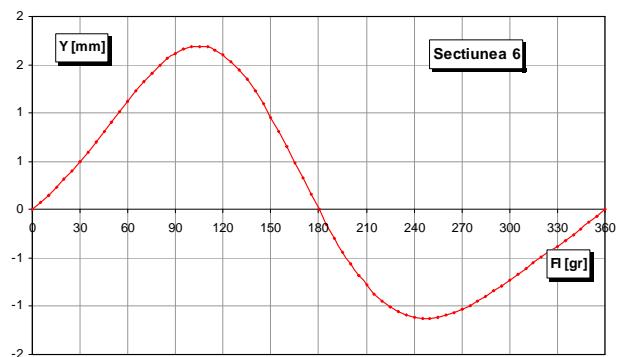


Fig. 3.64 Variația $Y=f(\varphi)$ Secțiunea 6 / rotorul R4

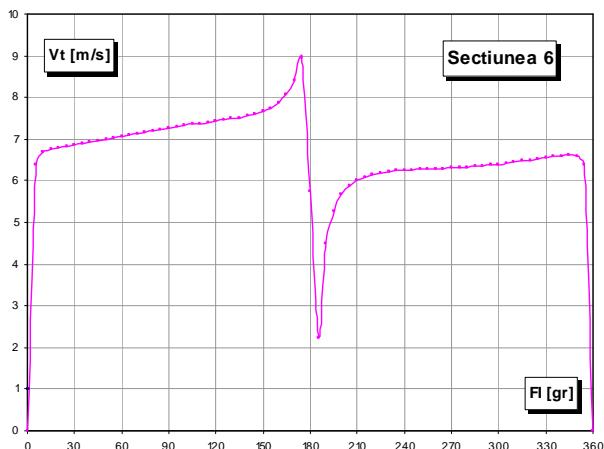


Fig. 3.65 Variația $V_t=f(\varphi)$ Secțiunea 6 / rotorul R4

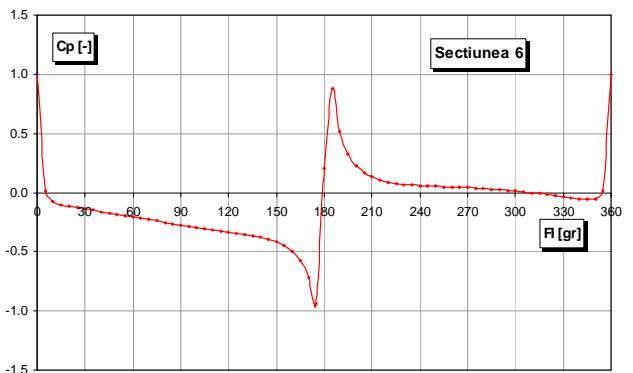


Fig. 3.66 Variația $C_p=f(\varphi)$ Secțiunea 6 / rotorul R4

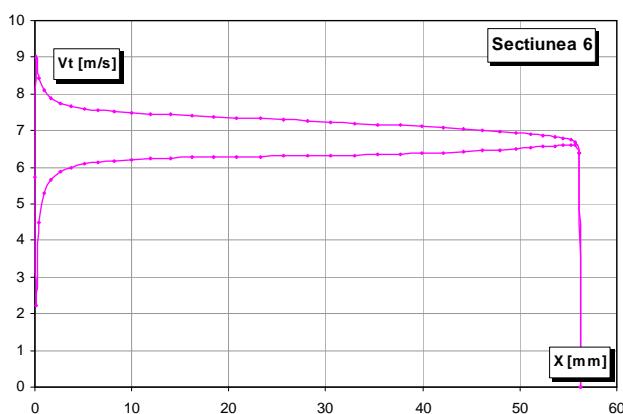


Fig. 3.67 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R4

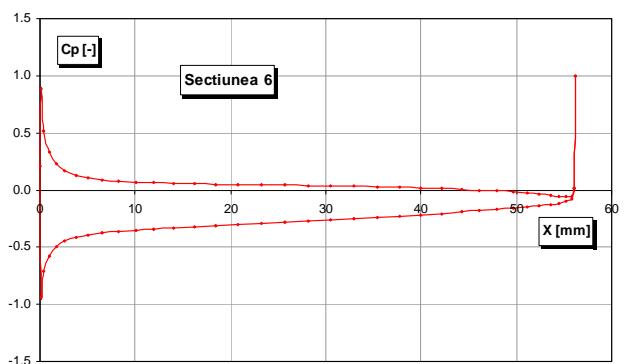


Fig. 3.68 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R4

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

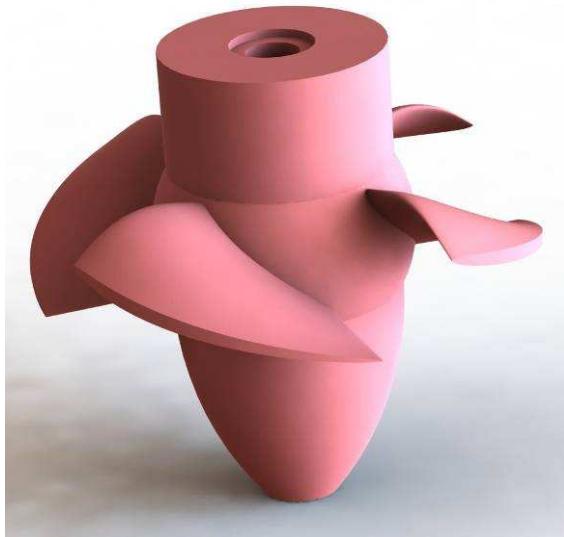


Fig. 3.69 Vedere 3D a rotorului R4

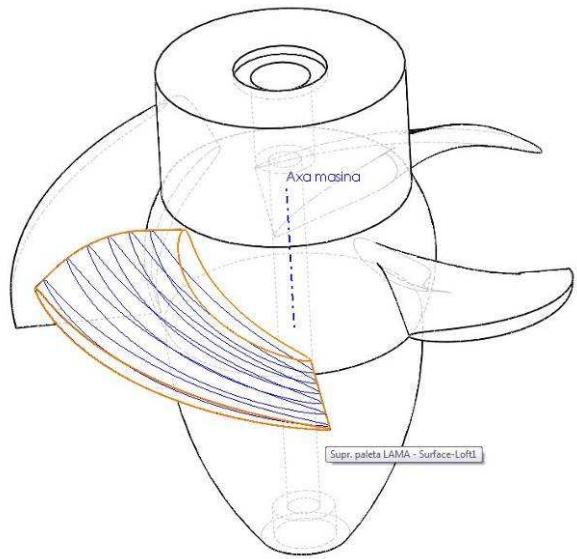


Fig. 3.70 Profile 3D rotor R4

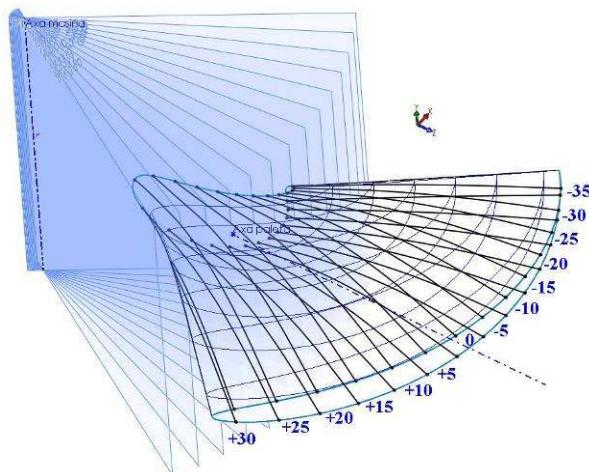


Fig. 3.71 Intersecție rotor R4 cu plane radiale

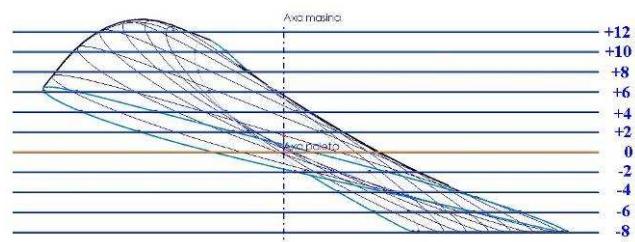


Fig. 3.72 Intersecție rotor R4 cu plane de nivel – Vedere Front

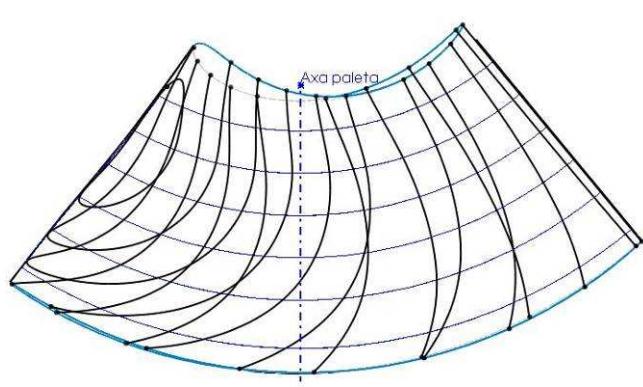


Fig. 3.73 Intersecție rotor R4 cu plane de nivel – Vedere Top

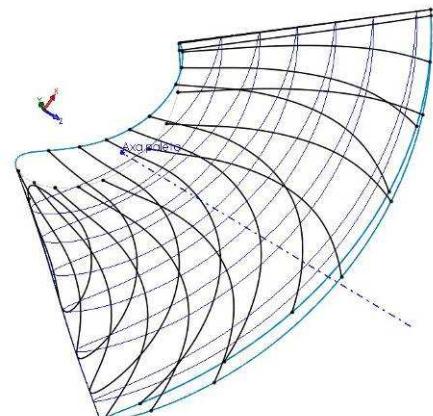


Fig. 3.74 Intersecție rotor R4 cu plane de nivel – Vedere Izometrică

3.4 Proiectarea hidrodinamică a rotorului R6

Rotorul R6 este un rotor cu 6 palete. Datele de proiectare a paletelor rotorice, constante și variabile funcție de rază, sunt prezentate în **tabelele 3.22** respectiv **3.23**.

Tabel 3.22

Date de proiectare rotor R6

Tip rotor	-	-	R6
Număr secțiuni calcul	-	-	6
Turația unitară	n_{11}	rot/min	125
Debit unitar	Q_{11}	m^3/s	1,25
Cădere de calcul	H	m	1,141
Diametru rotor	D	mm	89
Diametru relativ butuc	v	-	0,5258
Număr palete rotor	Z_R	buc	6
Pozitie ax rotație	-	%	55
Secțiune de definire a axului de rotație	-	-	6

Tabel 3.23

Date de proiectare rotor R6 variabile funcție de rază

R	t/l	η_h	α_∞	K_r	X_{FR}	d/L	X_{DR}	ϵ	Vm_R
mm	-	-	grade	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	m/s
25,0	0,7594	0,8	2,796	-0,2006	-0,050	0,130	-0,15	2,6	2,569
28,5	0,7671	0,8	2,235	-0,1229	-0,050	0,114	-0,15	2,6	2,554
32,0	0,7748	0,8	1,794	-0,0452	-0,050	0,099	-0,15	2,6	2,477
35,5	0,7825	0,8	1,472	0,0325	-0,050	0,083	-0,15	2,6	2,340
39,0	0,7902	0,8	1,271	0,1102	-0,050	0,068	-0,15	2,6	2,141
43,0	0,799	0,8	1,189	0,1990	-0,050	0,050	-0,15	2,6	1,838

Valorile vitezei meridiane Vm_R sunt preluate din simularea numerică &3.1, tabelul 3.3, pentru razele de calcul $R=25, 28,5, 32, 35,5, 39, 43$ mm, figura 3.75, curba „Flow Simulation”. Se observă faptul că această curbă are o cădere bruscă spre exterior (la raza periferică $R=43$ mm). Calculul rotorului cu această valoare generează o paletă exagerat de torsionată. Pentru comparație, în același grafic este reprezentată și curba „Viteza medie constantă”, a cărei valoare rezultă din relația 3.2. În consecință, pentru proiectarea rotorului, s-a utilizat curba „Interpolare viteza medie”, care trece foarte aproape de punctele corespunzătoare razelor $R=25, 28,5, 32, 35,5$ mm, iar pentru razele $R=39, 43$ mm s-au adoptat valori mai ridicate față de curba „Flow Simulation”, dar inferioare curbei „Viteza medie constantă”, cu expresia matematică:

$$Vm_R = -0,0025 \times R^2 + 0,1294 \times R + 0,8966 \quad (3.22)$$

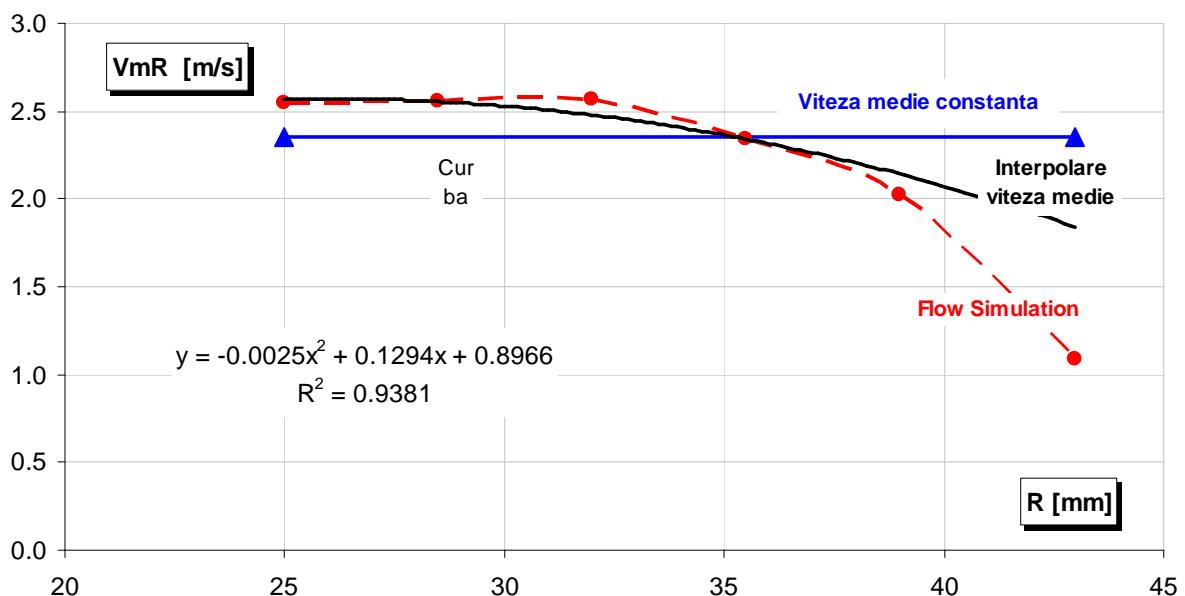


Fig. 3.75 Variația vitezei meridiane funcție de razele de calcul pentru rotorul R6

Figura 3.76 prezintă variația pasului relativ t/l și a unghiului de incidență α_∞ funcție de razele de calcul pentru rotorul R6. Figura 3.77 prezintă variația poziției săgeții X_{FR} , grosimii X_{DR} și a grosimii d/L relative funcție de razele de calcul pentru rotorul R6. Figura 3.78 prezintă variația randamentului hidraulic η_h și a coeficientului de postrotare K_r funcție de razele de calcul pentru rotorul R6. Figura 3.79 prezintă variația coeficientului de portanță C_A și a săgeții relative f/L funcție de razele de calcul pentru rotorul R6. Figura 3.80 prezintă variația vitezelor absolute V_{ou} , V_{3u} , a vitezei relative W_∞ , a vitezei tangențiale U și meridiane V_{mR} funcție de razele de calcul pentru rotorul R6. Figura 3.81 prezintă variația unghiurilor β_∞ , β_S , λ funcție de razele de calcul pentru rotorul R6. Figura 3.82 prezintă variația lungimii profilelor L funcție de razele de calcul pentru rotorul R6.

Figurile 3.83 ÷ 88 prezintă formă profilelor pentru rotorul R6. Figurile 3.89 ÷ 3.124 prezintă variațiile $X=f(\phi)$, $Y=f(\phi)$, $C_p=f(\phi)$, $V_t=f(\phi)$, $C_p=f(X)$, $V_t=f(X)$ pentru secțiunile 1 ÷ 6. Figurile 3.125 ÷ 3.130 prezintă vederi 3D a rotorului, intersecții cu plane radiale și plane de nivel.

Tabelul 3.24 prezintă mărimele constante calculate, iar tabelul 3.25 prezintă elementele asimptotice calculate pentru rotorul R6, variabile funcție de rază. Tabelele 3.26 ÷ 3.31 prezintă coordonatele calculate ale profilului pentru secțiunile 1 ÷ 6, iar 3.32 ÷ 3.37 valorile vitezelor tangențiale la profil și coeficientului de presiune pentru rotorul R6.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

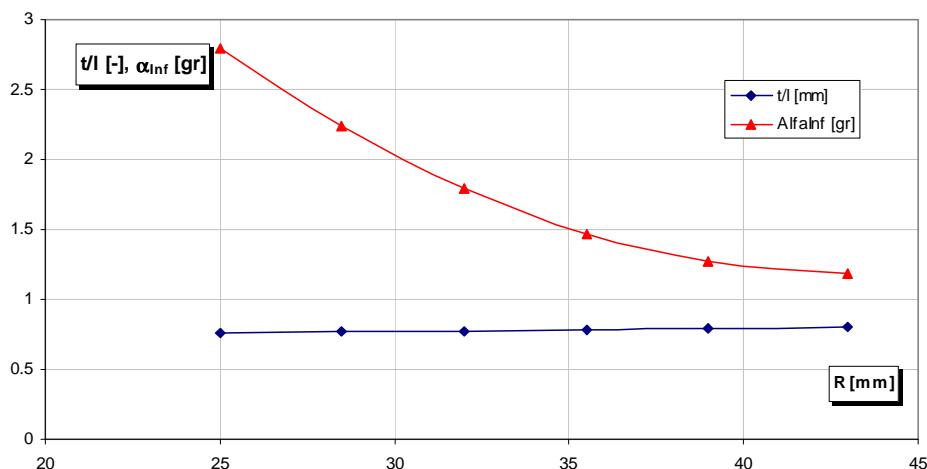


Fig. 3.76 Variația pasului relativ și a unghiului de incidență funcție de razele de calcul pentru rotorul R6

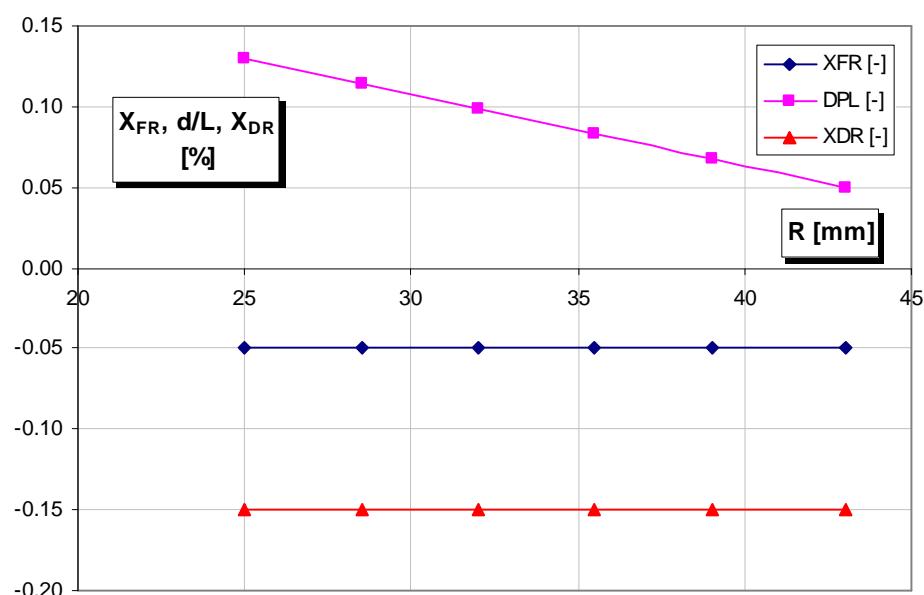


Fig. 3.77 Variația poziției săgeții, grosimii și a grosimii funcție de razele de calcul pentru rotorul R6

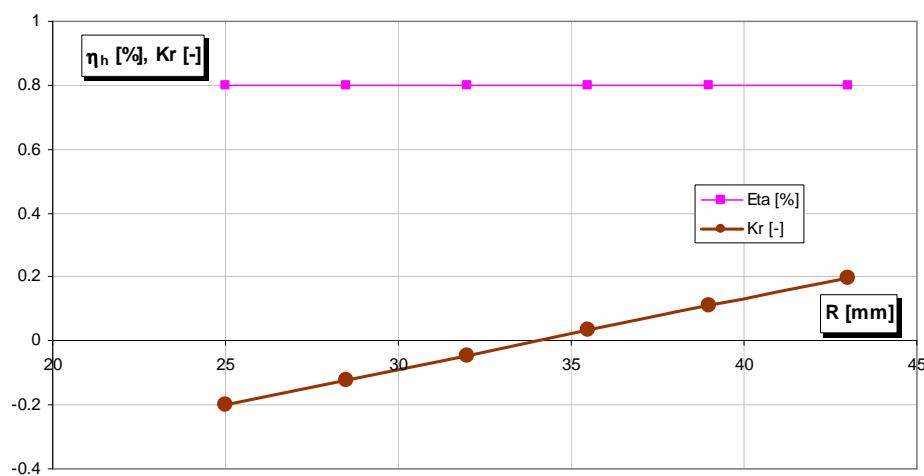


Fig. 3.78 Variația randamentului hidraulic și a coeficientului de postrotație funcție de razele de calcul pentru rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

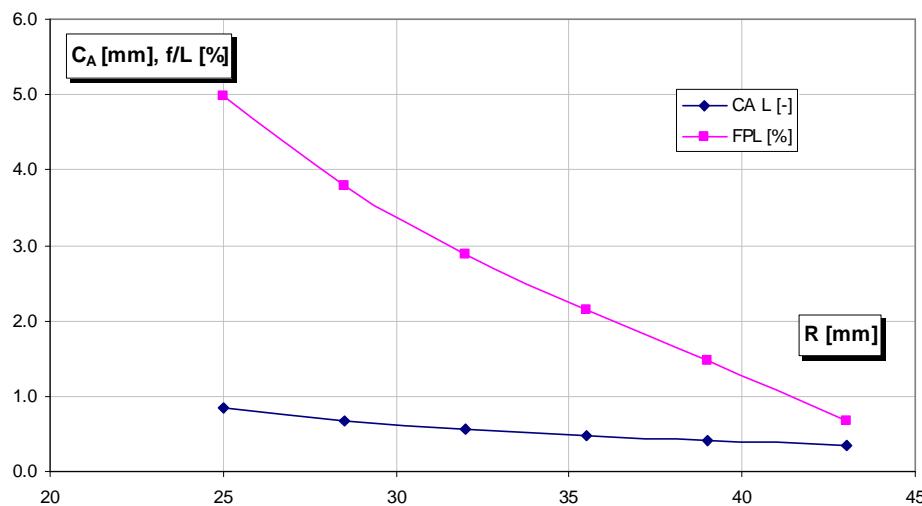


Fig. 3.79 Variația coeficientului de portanță și a săgeții relative funcție de razele de calcul pentru rotorul R6

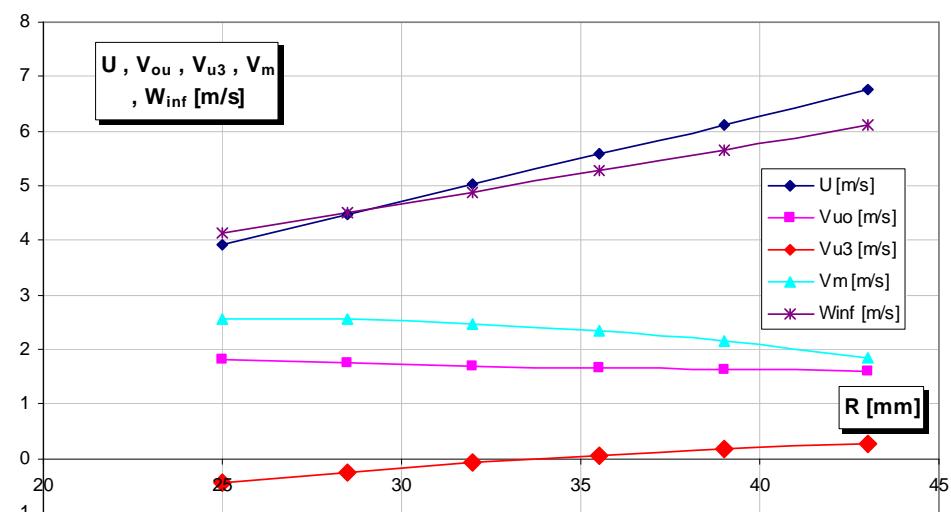


Fig. 3.80 Variația vitezelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R6

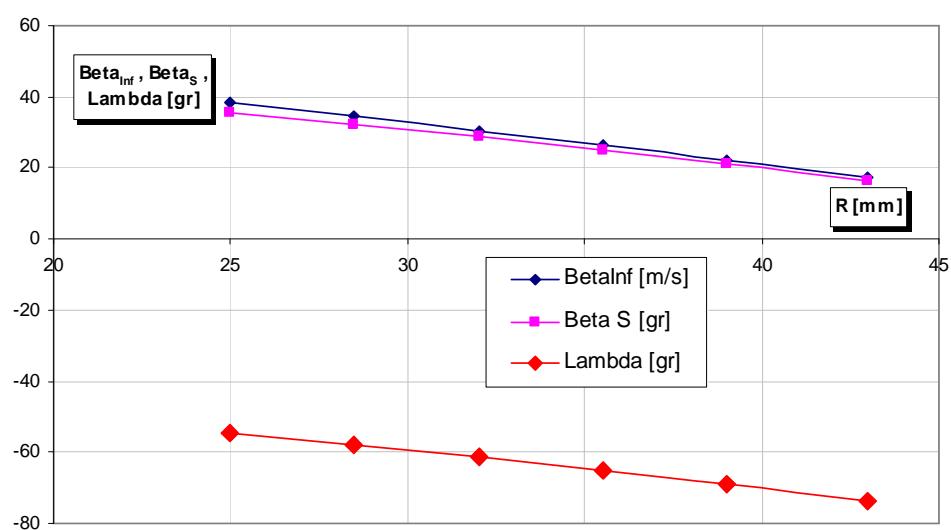


Fig. 3.81 Variația unghuiurilor funcție de razele de calcul pentru rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

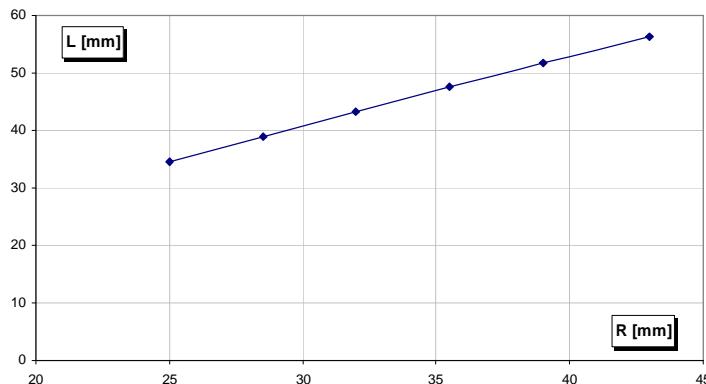


Fig. 3.82 Variația lungimii profilelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R6

Tabel 3.24
Mărimi constante calculate pentru rotorul rotorul R6

Turație unitara de calcul	n_{11}	rot/min	125	Diametru periferie rotor	D	mm	89
Debit unitar de calcul	Q_{11}	m^3/s	1,25	Diametru butuc rotor	d	mm	46,8
Turație de calcul	n	rot/min	1500	Raza periferie rotor	R=D/2	mm	44,5
Debit de calcul	Q	m^3/s	0,0106	Raza butuc rotor	R=d/2	mm	23,4
Viteza meridiană	V_m	m/s	2,349				

Tabel 3.25
Elemente asimptotice calculate pentru rotorul R6 variabile funcție de rază

R	L	U	V_{u0}	V_{u3}	V_{mr}	β_∞	W_∞
mm	mm	m/s	m/s	m/s	m/s	gr	m/s
25,00	34,475	3,927	1,822	-0,457	2,569	38,3712	4,1387
28,50	38,906	4,477	1,753	-0,246	2,554	34,4490	4,5148
32,00	43,250	5,027	1,700	-0,080	2,477	30,4340	4,8908
35,50	47,509	5,576	1,657	0,052	2,340	26,3586	5,2697
39,00	51,684	6,126	1,622	0,161	2,141	22,2415	5,6556
43,00	56,357	6,754	1,588	0,264	1,838	17,5056	6,1114
R	C_a	β_s	λ	Γ_R	f/L	α_1	α_2
mm	-	gr	gr	m ² /s	%	gr	gr
25,00	0,8362	35,5752	-54,4248	0,286135	4,991	54,6619	100,0888
28,50	0,6792	32,2143	-57,7857	0,313946	3,791	55,5310	95,4944
32,00	0,5641	28,6404	-61,3596	0,341758	2,883	55,5456	91,8603
35,50	0,4766	24,8861	-65,1139	0,36957	2,141	54,6953	88,7230
39,00	0,4082	20,9701	-69,0299	0,397382	1,471	52,8545	85,6997
43,00	0,3464	16,3170	-73,6830	0,429166	0,678	49,1699	81,8386
R	β_1	β_2	$\Delta\beta_s$	$\Delta\beta_{12}$	t	L	d
mm	gr	gr	gr	gr	mm	mm	mm
25,00	50,6651	30,3705	0,0000	20,29	26,18	34,47	4,48
28,50	43,1583	28,4044	3,3609	14,75	29,85	38,91	4,45
32,00	36,6744	25,8779	3,5739	10,80	33,51	43,25	4,28
35,50	30,8346	22,9543	3,7543	7,88	37,18	47,51	3,96
39,00	25,4191	19,7415	3,9160	5,68	40,84	51,68	3,50
43,00	19,5880	15,8130	4,6531	3,78	45,03	56,36	2,82

Tabel 3.26

*Coordonatele profilului secțiunea 1
pentru rotorul R6*

Secțiunea 1 R=25 mm L=34,47 mm						Secțiunea 2 R=28,5 mm L=38,91 mm					
φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d	φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d
gr	mm	mm	mm	mm	mm	gr	mm	mm	mm	mm	mm
0	34,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0	38,91	0,00	0,00	0,00	0,00
5	34,41	0,12	-0,10	0,01	0,22	5	38,83	0,12	-0,10	0,01	0,22
10	34,21	0,26	-0,18	0,04	0,45	10	38,61	0,26	-0,19	0,04	0,45
15	33,89	0,43	-0,25	0,09	0,68	15	38,24	0,41	-0,26	0,08	0,67
20	33,43	0,62	-0,29	0,16	0,91	20	37,73	0,59	-0,31	0,14	0,90
25	32,86	0,82	-0,33	0,25	1,15	25	37,08	0,78	-0,36	0,21	1,14
30	32,17	1,05	-0,35	0,35	1,39	30	36,30	0,99	-0,39	0,30	1,38
35	31,36	1,29	-0,36	0,47	1,64	35	35,39	1,22	-0,42	0,40	1,63
40	30,44	1,54	-0,36	0,59	1,90	40	34,36	1,45	-0,44	0,51	1,89
45	29,43	1,81	-0,35	0,73	2,16	45	33,21	1,70	-0,45	0,62	2,15
50	28,32	2,08	-0,35	0,87	2,43	50	31,96	1,95	-0,46	0,74	2,41
55	27,12	2,35	-0,34	1,01	2,69	55	30,61	2,20	-0,47	0,86	2,67
60	25,86	2,62	-0,33	1,15	2,95	60	29,18	2,45	-0,48	0,98	2,93
65	24,52	2,88	-0,33	1,28	3,21	65	27,67	2,69	-0,50	1,09	3,19
70	23,13	3,12	-0,33	1,40	3,45	70	26,11	2,91	-0,52	1,20	3,43
75	21,70	3,34	-0,34	1,50	3,68	75	24,49	3,12	-0,54	1,29	3,65
80	20,23	3,54	-0,35	1,59	3,89	80	22,83	3,30	-0,57	1,37	3,86
85	18,74	3,70	-0,38	1,66	4,07	85	21,15	3,45	-0,60	1,42	4,05
90	17,24	3,82	-0,41	1,70	4,23	90	19,45	3,56	-0,64	1,46	4,20
95	15,73	3,89	-0,45	1,72	4,35	95	17,76	3,64	-0,69	1,47	4,32
100	14,24	3,93	-0,51	1,71	4,43	100	16,08	3,67	-0,74	1,47	4,40
105	12,78	3,91	-0,56	1,67	4,48	105	14,42	3,66	-0,79	1,43	4,45
110	11,34	3,85	-0,63	1,61	4,48	110	12,80	3,60	-0,84	1,38	4,45
115	9,95	3,74	-0,69	1,52	4,43	115	11,23	3,50	-0,90	1,30	4,40
120	8,62	3,58	-0,76	1,41	4,33	120	9,73	3,36	-0,95	1,21	4,31
125	7,35	3,37	-0,82	1,28	4,19	125	8,30	3,18	-0,99	1,10	4,16
130	6,16	3,13	-0,87	1,13	4,00	130	6,95	2,96	-1,02	0,97	3,97
135	5,05	2,86	-0,90	0,98	3,76	135	5,70	2,70	-1,03	0,84	3,73
140	4,03	2,55	-0,92	0,81	3,47	140	4,55	2,42	-1,03	0,70	3,45
145	3,12	2,23	-0,92	0,65	3,14	145	3,52	2,12	-1,00	0,56	3,12
150	2,31	1,89	-0,89	0,50	2,78	150	2,61	1,81	-0,95	0,43	2,76
155	1,61	1,55	-0,82	0,36	2,37	155	1,82	1,49	-0,87	0,31	2,36
160	1,04	1,21	-0,73	0,24	1,93	160	1,17	1,17	-0,76	0,20	1,92
165	0,59	0,87	-0,60	0,14	1,47	165	0,66	0,85	-0,61	0,12	1,46
170	0,26	0,56	-0,44	0,06	0,99	170	0,30	0,55	-0,44	0,05	0,99
175	0,07	0,27	-0,23	0,02	0,50	175	0,07	0,26	-0,24	0,01	0,50
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L=X _{max}	34,47	f _{max}	d _{max}	1,72	4,48	L=X _{max}	38,91	f _{max}	d _{max}	1,47	4,45
		f/L _{max}	d/L _{max}	4,990	12,985			f/L _{max}	d/L _{max}	3,791	11,432

Tabel 3.27

*Coordonatele profilului secțiunea 2
pentru rotorul R6*

Tabel 3.28

*Coordonatele profilului secțiunea 3
pentru rotorul R6*

Secțiunea 3 R=32 mm L=43,25 mm						Secțiunea 4 R=35,5 mm L=47,51 mm					
φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d	φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d
gr	mm	mm	mm	mm	mm	gr	mm	mm	mm	mm	mm
0	43,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0	47,51	0,00	0,00	0,00	0,00
5	43,17	0,11	-0,10	0,01	0,21	5	47,42	0,10	-0,09	0,01	0,20
10	42,92	0,24	-0,18	0,03	0,43	10	47,15	0,22	-0,17	0,02	0,40
15	42,51	0,39	-0,26	0,07	0,65	15	46,70	0,35	-0,24	0,05	0,60
20	41,95	0,55	-0,32	0,12	0,87	20	46,08	0,50	-0,31	0,09	0,80
25	41,22	0,73	-0,37	0,18	1,10	25	45,28	0,65	-0,36	0,15	1,01
30	40,35	0,92	-0,41	0,25	1,33	30	44,33	0,82	-0,41	0,21	1,23
35	39,34	1,12	-0,45	0,34	1,57	35	43,21	1,00	-0,45	0,28	1,45
40	38,19	1,34	-0,48	0,43	1,82	40	41,95	1,19	-0,49	0,35	1,68
45	36,92	1,56	-0,51	0,53	2,06	45	40,55	1,39	-0,53	0,43	1,91
50	35,53	1,79	-0,53	0,63	2,32	50	39,02	1,58	-0,56	0,51	2,14
55	34,03	2,01	-0,55	0,73	2,57	55	37,38	1,78	-0,59	0,60	2,38
60	32,44	2,24	-0,58	0,83	2,82	60	35,63	1,98	-0,63	0,68	2,61
65	30,76	2,46	-0,60	0,93	3,06	65	33,79	2,17	-0,66	0,75	2,83
70	29,02	2,66	-0,63	1,01	3,29	70	31,88	2,35	-0,70	0,83	3,05
75	27,22	2,85	-0,67	1,09	3,51	75	29,90	2,51	-0,74	0,89	3,25
80	25,38	3,01	-0,70	1,15	3,71	80	27,88	2,66	-0,78	0,94	3,43
85	23,51	3,15	-0,74	1,20	3,89	85	25,82	2,78	-0,82	0,98	3,60
90	21,63	3,25	-0,78	1,23	4,03	90	23,75	2,87	-0,86	1,01	3,73
95	19,74	3,32	-0,83	1,25	4,15	95	21,68	2,94	-0,90	1,02	3,84
100	17,87	3,36	-0,88	1,24	4,23	100	19,63	2,97	-0,95	1,01	3,92
105	16,03	3,35	-0,92	1,21	4,27	105	17,61	2,97	-0,99	0,99	3,95
110	14,23	3,30	-0,97	1,17	4,27	110	15,63	2,93	-1,03	0,95	3,95
115	12,49	3,22	-1,01	1,10	4,23	115	13,72	2,86	-1,06	0,90	3,91
120	10,81	3,09	-1,05	1,02	4,14	120	11,88	2,75	-1,08	0,83	3,83
125	9,22	2,93	-1,07	0,93	4,00	125	10,13	2,61	-1,10	0,76	3,70
130	7,72	2,73	-1,09	0,82	3,82	130	8,49	2,44	-1,10	0,67	3,53
135	6,33	2,50	-1,09	0,71	3,59	135	6,96	2,24	-1,08	0,58	3,32
140	5,06	2,25	-1,07	0,59	3,31	140	5,56	2,02	-1,05	0,48	3,07
145	3,91	1,97	-1,03	0,47	3,00	145	4,30	1,78	-1,00	0,39	2,78
150	2,90	1,69	-0,96	0,36	2,65	150	3,18	1,52	-0,93	0,30	2,45
155	2,03	1,39	-0,87	0,26	2,26	155	2,23	1,26	-0,83	0,21	2,09
160	1,30	1,10	-0,75	0,17	1,85	160	1,43	1,00	-0,71	0,14	1,71
165	0,74	0,80	-0,60	0,10	1,41	165	0,81	0,73	-0,57	0,08	1,30
170	0,33	0,52	-0,43	0,04	0,95	170	0,36	0,48	-0,40	0,04	0,88
175	0,08	0,25	-0,23	0,01	0,48	175	0,09	0,23	-0,21	0,01	0,44
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L=X _{max}	43,25	f _{max}	d _{max}	1,25	4,27	L=X _{max}	47,51	f _{max}	d _{max}	1,02	3,95
		f/L _{max}	d/L _{max}	2,883	9,878			f/L _{max}	d/L _{max}	2,141	8,325

Tabel 3.29

*Coordonatele profilului secțiunea 4
pentru rotorul R6*

Tabel 3.30

*Coordonatele profilului secțiunea 5
pentru rotorul R6*

Secțiunea 5 R=39 mm L=51,68 mm						Secțiunea 6 R=43 mm L=56,36 mm					
φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d	φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d
gr	mm	mm	mm	mm	mm	gr	mm	mm	mm	mm	mm
0	51,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0	56,36	0,00	0,00	0,00	0,00
5	51,59	0,09	-0,08	0,00	0,17	5	56,25	0,07	-0,07	0,00	0,14
10	51,29	0,19	-0,16	0,02	0,35	10	55,93	0,15	-0,13	0,01	0,28
15	50,80	0,30	-0,22	0,04	0,53	15	55,40	0,23	-0,19	0,02	0,43
20	50,13	0,43	-0,28	0,07	0,71	20	54,66	0,32	-0,25	0,04	0,57
25	49,26	0,56	-0,34	0,11	0,90	25	53,72	0,42	-0,31	0,05	0,72
30	48,22	0,70	-0,39	0,15	1,09	30	52,58	0,52	-0,36	0,08	0,88
35	47,01	0,85	-0,44	0,21	1,29	35	51,26	0,62	-0,41	0,10	1,03
40	45,64	1,01	-0,48	0,26	1,49	40	49,76	0,73	-0,47	0,13	1,20
45	44,12	1,17	-0,52	0,32	1,69	45	48,10	0,84	-0,52	0,16	1,36
50	42,45	1,33	-0,57	0,38	1,90	50	46,29	0,96	-0,57	0,19	1,53
55	40,66	1,50	-0,61	0,45	2,10	55	44,34	1,07	-0,62	0,22	1,69
60	38,76	1,66	-0,65	0,51	2,31	60	42,27	1,18	-0,67	0,25	1,86
65	36,76	1,82	-0,69	0,56	2,51	65	40,09	1,29	-0,73	0,28	2,02
70	34,68	1,97	-0,73	0,62	2,70	70	37,82	1,40	-0,77	0,31	2,17
75	32,53	2,10	-0,77	0,66	2,88	75	35,47	1,49	-0,82	0,33	2,31
80	30,33	2,22	-0,82	0,70	3,04	80	33,07	1,58	-0,87	0,35	2,44
85	28,09	2,32	-0,86	0,73	3,18	85	30,63	1,65	-0,91	0,37	2,56
90	25,84	2,40	-0,90	0,75	3,30	90	28,18	1,71	-0,95	0,38	2,66
95	23,59	2,46	-0,94	0,76	3,40	95	25,72	1,75	-0,99	0,38	2,73
100	21,35	2,49	-0,98	0,76	3,47	100	23,29	1,77	-1,01	0,38	2,79
105	19,15	2,49	-1,01	0,74	3,50	105	20,89	1,78	-1,04	0,37	2,82
110	17,00	2,46	-1,04	0,71	3,50	110	18,54	1,76	-1,05	0,36	2,82
115	14,92	2,40	-1,06	0,67	3,46	115	16,27	1,73	-1,06	0,34	2,79
120	12,92	2,32	-1,07	0,62	3,39	120	14,09	1,68	-1,05	0,31	2,73
125	11,02	2,20	-1,07	0,56	3,28	125	12,02	1,60	-1,03	0,28	2,64
130	9,23	2,06	-1,06	0,50	3,13	130	10,07	1,51	-1,01	0,25	2,52
135	7,57	1,90	-1,04	0,43	2,94	135	8,25	1,40	-0,97	0,22	2,36
140	6,05	1,72	-1,00	0,36	2,72	140	6,59	1,27	-0,91	0,18	2,18
145	4,67	1,52	-0,94	0,29	2,46	145	5,10	1,13	-0,84	0,15	1,98
150	3,46	1,31	-0,86	0,22	2,17	150	3,78	0,98	-0,76	0,11	1,75
155	2,42	1,09	-0,77	0,16	1,85	155	2,64	0,83	-0,67	0,08	1,49
160	1,56	0,86	-0,65	0,11	1,51	160	1,70	0,66	-0,56	0,05	1,22
165	0,88	0,64	-0,52	0,06	1,15	165	0,96	0,49	-0,43	0,03	0,93
170	0,39	0,42	-0,36	0,03	0,78	170	0,43	0,33	-0,30	0,01	0,62
175	0,10	0,20	-0,19	0,01	0,39	175	0,11	0,16	-0,15	0,00	0,31
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L=X _{max}	51,68	f _{max}	d _{max}	0,76	3,50	L=X _{max}	56,36	f _{max}	d _{max}	0,38	2,82
		f/L _{max}	d/L _{max}	1,470	6,771			f/L _{max}	d/L _{max}	0,678	4,996

Tabel 3.31

*Coordonatele profilului secțiunea 6
pentru rotorul R6*

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

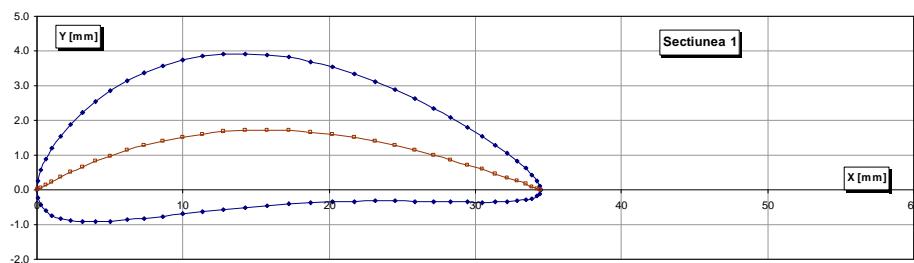


Fig. 3.83 Profilul și scheletul secțiunii 1 pentru rotorul R6

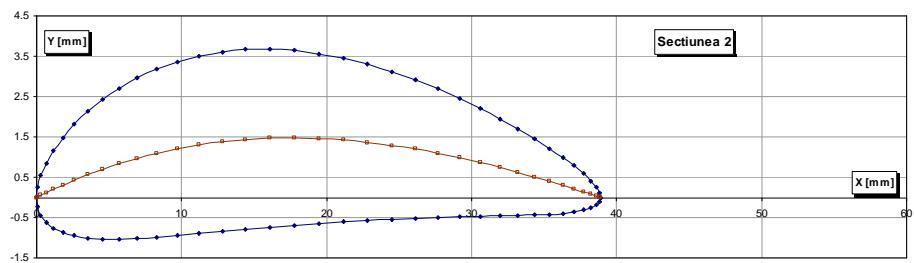


Fig. 3.84 Profilul și scheletul secțiunii 2 pentru rotorul R6

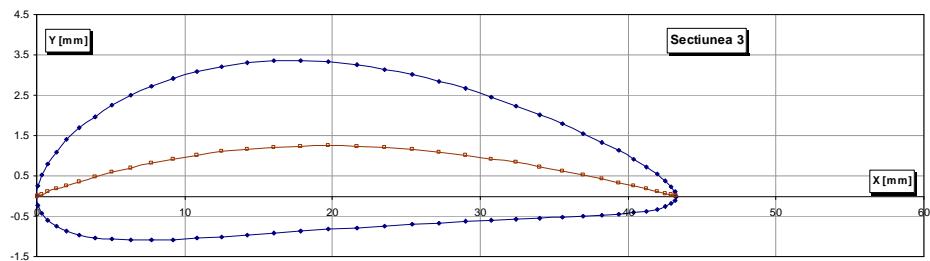


Fig. 3.85 Profilul și scheletul secțiunii 3 pentru rotorul R6

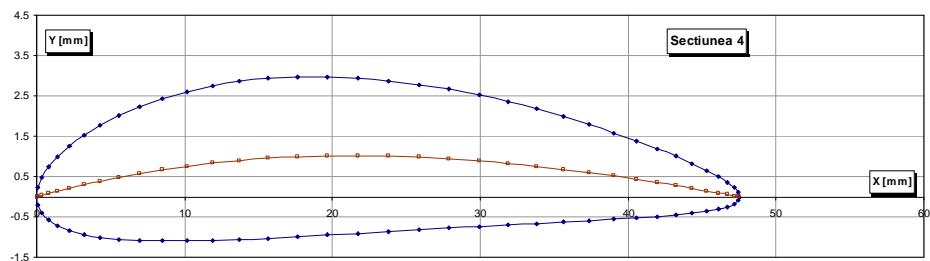


Fig. 3.86 Profilul și scheletul secțiunii 4 pentru rotorul R6

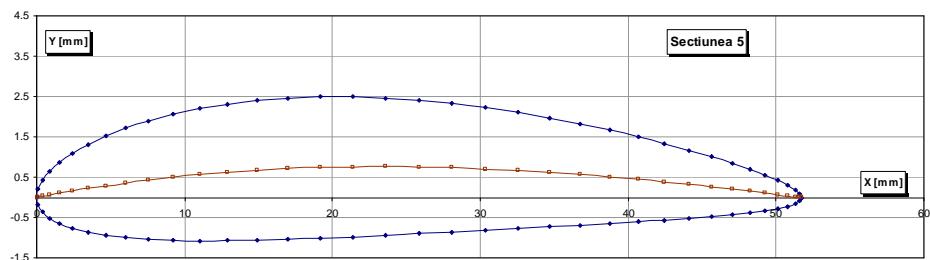


Fig. 3.87 Profilul și scheletul secțiunii 5 pentru rotorul R6

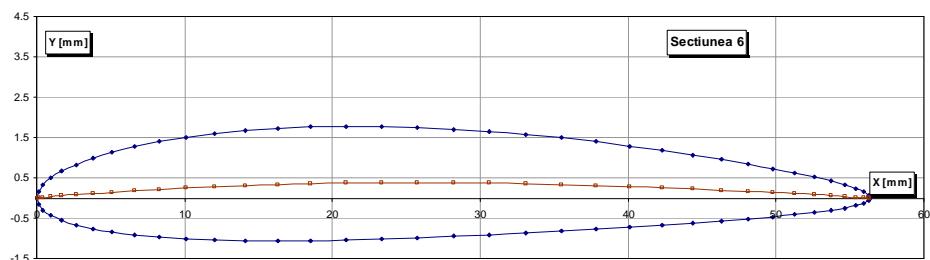


Fig. 3.88 Profilul și scheletul secțiunii 6 pentru rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.32

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 1 rotorul R6

	φ	X	V _t	C _p		φ	X	V _t	C _p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	34,47	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	1,2288	0,9118
Extrados	5	34,41	3,5254	0,2744	Intrados	185	0,07	1,1466	0,9232
	10	34,21	4,3912	-0,1257		190	0,26	2,6505	0,5899
	15	33,89	4,6951	-0,2869		195	0,59	3,3069	0,3616
	20	33,43	4,8683	-0,3837		200	1,04	3,5498	0,2643
	25	32,86	4,9921	-0,4549		205	1,61	3,6332	0,2293
	30	32,17	5,0944	-0,5152		210	2,31	3,6513	0,2217
	35	31,36	5,1847	-0,5694		215	3,12	3,6458	0,2240
	40	30,44	5,2706	-0,6218		220	4,03	3,6296	0,2309
	45	29,43	5,3535	-0,6732		225	5,05	3,6133	0,2378
	50	28,32	5,4334	-0,7236		230	6,16	3,6034	0,2420
	55	27,12	5,5111	-0,7732		235	7,35	3,6013	0,2428
	60	25,86	5,5851	-0,8211		240	8,62	3,6106	0,2389
	65	24,52	5,6548	-0,8669		245	9,95	3,6312	0,2302
	70	23,13	5,7191	-0,9095		250	11,34	3,6637	0,2164
	75	21,70	5,7760	-0,9478		255	12,78	3,7086	0,1970
	80	20,23	5,8245	-0,9806		260	14,24	3,7647	0,1726
	85	18,74	5,8634	-1,0071		265	15,73	3,8302	0,1435
	90	17,24	5,8915	-1,0264		270	17,24	3,9030	0,1106
	95	15,73	5,9076	-1,0375		275	18,74	3,9812	0,0746
	100	14,24	5,9115	-1,0402		280	20,23	4,0612	0,0371
	105	12,78	5,9024	-1,0339		285	21,70	4,1405	-0,0009
	110	11,34	5,8798	-1,0184		290	23,13	4,2167	-0,0380
	115	9,95	5,8430	-0,9932		295	24,52	4,2888	-0,0739
	120	8,62	5,7911	-0,9580		300	25,86	4,3561	-0,1078
	125	7,35	5,7236	-0,9126		305	27,12	4,4189	-0,1400
	130	6,16	5,6399	-0,8570		310	28,32	4,4777	-0,1705
	135	5,05	5,5393	-0,7914		315	29,43	4,5333	-0,1998
	140	4,03	5,4213	-0,7159		320	30,44	4,5865	-0,2281
	145	3,12	5,2849	-0,6306		325	31,36	4,6376	-0,2556
	150	2,31	5,1279	-0,5352		330	32,17	4,6862	-0,2821
	155	1,61	4,9392	-0,4243		335	32,86	4,7337	-0,3082
	160	1,04	4,7100	-0,2951		340	33,43	4,7718	-0,3293
	165	0,59	4,4015	-0,1310		345	33,89	4,7846	-0,3365
	170	0,26	3,9020	0,1111		350	34,21	4,7122	-0,2963
	175	0,07	3,0833	0,4450		355	34,41	3,9616	0,0837
BA	180	0,00	1,2288	0,9118	BF	360	34,47	0,0000	1,0000

Tabel 3.33

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 2 rotorul R6

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	38,91	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	1,4778	0,8929
Extrados	5	38,83	4,0588	0,1918	Intrados	185	0,07	1,3005	0,9170
	10	38,61	4,8106	-0,1353		190	0,30	3,0145	0,5542
	15	38,24	5,0794	-0,2658		195	0,66	3,6796	0,3358
	20	37,73	5,2201	-0,3369		200	1,17	3,9539	0,2330
	25	37,08	5,3235	-0,3904		205	1,82	4,0600	0,1913
	30	36,30	5,4091	-0,4354		210	2,61	4,0988	0,1758
	35	35,39	5,4867	-0,4769		215	3,52	4,1068	0,1725
	40	34,36	5,5602	-0,5167		220	4,55	4,1020	0,1745
	45	33,21	5,6309	-0,5556		225	5,70	4,0945	0,1775
	50	31,96	5,6998	-0,5939		230	6,95	4,0889	0,1797
	55	30,61	5,7664	-0,6313		235	8,30	4,0892	0,1796
	60	29,18	5,8303	-0,6677		240	9,73	4,0969	0,1766
	65	27,67	5,8907	-0,7024		245	11,23	4,1134	0,1699
	70	26,11	5,9460	-0,7346		250	12,80	4,1404	0,1590
	75	24,49	5,9955	-0,7635		255	14,42	4,1773	0,1439
	80	22,83	6,0374	-0,7883		260	16,08	4,2247	0,1244
	85	21,15	6,0710	-0,8082		265	17,76	4,2812	0,1008
	90	19,45	6,0951	-0,8226		270	19,45	4,3459	0,0734
	95	17,76	6,1093	-0,8311		275	21,15	4,4162	0,0432
	100	16,08	6,1135	-0,8336		280	22,83	4,4893	0,0112
	105	14,42	6,1075	-0,8300		285	24,49	4,5624	-0,0212
	110	12,80	6,0915	-0,8205		290	26,11	4,6327	-0,0529
	115	11,23	6,0653	-0,8048		295	27,67	4,6987	-0,0831
	120	9,73	6,0285	-0,7830		300	29,18	4,7593	-0,1112
	125	8,30	5,9807	-0,7548		305	30,61	4,8146	-0,1373
	130	6,95	5,9215	-0,7203		310	31,96	4,8653	-0,1613
	135	5,70	5,8498	-0,6789		315	33,21	4,9121	-0,1837
	140	4,55	5,7655	-0,6308		320	34,36	4,9558	-0,2049
	145	3,52	5,6668	-0,5755		325	35,39	4,9971	-0,2251
	150	2,61	5,5521	-0,5123		330	36,30	5,0358	-0,2441
	155	1,82	5,4151	-0,4386		335	37,08	5,0707	-0,2614
	160	1,17	5,2376	-0,3459		340	37,73	5,0995	-0,2758
	165	0,66	4,9790	-0,2162		345	38,24	5,1094	-0,2808
	170	0,30	4,5607	-0,0204		350	38,61	5,0176	-0,2352
	175	0,07	3,5683	0,3753		355	38,83	4,4605	0,0239
BA	180	0,00	1,4778	0,8929	BF	360	38,91	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.34

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 3 rotorul R6

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	43,25	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	1,7523	0,8716
Extrados	5	43,17	4,6005	0,1152	Intrados	185	0,08	1,5586	0,8984
	10	42,92	5,2446	-0,1499		190	0,33	3,3972	0,5175
	15	42,51	5,4567	-0,2448		195	0,74	4,0779	0,3048
	20	41,95	5,5784	-0,3009		200	1,30	4,3404	0,2124
	25	41,22	5,6627	-0,3406		205	2,03	4,4583	0,1690
	30	40,35	5,7345	-0,3748		210	2,90	4,5071	0,1507
	35	39,34	5,7999	-0,4063		215	3,91	4,5252	0,1439
	40	38,19	5,8621	-0,4367		220	5,06	4,5292	0,1424
	45	36,92	5,9226	-0,4664		225	6,33	4,5278	0,1429
	50	35,53	5,9817	-0,4959		230	7,72	4,5259	0,1436
	55	34,03	6,0390	-0,5247		235	9,22	4,5276	0,1430
	60	32,44	6,0943	-0,5527		240	10,81	4,5343	0,1405
	65	30,76	6,1465	-0,5794		245	12,49	4,5483	0,1352
	70	29,02	6,1944	-0,6041		250	14,23	4,5706	0,1266
	75	27,22	6,2373	-0,6264		255	16,03	4,6017	0,1147
	80	25,38	6,2736	-0,6454		260	17,87	4,6423	0,0990
	85	23,51	6,3026	-0,6607		265	19,74	4,6918	0,0797
	90	21,63	6,3231	-0,6715		270	21,63	4,7501	0,0567
	95	19,74	6,3348	-0,6777		275	23,51	4,8151	0,0307
	100	17,87	6,3376	-0,6792		280	25,38	4,8846	0,0025
	105	16,03	6,3321	-0,6763		285	27,22	4,9550	-0,0264
	110	14,23	6,3186	-0,6691		290	29,02	5,0237	-0,0551
	115	12,49	6,2977	-0,6581		295	30,76	5,0882	-0,0824
	120	10,81	6,2697	-0,6434		300	32,44	5,1466	-0,1073
	125	9,22	6,2343	-0,6249		305	34,03	5,1988	-0,1299
	130	7,72	6,1915	-0,6027		310	35,53	5,2452	-0,1502
	135	6,33	6,1406	-0,5764		315	36,92	5,2868	-0,1685
	140	5,06	6,0817	-0,5463		320	38,19	5,3244	-0,1852
	145	3,91	6,0134	-0,5118		325	39,34	5,3591	-0,2007
	150	2,90	5,9343	-0,4723		330	40,35	5,3910	-0,2150
	155	2,03	5,8381	-0,4249		335	41,22	5,4203	-0,2282
	160	1,30	5,7151	-0,3655		340	41,95	5,4426	-0,2384
	165	0,74	5,5364	-0,2814		345	42,51	5,4431	-0,2386
	170	0,33	5,1819	-0,1226		350	42,92	5,3746	-0,2076
	175	0,08	4,3228	0,2188		355	43,17	4,8115	0,0322
BA	180	0,00	1,7523	0,8716	BF	360	43,25	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.35

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 4 rotorul R6

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	47,51	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	2,1648	0,8312
Extrados	5	47,42	5,1394	0,0488	Intrados	185	0,09	1,8844	0,8721
	10	47,15	5,6801	-0,1618		190	0,36	3,7749	0,4869
	15	46,70	5,8464	-0,2308		195	0,81	4,4362	0,2913
	20	46,08	5,9413	-0,2711		200	1,43	4,6997	0,2046
	25	45,28	6,0089	-0,3002		205	2,23	4,8240	0,1620
	30	44,33	6,0674	-0,3257		210	3,18	4,8822	0,1416
	35	43,21	6,1213	-0,3493		215	4,30	4,9098	0,1319
	40	41,95	6,1732	-0,3723		220	5,56	4,9217	0,1277
	45	40,55	6,2238	-0,3949		225	6,96	4,9269	0,1259
	50	39,02	6,2735	-0,4173		230	8,49	4,9300	0,1248
	55	37,38	6,3222	-0,4394		235	10,13	4,9339	0,1234
	60	35,63	6,3691	-0,4608		240	11,88	4,9415	0,1207
	65	33,79	6,4136	-0,4813		245	13,72	4,9544	0,1161
	70	31,88	6,4549	-0,5004		250	15,63	4,9734	0,1093
	75	29,90	6,4918	-0,5176		255	17,61	5,0003	0,0996
	80	27,88	6,5233	-0,5324		260	19,63	5,0353	0,0870
	85	25,82	6,5483	-0,5441		265	21,68	5,0794	0,0709
	90	23,75	6,5660	-0,5525		270	23,75	5,1322	0,0515
	95	21,68	6,5756	-0,5570		275	25,82	5,1934	0,0287
	100	19,63	6,5772	-0,5578		280	27,88	5,2609	0,0033
	105	17,61	6,5712	-0,5550		285	29,90	5,3316	-0,0236
	110	15,63	6,5586	-0,5490		290	31,88	5,4022	-0,0509
	115	13,72	6,5405	-0,5404		295	33,79	5,4690	-0,0771
	120	11,88	6,5177	-0,5297		300	35,63	5,5294	-0,1010
	125	10,13	6,4909	-0,5172		305	37,38	5,5824	-0,1222
	130	8,49	6,4601	-0,5028		310	39,02	5,6278	-0,1405
	135	6,96	6,4255	-0,4868		315	40,55	5,6669	-0,1564
	140	5,56	6,3869	-0,4690		320	41,95	5,7009	-0,1704
	145	4,30	6,3445	-0,4495		325	43,21	5,7310	-0,1828
	150	3,18	6,2973	-0,4280		330	44,33	5,7582	-0,1940
	155	2,23	6,2437	-0,4038		335	45,28	5,7821	-0,2039
	160	1,43	6,1799	-0,3753		340	46,08	5,7992	-0,2111
	165	0,81	6,0782	-0,3304		345	46,70	5,8020	-0,2122
	170	0,36	5,8375	-0,2271		350	47,15	5,7541	-0,1923
	175	0,09	5,0036	0,0985		355	47,42	5,3682	-0,0377
BA	180	0,00	2,1648	0,8312	BF	360	47,51	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.36

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 5 rotorul R6

	φ	X	V _t	C _p		φ	X	V _t	C _p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	51,68	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	2,9443	0,7290
Extrados	5	51,59	5,6651	-0,0034	Intrados	185	0,10	2,2276	0,8449
	10	51,29	6,1203	-0,1711		190	0,39	4,0878	0,4776
	15	50,80	6,2455	-0,2195		195	0,88	4,7321	0,2999
	20	50,13	6,3134	-0,2462		200	1,56	5,0105	0,2151
	25	49,26	6,3652	-0,2667		205	2,42	5,1467	0,1719
	30	48,22	6,4092	-0,2843		210	3,46	5,2225	0,1473
	35	47,01	6,4515	-0,3013		215	4,67	5,2633	0,1339
	40	45,64	6,4923	-0,3178		220	6,05	5,2878	0,1258
	45	44,12	6,5328	-0,3343		225	7,57	5,3027	0,1209
	50	42,45	6,5727	-0,3506		230	9,23	5,3137	0,1172
	55	40,66	6,6121	-0,3669		235	11,02	5,3232	0,1141
	60	38,76	6,6505	-0,3828		240	12,92	5,3341	0,1105
	65	36,76	6,6872	-0,3981		245	14,92	5,3481	0,1058
	70	34,68	6,7216	-0,4125		250	17,00	5,3665	0,0996
	75	32,53	6,7528	-0,4256		255	19,15	5,3907	0,0915
	80	30,33	6,7799	-0,4371		260	21,35	5,4218	0,0810
	85	28,09	6,8018	-0,4464		265	23,59	5,4612	0,0676
	90	25,84	6,8177	-0,4532		270	25,84	5,5097	0,0509
	95	23,59	6,8269	-0,4571		275	28,09	5,5672	0,0310
	100	21,35	6,8289	-0,4580		280	30,33	5,6337	0,0077
	105	19,15	6,8241	-0,4559		285	32,53	5,7065	-0,0181
	110	17,00	6,8134	-0,4514		290	34,68	5,7819	-0,0452
	115	14,92	6,7982	-0,4449		295	36,76	5,8558	-0,0721
	120	12,92	6,7803	-0,4373		300	38,76	5,9230	-0,0968
	125	11,02	6,7610	-0,4291		305	40,66	5,9809	-0,1184
	130	9,23	6,7412	-0,4208		310	42,45	6,0288	-0,1363
	135	7,57	6,7215	-0,4125		315	44,12	6,0677	-0,1510
	140	6,05	6,7025	-0,4045		320	45,64	6,0995	-0,1631
	145	4,67	6,6854	-0,3973		325	47,01	6,1259	-0,1732
	150	3,46	6,6721	-0,3918		330	48,22	6,1483	-0,1818
	155	2,42	6,6634	-0,3882		335	49,26	6,1673	-0,1891
	160	1,56	6,6647	-0,3887		340	50,13	6,1803	-0,1942
	165	0,88	6,6619	-0,3875		345	50,80	6,1837	-0,1955
	170	0,39	6,6172	-0,3690		350	51,29	6,1434	-0,1800
	175	0,10	6,1056	-0,1655		355	51,59	5,8482	-0,0693
BA	180	0,00	2,9443	0,7290	BF	360	51,68	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.37

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 6 rotorul R6

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	56,36	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	5,0533	0,3163
Extrados	5	56,25	6,3590	-0,0827	Intrados	185	0,11	2,2032	0,8700
	10	55,93	6,6454	-0,1824		190	0,43	4,2378	0,5192
	15	55,40	6,7200	-0,2091		195	0,96	4,9351	0,3479
	20	54,66	6,7590	-0,2232		200	1,70	5,2657	0,2576
	25	53,72	6,7888	-0,2340		205	2,64	5,4483	0,2052
	30	52,58	6,8160	-0,2439		210	3,78	5,5577	0,1730
	35	51,26	6,8423	-0,2535		215	5,10	5,6289	0,1517
	40	49,76	6,8687	-0,2632		220	6,59	5,6775	0,1370
	45	48,10	6,8951	-0,2729		225	8,25	5,7128	0,1262
	50	46,29	6,9219	-0,2828		230	10,07	5,7401	0,1178
	55	44,34	6,9487	-0,2928		235	12,02	5,7630	0,1108
	60	42,27	6,9753	-0,3027		240	14,09	5,7835	0,1044
	65	40,09	7,0015	-0,3125		245	16,27	5,8040	0,0981
	70	37,82	7,0267	-0,3220		250	18,54	5,8258	0,0913
	75	35,47	7,0505	-0,3309		255	20,89	5,8506	0,0835
	80	33,07	7,0724	-0,3392		260	23,29	5,8799	0,0743
	85	30,63	7,0916	-0,3465		265	25,72	5,9156	0,0631
	90	28,18	7,1076	-0,3526		270	28,18	5,9592	0,0492
	95	25,72	7,1197	-0,3572		275	30,63	6,0125	0,0321
	100	23,29	7,1273	-0,3601		280	33,07	6,0771	0,0112
	105	20,89	7,1300	-0,3611		285	35,47	6,1534	-0,0138
	110	18,54	7,1284	-0,3605		290	37,82	6,2390	-0,0422
	115	16,27	7,1233	-0,3586		295	40,09	6,3284	-0,0723
	120	14,09	7,1168	-0,3561		300	42,27	6,4137	-0,1014
	125	12,02	7,1110	-0,3539		305	44,34	6,4871	-0,1267
	130	10,07	7,1079	-0,3527		310	46,29	6,5449	-0,1469
	135	8,25	7,1093	-0,3532		315	48,10	6,5873	-0,1618
	140	6,59	7,1172	-0,3562		320	49,76	6,6171	-0,1723
	145	5,10	7,1346	-0,3629		325	51,26	6,6380	-0,1798
	150	3,78	7,1668	-0,3752		330	52,58	6,6529	-0,1850
	155	2,64	7,2207	-0,3960		335	53,72	6,6635	-0,1888
	160	1,70	7,3145	-0,4325		340	54,66	6,6694	-0,1909
	165	0,96	7,4679	-0,4932		345	55,40	6,6678	-0,1904
	170	0,43	7,7400	-0,6040		350	55,93	6,6370	-0,1794
	175	0,11	8,0268	-0,7250		355	56,25	6,4296	-0,1068
BA	180	0,00	5,0533	0,3163	BF	360	56,36	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

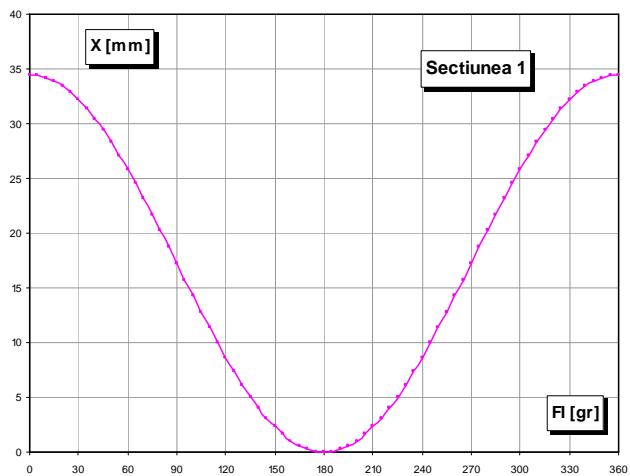


Fig. 3.89 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R6

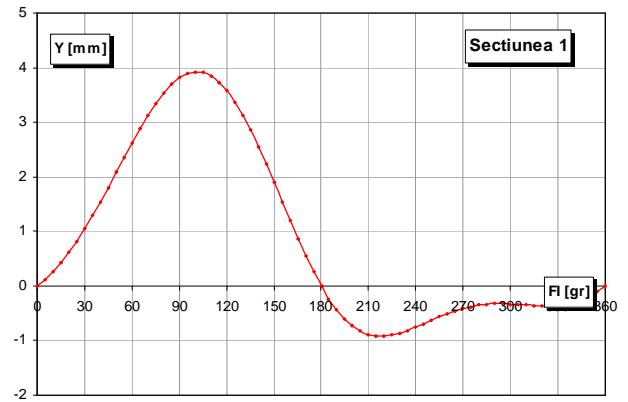


Fig. 3.90 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R6

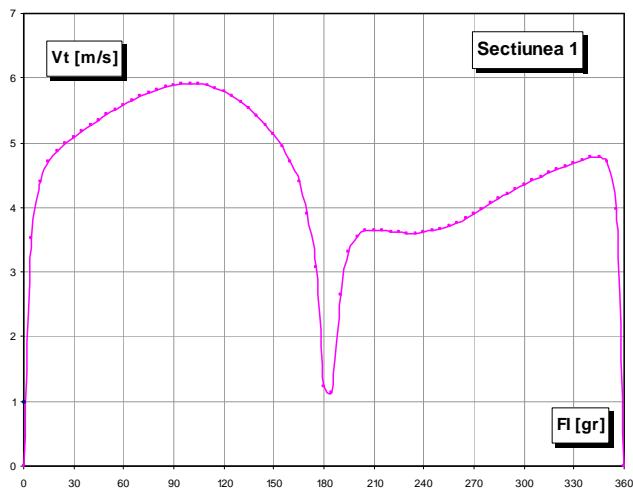


Fig. 3.91 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R6

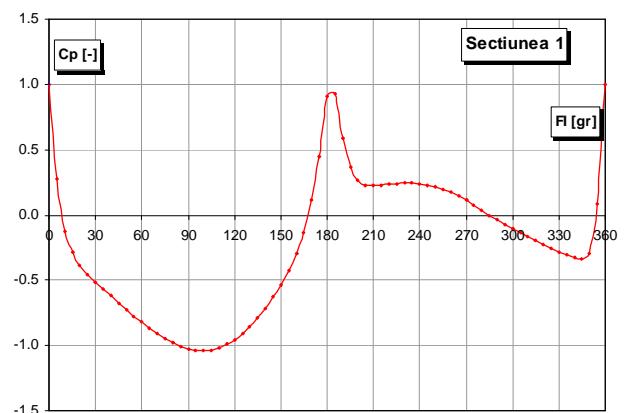


Fig. 3.92 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R6

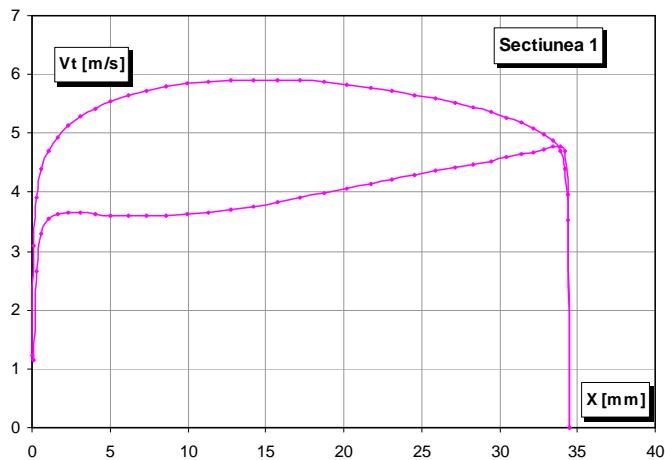


Fig. 3.93 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R6

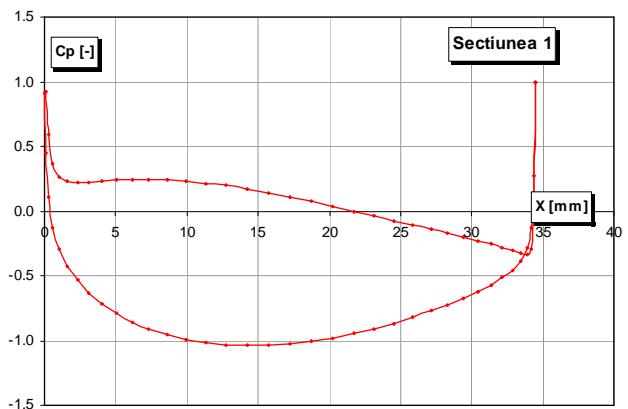


Fig. 3.94 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

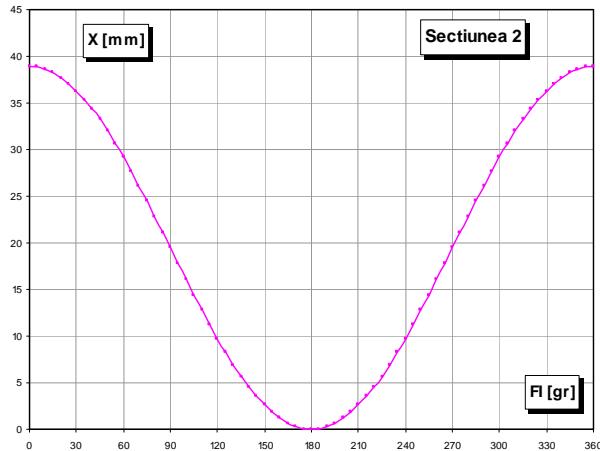


Fig. 3.95 Variația $X=f(\varphi)$ Secțiunea 2 / rotorul R6

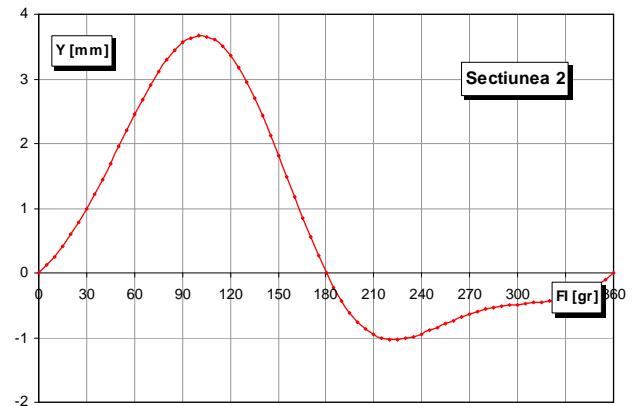


Fig. 3.96 Variația $Y=f(\varphi)$ Secțiunea 2 / rotorul R6

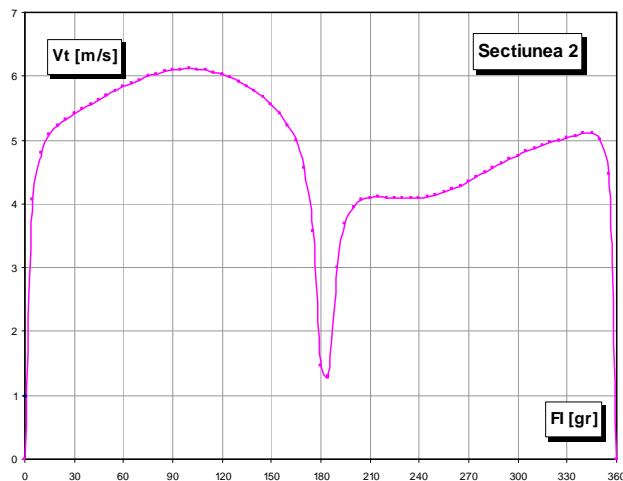


Fig. 3.97 Variația $V_t=f(\varphi)$ Secțiunea 2 / rotorul R6

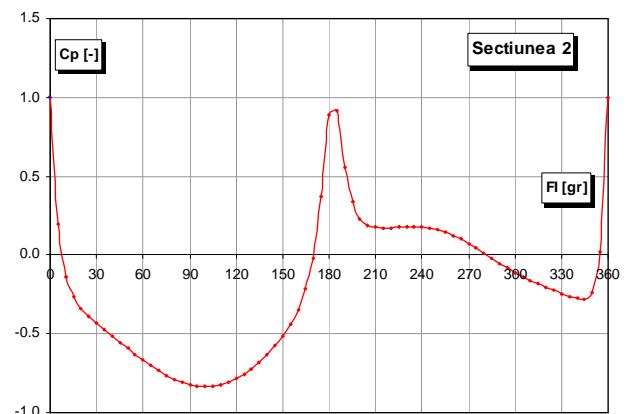


Fig. 3.98 Variația $C_p=f(\varphi)$ Secțiunea 2 / rotorul R6

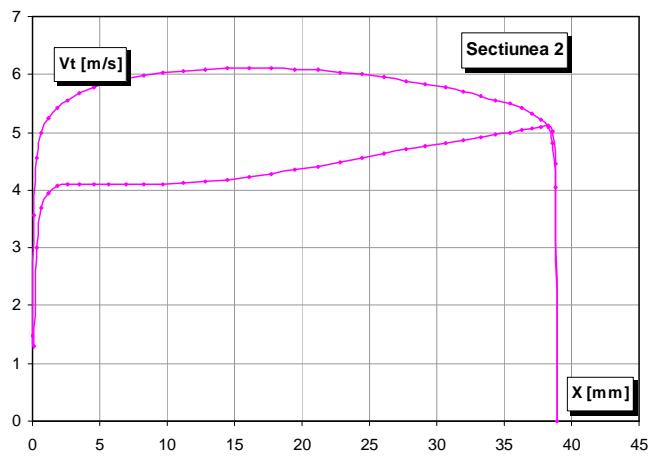


Fig. 3.99 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R6

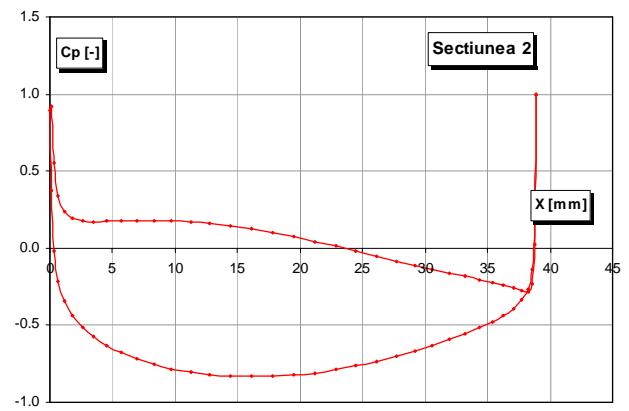


Fig. 3.100 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

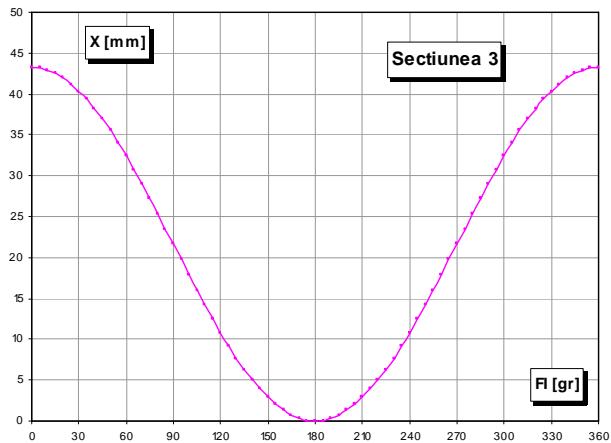


Fig. 3.101 Variația $X=f(\varphi)$ Secțiunea 3 / rotorul R6

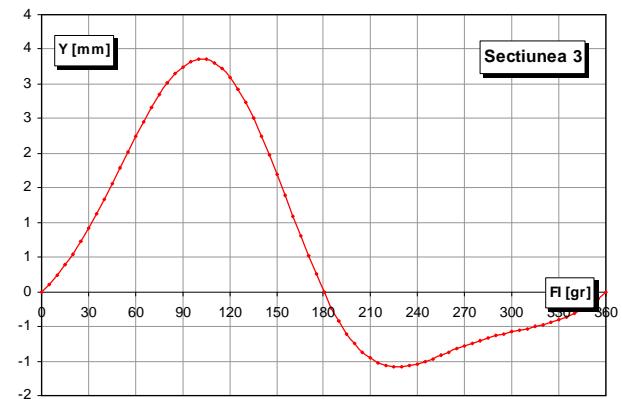


Fig. 3.102 Variația $Y=f(\varphi)$ Secțiunea 3 / rotorul R6

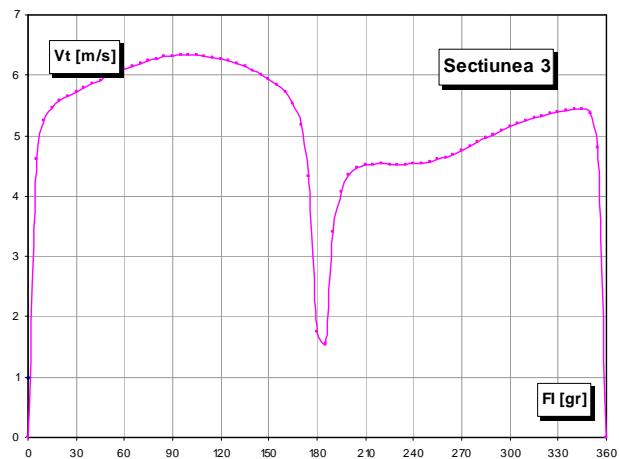


Fig. 3.103 Variația $V_t=f(\varphi)$ Secțiunea 3 / rotorul R6

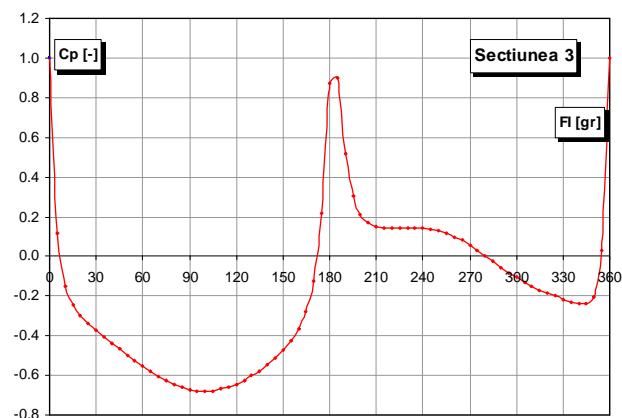


Fig. 3.104 Variația $C_p=f(\varphi)$ Secțiunea 3 / rotorul R6

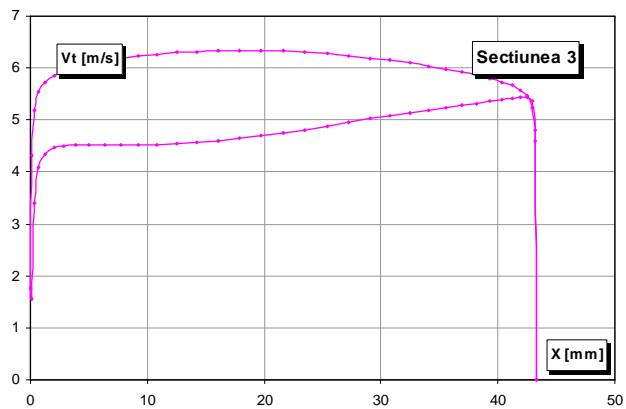


Fig. 3.105 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R6

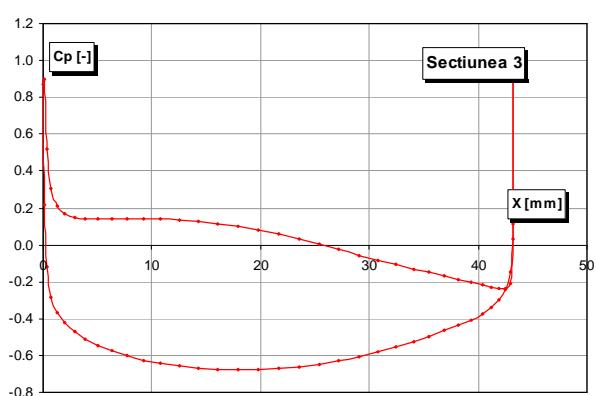


Fig. 3.106 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

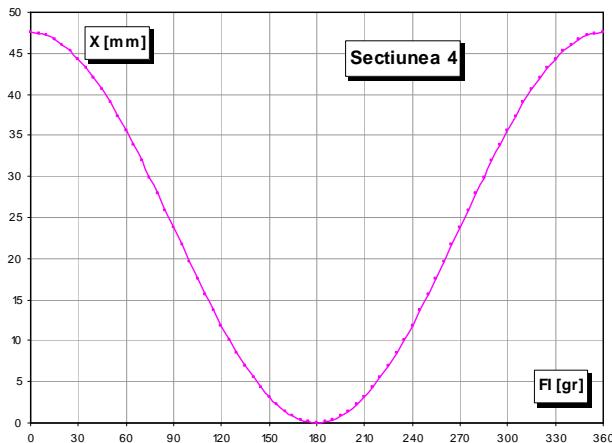


Fig. 3.107 Variația $X=f(\varphi)$ Secțiunea 4 / rotorul R6

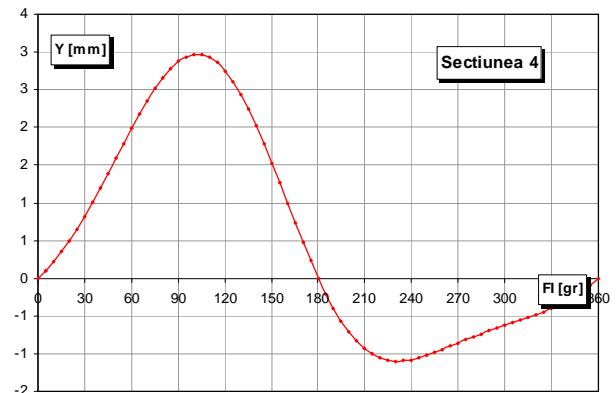


Fig. 3.108 Variația $Y=f(\varphi)$ Secțiunea 4 / rotorul R6

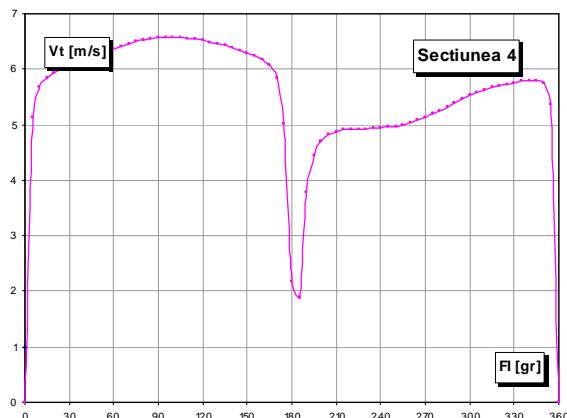


Fig. 3.109 Variația $V_t=f(\varphi)$ Secțiunea 4 / rotorul R6

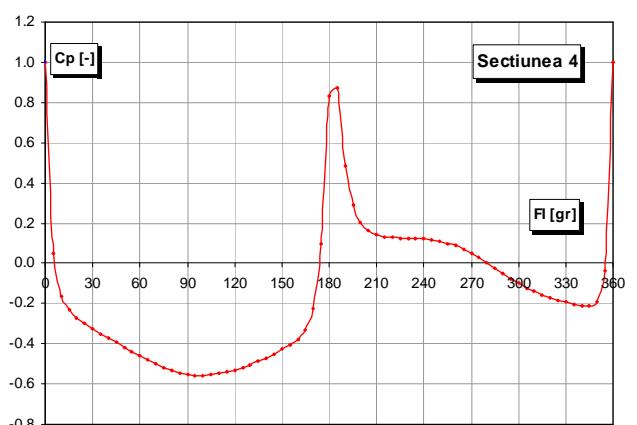


Fig. 3.110 Variația $C_p=f(\varphi)$ Secțiunea 4 / rotorul R6

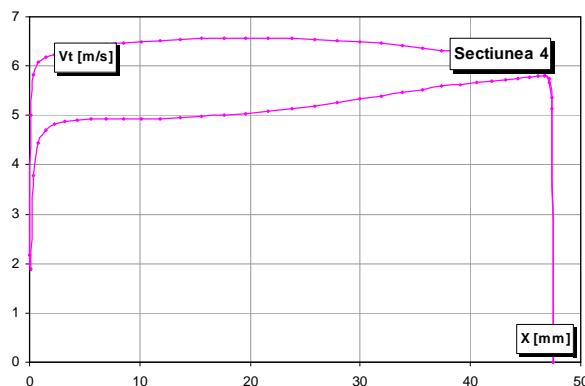


Fig. 3.111 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R6

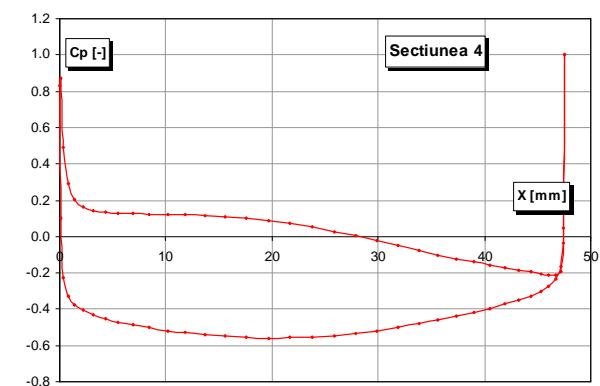


Fig. 3.112 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

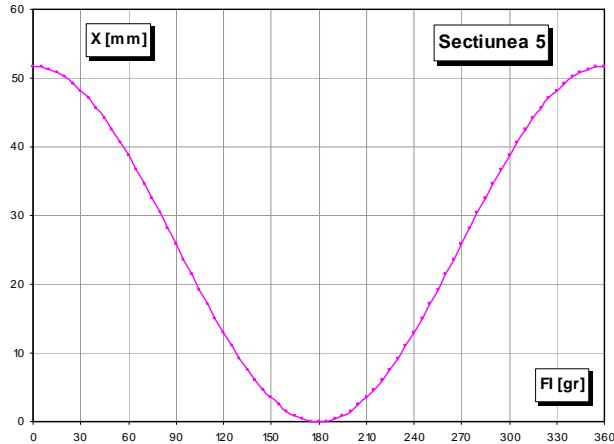


Fig. 3.113 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R6

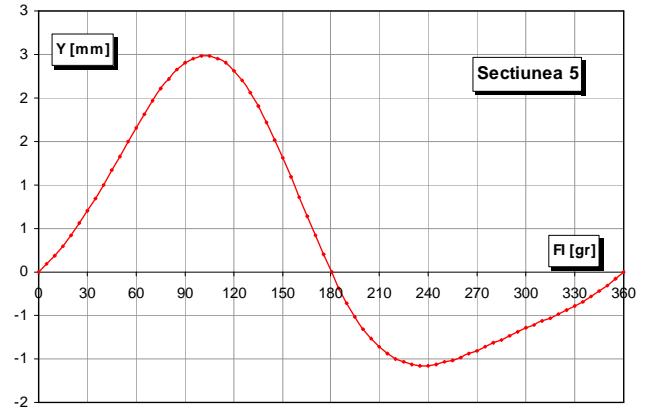


Fig. 3.114 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R6

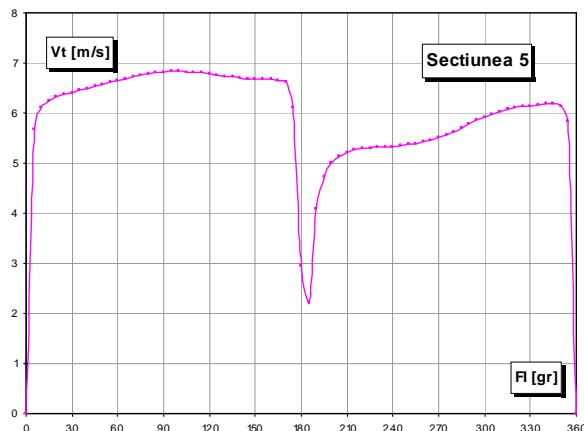


Fig. 3.115 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R6

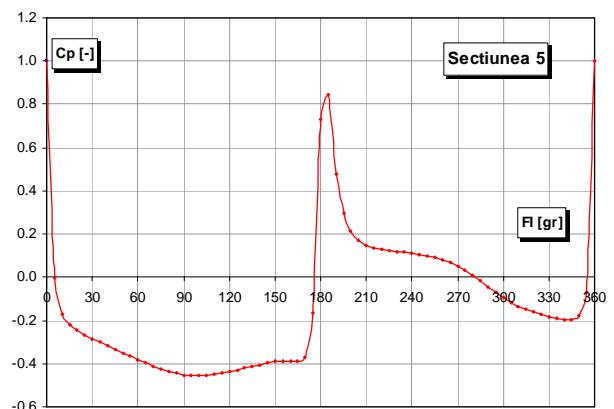


Fig. 3.116 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 5 / rotorul R6

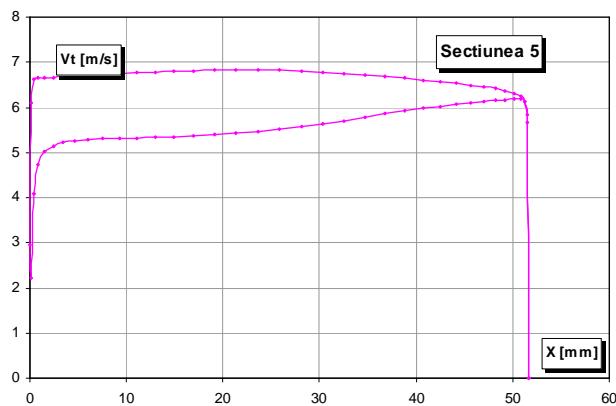


Fig. 3.117 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R6

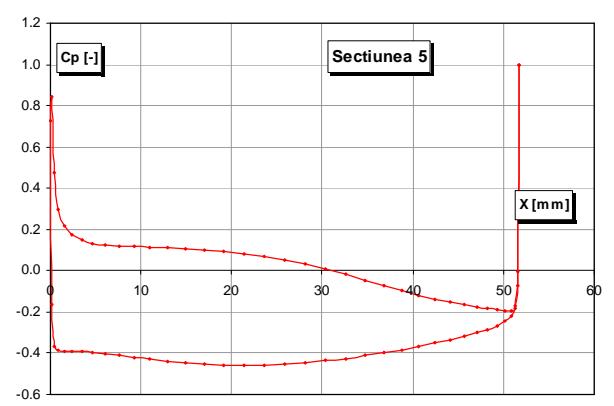


Fig. 3.118 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 5 / rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

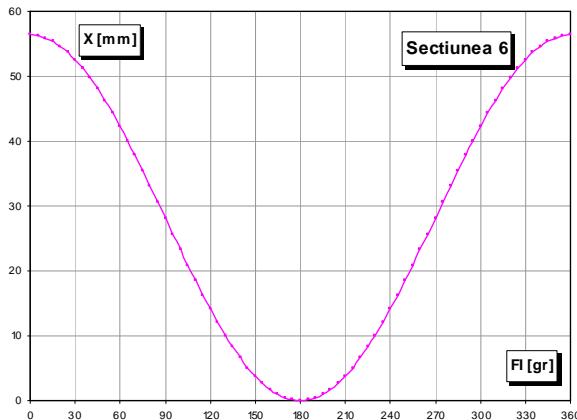


Fig. 3.119 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R6

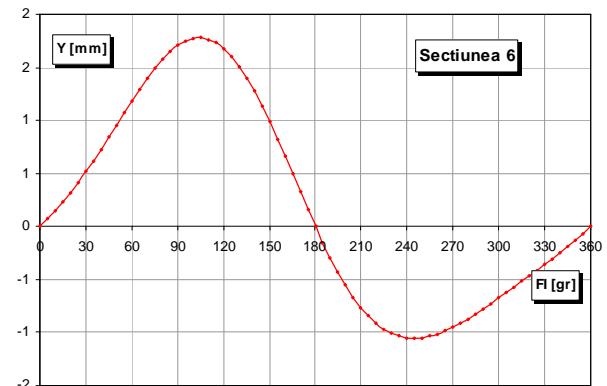


Fig. 3.120 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R6

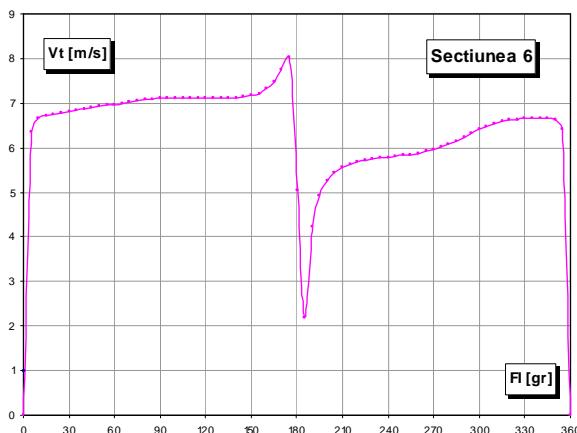


Fig. 3.121 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R6

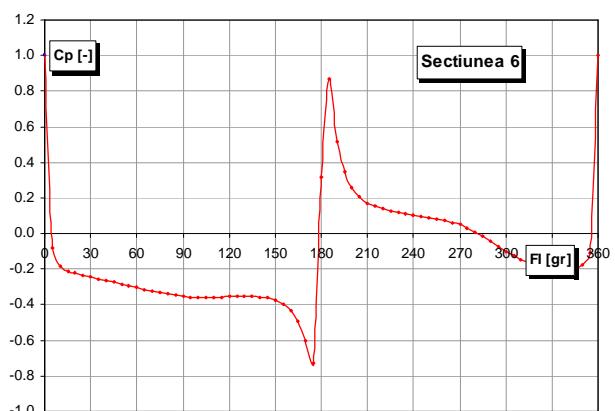


Fig. 3.122 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 6 / rotorul R6

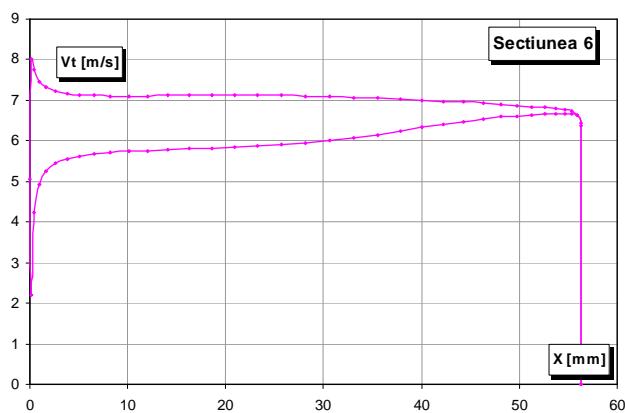


Fig. 3.123 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R6

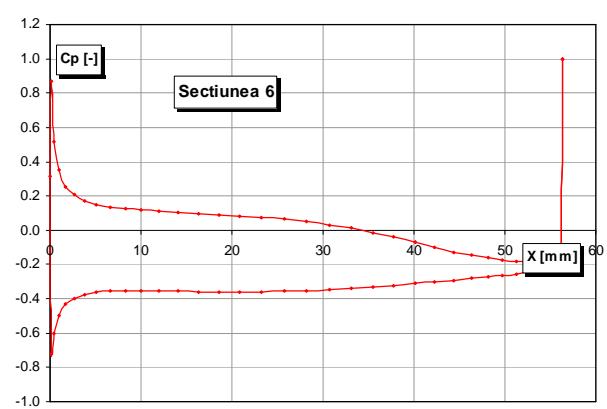


Fig. 3.124 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

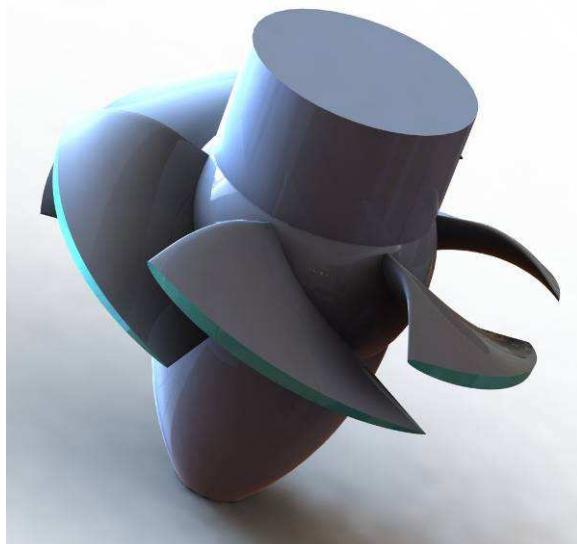


Fig. 3.125 Vedere 3D a rotorului R6

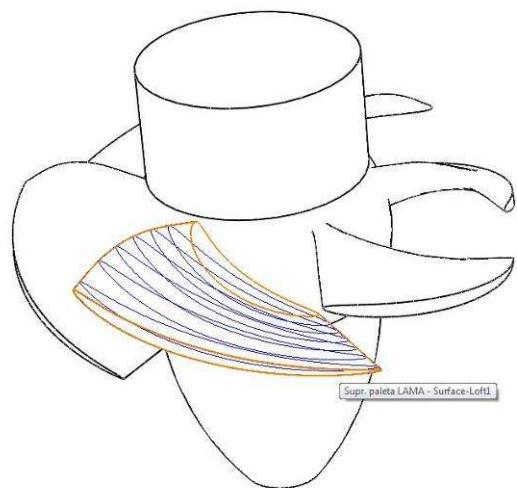


Fig. 3.126 Profile 3D rotor R6

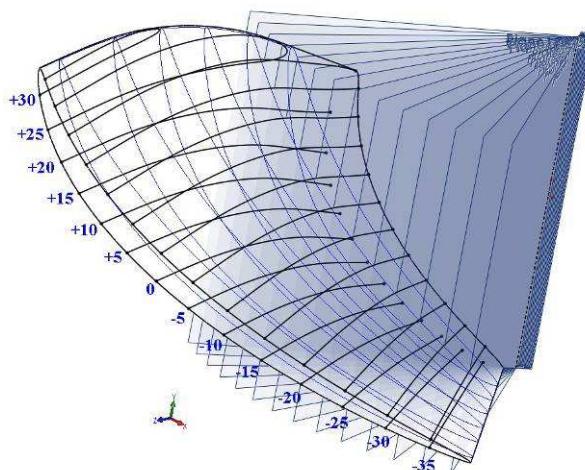


Fig. 3.127 Intersecție rotor R6 cu plane radiale

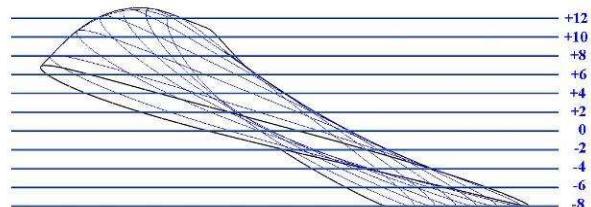


Fig. 3.128 Intersecție rotor R6 cu plane de nivel –
Vedere Front

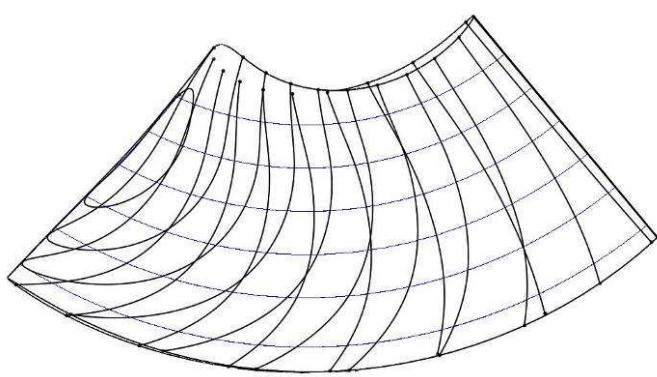


Fig. 3.129 Intersecție rotor R6 cu plane de nivel –
Vedere Top

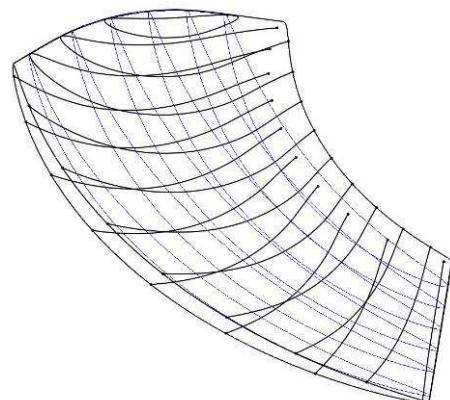


Fig. 3.130 Intersecție rotor R6 cu plane de nivel –
Vedere Izometrică

3.5 Proiectarea hidrodinamică a rotorului R8

Rotorul R8 este un rotor cu 8 palete. Datele de proiectare a paletelor rotorice, constante și variabile funcție de rază, sunt prezentate în **tabelele 3.38** respectiv **3.39**.

Tabel 3.38

Date de proiectare rotor R8

Tip rotor	-	-	R8
Număr secțiuni calcul	-	-	6
Turația unitară	n_{11}	rot/min	94
Debit unitar	Q_{11}	m^3/s	0,84
Cădere de calcul	H	m	2,017
Diametru rotor	D	mm	89
Diametru relativ butuc	v	-	0,5258
Număr palete rotor	Z_R	buc	8
Pozitie ax rotație	-	%	55
Secțiune de definire a axului de rotație	-	-	6

Tabel 3.39

Date de proiectare rotor R8 variabile funcție de rază

R	t/l	η_h	α_∞	K_r	X_{FR}	d/L	X_{DR}	ϵ	Vm_R
mm	-	-	grade	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	m/s
25,0	0,4992	0,8	7,986	-0,2006	-0,050	0,130	-0,15	2,6	2,311
28,5	0,5108	0,8	5,741	-0,1229	-0,050	0,114	-0,15	2,6	2,305
32,0	0,5223	0,8	3,976	-0,0452	-0,050	0,099	-0,15	2,6	2,248
35,5	0,5339	0,8	2,692	0,0325	-0,050	0,083	-0,15	2,6	2,139
39,0	0,5454	0,8	1,888	0,1102	-0,050	0,068	-0,15	2,6	1,979
43,0	0,5586	0,8	1,556	0,1990	-0,050	0,050	-0,15	2,6	1,733

Valorile vitezei meridiane Vm_R sunt preluate din simularea numerică &3.1, tabelul 3.4, pentru razele de calcul $R=25, 28,5, 32, 35,5, 39, 43$ mm, figura 3.131, curba „Flow Simulation”. Se observă faptul că această curbă are o cădere bruscă spre exterior (la raza periferică $R=43$ mm). Calculul rotorului cu această valoare generează o paletă exagerat de torsionată. Pentru comparație, în același grafic este reprezentată și curba „Viteza medie constantă”, a cărei valoare rezultă din relația 3.2. În consecință, pentru proiectarea rotorului, s-a utilizat curba „Interpolare viteza medie”, care trece foarte aproape de punctele corespunzătoare razelor $R=25, 28,5, 32, 35,5$ mm, iar pentru razele $R=39, 43$ mm s-au adoptat valori mai ridicate față de curba „Flow Simulation”, dar inferioare curbei „Viteza medie constantă”, cu expresia matematică:

$$Vm_R = -0,0021 \times R^2 + 0,1107 \times R + 0,8561 \quad (3.23)$$

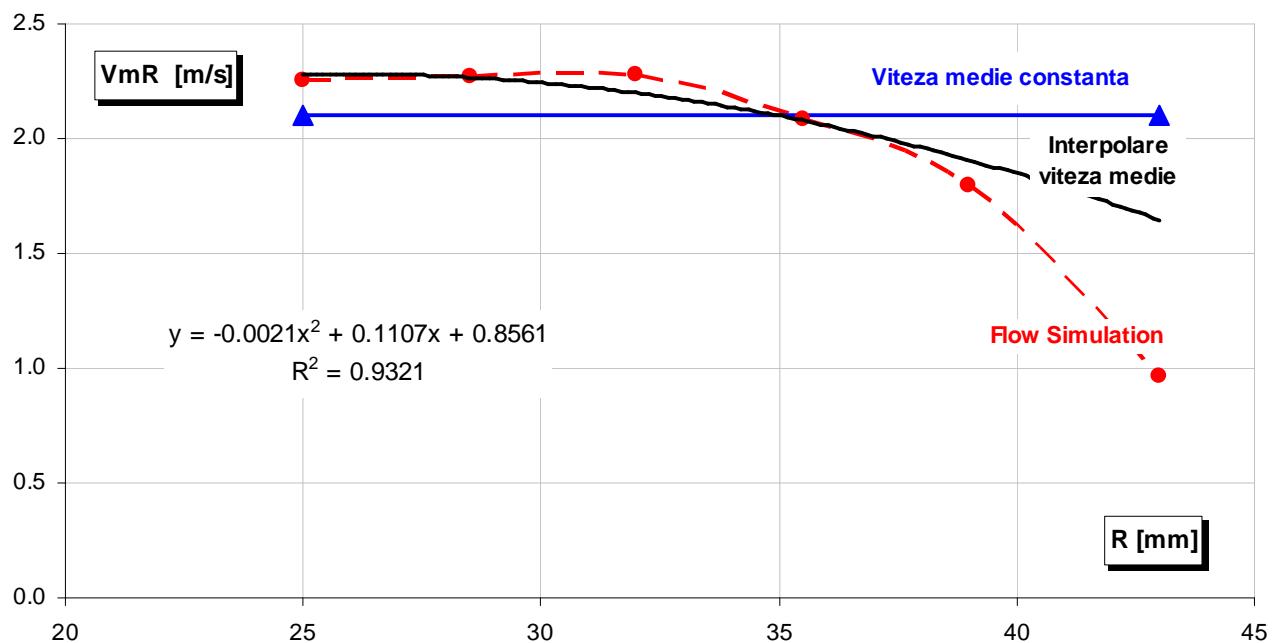


Fig. 3.131 Variația vitezei meridiane funcție de razele de calcul pentru rotorul R8

Figura 3.132 prezintă variația pasului relativ t/l și a unghiului de incidență α_∞ funcție de razele de calcul pentru rotorul R8. Figura 3.133 prezintă variația poziției săgeții X_{FR} , grosimii X_{DR} și a grosimii d/L relative funcție de razele de calcul pentru rotorul R8. Figura 3.134 prezintă variația randamentului hidraulic η_h și a coeficientului de postrotație K_r funcție de razele de calcul pentru rotorul R8. Figura 3.135 prezintă variația coeficientului de portanță C_A și a săgeții relative f/L funcție de razele de calcul pentru rotorul R8. Figura 3.136 prezintă variația vitezelor absolute V_{ou} , V_{3u} , a vitezei relative W_∞ , a vitezei tangențiale U și meridiane V_{mR} funcție de razele de calcul pentru rotorul R8. Figura 3.137 prezintă variația unghiurilor β_∞ , β_s , λ funcție de razele de calcul pentru rotorul R8. Figura 3.138 prezintă variația lungimii profilelor L funcție de razele de calcul pentru rotorul R8.

Figurile 3.139 ÷ 144 prezintă forma profilelor pentru rotorul R8. Figurile 3.145 ÷ 3.180 prezintă variațiile $X=f(\phi)$, $Y=f(\phi)$, $V_t=f(\phi)$, $C_p=f(\phi)$, $V_t=f(X)$, $C_p=f(X)$ pentru secțiunile 1 ÷ 6. Figurile 3.181 ÷ 3.186 prezintă vederi 3D a rotorului, intersecții cu plane radiale și plane de nivel.

Tabelul 3.40 prezintă mărimele constante calculate, iar tabelul 3.41 prezintă elementele asimptotice calculate pentru rotorul R8, variabile funcție de rază. Tabelele 3.42 ÷ 3.47 prezintă coordonatele calculate ale profilului pentru secțiunile 1 ÷ 6, iar 3.48 ÷ 3.53 valorile vitezelor tangențiale la profil și coeficientului de presiune pentru rotorul R8.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

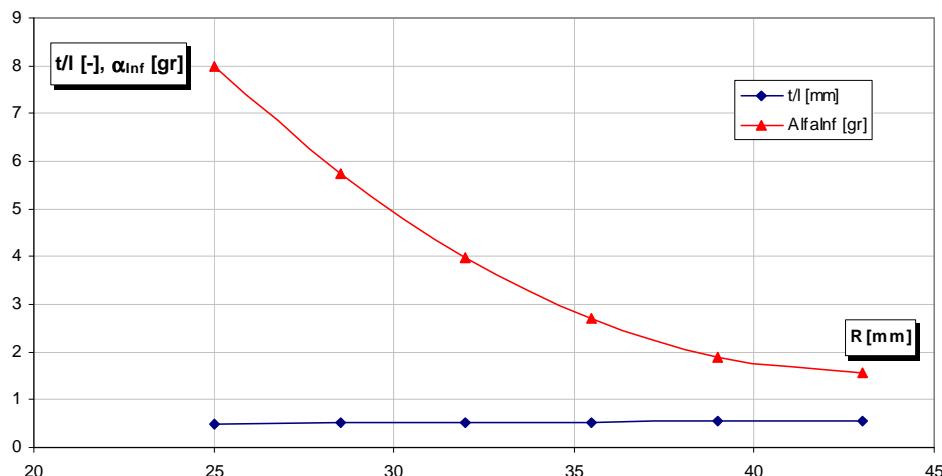


Fig. 3.132 Variația pasului relativ și a unghiului de incidență funcție de razele de calcul pentru rotorul R8

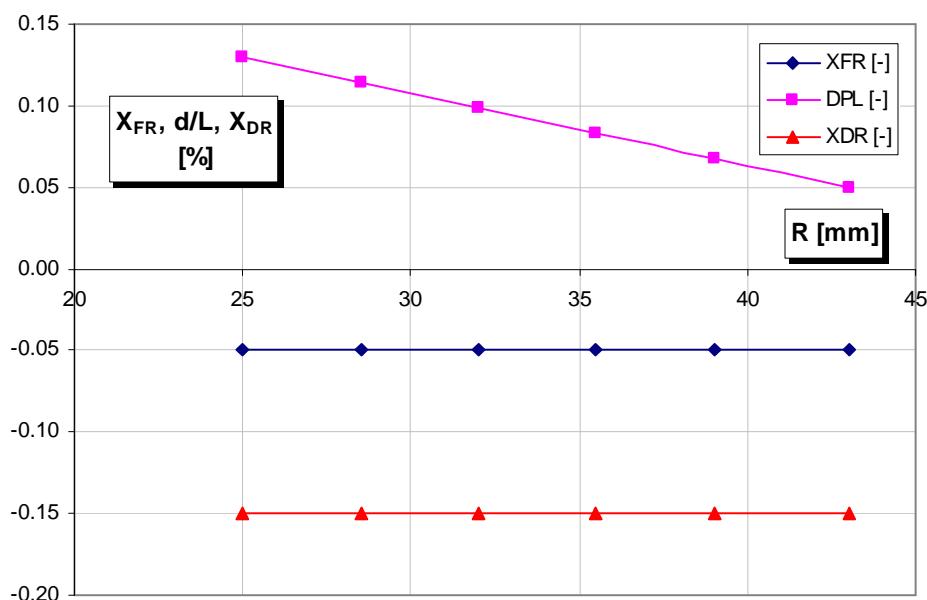


Fig. 3.133 Variația poziției săgeții, grosimii și a grosimii funcție de razele de calcul pentru rotorul R8

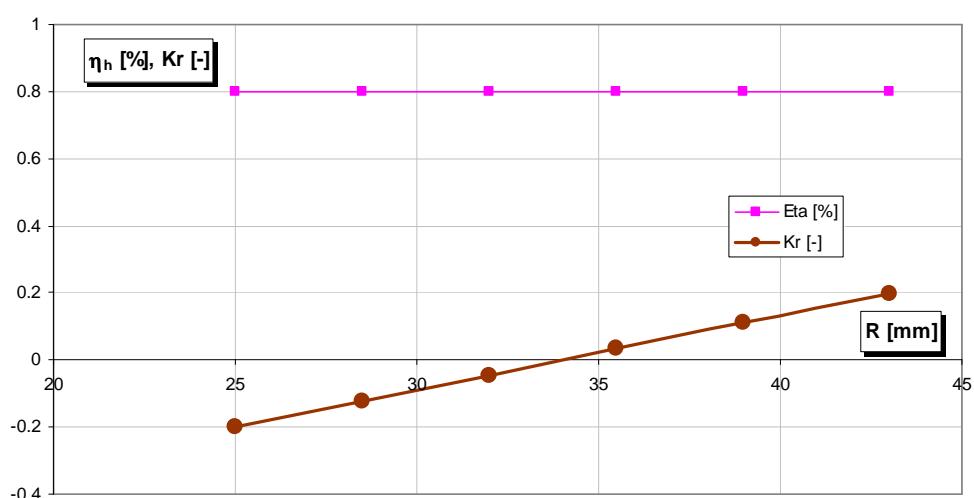


Fig. 3.134 Variația randamentului hidraulic și a coeficientului de postrotatie funcție de razele de calcul pentru rotorul R8

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

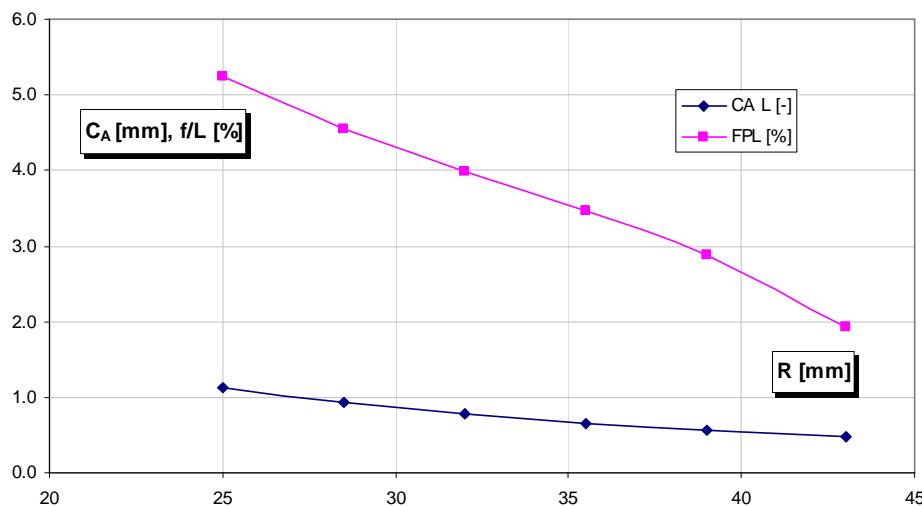


Fig. 3.135 Variația coeficientului de portanță și a săgeții relative funcție de razele de calcul pentru rotorul R8

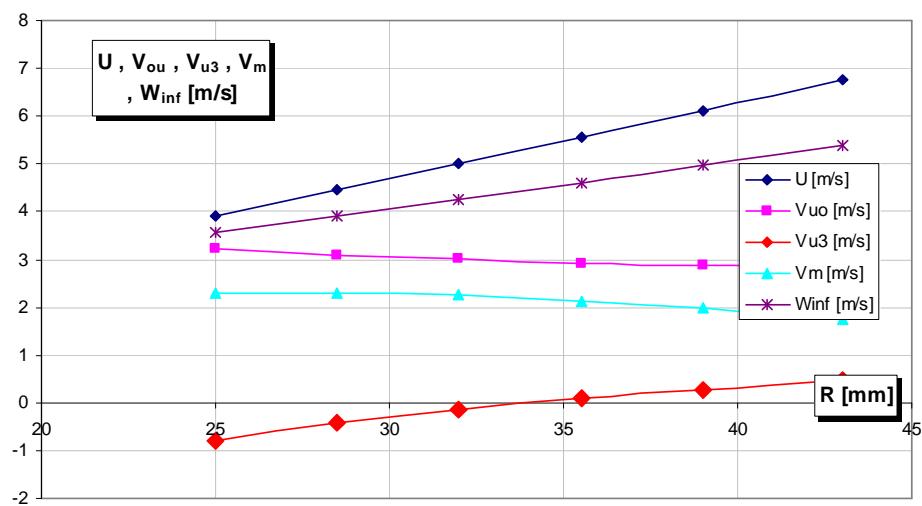


Fig. 3.136 Variația vitezelor funcție de razele de calcul pentru rotorul R8

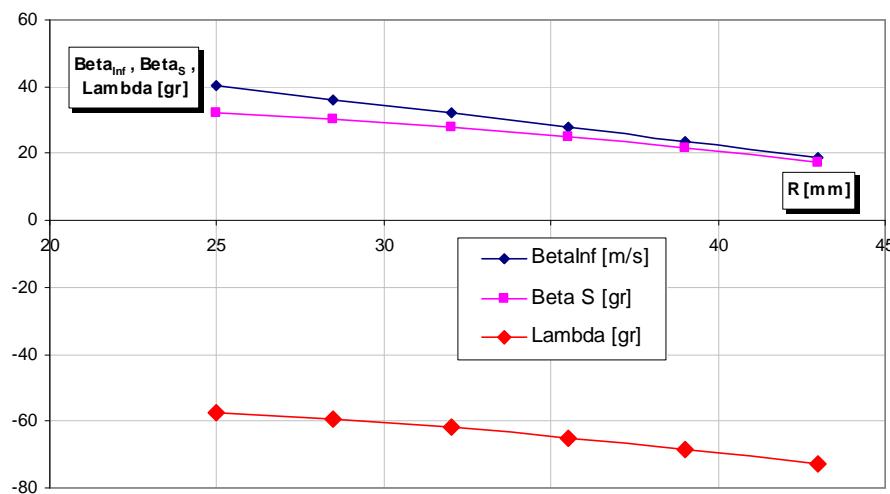


Fig. 3.137 Variația unghiurilor funcție de razele de calcul pentru rotorul R8

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

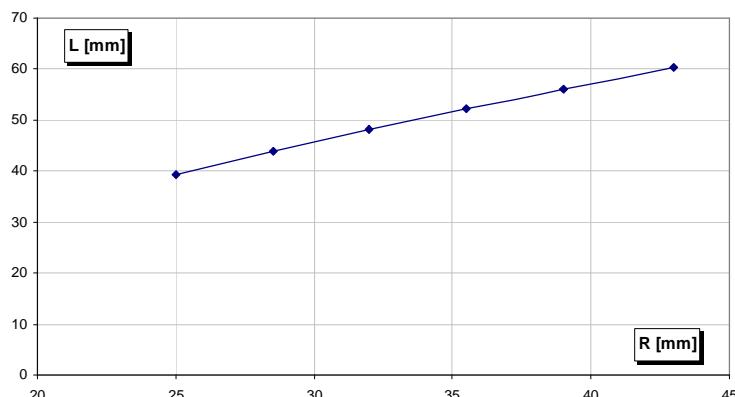


Fig. 3.138 Variația lungimii profilelor ca funcție de razele de calcul pentru rotorul R8

Tabel 3.40

Mărimi constante calculate pentru rotorul rotor R8

Turație unitara de calcul	n_{11}	rot/min	94	Diametru periferie rotor	D	mm	89
Debit unitar de calcul	Q_{11}	m^3/s	0,84	Diametru butuc rotor	d	mm	46,8
Turație de calcul	n	rot/min	1500	Raza periferie rotor	R=D/2	mm	44,5
Debit de calcul	Q	m^3/s	0,0094	Raza butuc rotor	R=d/2	mm	23,4
Viteza meridiană	V_m	m/s	2,099				

Tabel 3.41

Elemente asimptotice calculate pentru rotorul R8 variabile funcție de rază

R	L	U	V_{u0}	V_{u3}	V_{mr}	β_∞	W_∞
mm	mm	m/s	m/s	m/s	m/s	gr	m/s
25,00	39,333	3,927	3,221	-0,808	2,311	40,3477	3,5697
28,50	43,825	4,477	3,100	-0,434	2,305	36,2518	3,8985
32,00	48,119	5,027	3,006	-0,142	2,248	32,0207	4,2399
35,50	52,227	5,576	2,930	0,092	2,139	27,7565	4,5939
39,00	56,162	6,126	2,868	0,285	1,979	23,5098	4,9618
43,00	60,459	6,754	2,809	0,466	1,733	18,7135	5,4025
R	C_a	β_s	λ	Γ_R	f/L	α_1	α_2
mm	-	gr	gr	m ² /s	%	gr	gr
25,00	1,1270	32,3617	-57,6383	0,505982	5,251	35,6583	109,2775
28,50	0,9262	30,5107	-59,4893	0,555162	4,548	36,6343	100,6715
32,00	0,7756	28,0443	-61,9557	0,604343	3,991	36,7940	93,6217
35,50	0,6595	25,0646	-64,9354	0,653523	3,472	36,1371	87,5317
39,00	0,5678	21,6222	-68,3778	0,702703	2,877	34,6140	81,8163
43,00	0,4845	17,1571	-72,8429	0,75891	1,932	31,6773	74,9455
R	β_1	β_2	$\Delta\beta_s$	$\Delta\beta_{12}$	t	L	d
mm	gr	gr	gr	gr	mm	mm	mm
25,00	73,0173	26,0150	0,0000	47,00	19,63	39,33	5,11
28,50	59,1582	25,1455	1,8510	34,01	22,38	43,83	5,02
32,00	48,0479	23,5058	2,4664	24,54	25,13	48,12	4,76
35,50	38,9528	21,3115	2,9798	17,64	27,88	52,23	4,35
39,00	31,2760	18,7183	3,4424	12,56	30,63	56,16	3,81
43,00	23,7165	15,4105	4,4651	8,31	33,77	60,46	3,02

Tabel 3.42

*Coordonatele profilului secțiunea 1
pentru rotorul R8*

Secțiunea 1 R=25 mm L=39,33 mm						Secțiunea 2 R=28,5 mm L=43,83 mm					
φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d	φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d
gr	mm	mm	mm	mm	mm	gr	mm	mm	mm	mm	mm
0	39,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0	43,83	0,00	0,00	0,00	0,00
5	39,26	0,14	-0,11	0,01	0,25	5	43,74	0,14	-0,11	0,01	0,25
10	39,03	0,30	-0,21	0,05	0,51	10	43,49	0,30	-0,20	0,05	0,50
15	38,66	0,50	-0,28	0,11	0,77	15	43,08	0,48	-0,27	0,11	0,76
20	38,15	0,71	-0,33	0,19	1,04	20	42,50	0,69	-0,32	0,19	1,02
25	37,49	0,95	-0,36	0,30	1,31	25	41,77	0,93	-0,36	0,29	1,28
30	36,70	1,21	-0,37	0,42	1,59	30	40,89	1,18	-0,37	0,41	1,56
35	35,78	1,50	-0,38	0,56	1,88	35	39,86	1,46	-0,38	0,54	1,84
40	34,73	1,80	-0,37	0,71	2,17	40	38,70	1,75	-0,38	0,69	2,13
45	33,57	2,11	-0,36	0,87	2,47	45	37,41	2,05	-0,37	0,84	2,42
50	32,31	2,43	-0,34	1,04	2,77	50	36,00	2,36	-0,35	1,00	2,72
55	30,95	2,74	-0,33	1,21	3,07	55	34,48	2,67	-0,34	1,17	3,01
60	29,50	3,06	-0,31	1,38	3,37	60	32,87	2,98	-0,33	1,33	3,30
65	27,98	3,36	-0,30	1,53	3,66	65	31,17	3,27	-0,32	1,48	3,59
70	26,39	3,65	-0,29	1,68	3,94	70	29,41	3,55	-0,31	1,62	3,86
75	24,76	3,90	-0,29	1,81	4,20	75	27,58	3,80	-0,32	1,74	4,12
80	23,08	4,13	-0,31	1,91	4,44	80	25,72	4,02	-0,33	1,84	4,35
85	21,38	4,31	-0,33	1,99	4,65	85	23,82	4,20	-0,36	1,92	4,56
90	19,67	4,46	-0,37	2,04	4,82	90	21,91	4,34	-0,39	1,97	4,73
95	17,95	4,55	-0,42	2,06	4,96	95	20,00	4,43	-0,44	1,99	4,87
100	16,25	4,58	-0,48	2,05	5,06	100	18,11	4,46	-0,50	1,98	4,96
105	14,58	4,56	-0,54	2,01	5,11	105	16,24	4,44	-0,57	1,94	5,01
110	12,94	4,49	-0,62	1,93	5,11	110	14,42	4,37	-0,64	1,86	5,01
115	11,36	4,35	-0,70	1,83	5,05	115	12,65	4,24	-0,72	1,76	4,96
120	9,83	4,16	-0,78	1,69	4,95	120	10,96	4,06	-0,79	1,63	4,85
125	8,39	3,92	-0,86	1,53	4,78	125	9,34	3,83	-0,86	1,48	4,69
130	7,03	3,64	-0,92	1,36	4,56	130	7,83	3,55	-0,93	1,31	4,48
135	5,76	3,32	-0,97	1,17	4,29	135	6,42	3,23	-0,97	1,13	4,21
140	4,60	2,96	-1,00	0,98	3,96	140	5,13	2,89	-1,00	0,94	3,89
145	3,56	2,58	-1,01	0,79	3,59	145	3,96	2,52	-1,00	0,76	3,52
150	2,63	2,19	-0,98	0,60	3,17	150	2,94	2,13	-0,97	0,58	3,11
155	1,84	1,79	-0,92	0,43	2,70	155	2,05	1,74	-0,91	0,42	2,65
160	1,19	1,39	-0,82	0,29	2,21	160	1,32	1,36	-0,81	0,28	2,17
165	0,67	1,01	-0,68	0,16	1,68	165	0,75	0,98	-0,67	0,16	1,65
170	0,30	0,64	-0,49	0,07	1,13	170	0,33	0,63	-0,48	0,07	1,11
175	0,07	0,30	-0,27	0,02	0,57	175	0,08	0,30	-0,26	0,02	0,56
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L=X _{max}	39,33	f _{max}	d _{max}	2,06	5,11	L=X _{max}	43,83	f _{max}	d _{max}	1,99	5,01
		f/L _{max}	d/L _{max}	5,250	12,985			f/L _{max}	d/L _{max}	4,548	11,432

Tabel 3.43

*Coordonatele profilului secțiunea 2
pentru rotorul R8*

Tabel 3.44

*Coordonatele profilului secțiunea 3
pentru rotorul R8*

Secțiunea 3 R=32 mm L=48,12 mm						Secțiunea 4 R=35,5 mm L=52,23 mm					
φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d	φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d
gr	mm	mm	mm	mm	mm	gr	mm	mm	mm	mm	mm
0	48,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0	52,23	0,00	0,00	0,00	0,00
5	48,03	0,13	-0,11	0,01	0,24	5	52,13	0,12	-0,10	0,01	0,22
10	47,75	0,28	-0,19	0,05	0,48	10	51,83	0,26	-0,17	0,04	0,44
15	47,30	0,46	-0,26	0,10	0,72	15	51,34	0,42	-0,23	0,10	0,66
20	46,67	0,66	-0,30	0,18	0,97	20	50,65	0,61	-0,27	0,17	0,88
25	45,87	0,89	-0,33	0,28	1,22	25	49,78	0,82	-0,30	0,26	1,12
30	44,90	1,13	-0,35	0,39	1,48	30	48,73	1,05	-0,31	0,37	1,35
35	43,77	1,39	-0,35	0,52	1,75	35	47,50	1,29	-0,31	0,49	1,60
40	42,49	1,67	-0,35	0,66	2,02	40	46,12	1,55	-0,30	0,62	1,85
45	41,07	1,96	-0,34	0,81	2,30	45	44,58	1,82	-0,28	0,77	2,10
50	39,52	2,26	-0,32	0,97	2,58	50	42,90	2,09	-0,27	0,91	2,36
55	37,86	2,55	-0,30	1,12	2,86	55	41,09	2,37	-0,25	1,06	2,61
60	36,09	2,85	-0,29	1,28	3,14	60	39,17	2,64	-0,23	1,21	2,87
65	34,23	3,13	-0,28	1,43	3,41	65	37,15	2,90	-0,21	1,35	3,11
70	32,29	3,39	-0,27	1,56	3,66	70	35,05	3,15	-0,20	1,47	3,35
75	30,29	3,63	-0,27	1,68	3,91	75	32,87	3,37	-0,20	1,59	3,57
80	28,24	3,84	-0,29	1,78	4,13	80	30,65	3,57	-0,21	1,68	3,78
85	26,16	4,01	-0,31	1,85	4,32	85	28,39	3,73	-0,23	1,75	3,95
90	24,06	4,14	-0,34	1,90	4,49	90	26,11	3,85	-0,26	1,79	4,11
95	21,96	4,23	-0,39	1,92	4,62	95	23,84	3,92	-0,30	1,81	4,22
100	19,88	4,26	-0,44	1,91	4,71	100	21,58	3,96	-0,35	1,80	4,31
105	17,83	4,24	-0,51	1,87	4,75	105	19,36	3,94	-0,41	1,76	4,35
110	15,83	4,17	-0,58	1,80	4,75	110	17,18	3,87	-0,48	1,70	4,35
115	13,89	4,05	-0,65	1,70	4,70	115	15,08	3,75	-0,55	1,60	4,30
120	12,03	3,87	-0,73	1,57	4,60	120	13,06	3,59	-0,62	1,48	4,21
125	10,26	3,65	-0,80	1,43	4,45	125	11,14	3,38	-0,69	1,35	4,07
130	8,59	3,39	-0,86	1,26	4,25	130	9,33	3,13	-0,75	1,19	3,88
135	7,05	3,08	-0,91	1,09	3,99	135	7,65	2,85	-0,80	1,03	3,65
140	5,63	2,75	-0,93	0,91	3,69	140	6,11	2,55	-0,83	0,86	3,37
145	4,35	2,40	-0,94	0,73	3,34	145	4,72	2,22	-0,84	0,69	3,05
150	3,22	2,03	-0,91	0,56	2,95	150	3,50	1,88	-0,82	0,53	2,70
155	2,25	1,66	-0,86	0,40	2,52	155	2,45	1,53	-0,77	0,38	2,30
160	1,45	1,29	-0,76	0,27	2,05	160	1,57	1,19	-0,69	0,25	1,88
165	0,82	0,94	-0,63	0,15	1,57	165	0,89	0,86	-0,57	0,14	1,43
170	0,37	0,60	-0,46	0,07	1,06	170	0,40	0,55	-0,42	0,07	0,97
175	0,09	0,28	-0,25	0,02	0,53	175	0,10	0,26	-0,23	0,02	0,49
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L=X _{max}	48,12	f _{max}	d _{max}	1,92	4,75	L=X _{max}	52,23	f _{max}	d _{max}	1,81	4,35
		f/L _{max}	d/L _{max}	3,991	9,878			f/L _{max}	d/L _{max}	3,471	8,325

Tabel 3.45

*Coordonatele profilului secțiunea 4
pentru rotorul R8*

Tabel 3.46

*Coordonatele profilului secțiunea 5
pentru rotorul R8*

Secțiunea 5 R=39 mm L=56,16 mm						Secțiunea 6 R=43 mm L=60,46 mm					
φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d	φ	X	Y _{Ex}	Y _{In}	f	d
gr	mm	mm	mm	mm	mm	gr	mm	mm	mm	mm	mm
0	56,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0	60,46	0,00	0,00	0,00	0,00
5	56,05	0,10	-0,09	0,01	0,19	5	60,34	0,08	-0,07	0,01	0,15
10	55,73	0,23	-0,15	0,04	0,38	10	60,00	0,18	-0,12	0,03	0,30
15	55,20	0,37	-0,20	0,09	0,57	15	59,43	0,29	-0,17	0,06	0,46
20	54,47	0,54	-0,24	0,15	0,77	20	58,64	0,42	-0,20	0,11	0,61
25	53,53	0,72	-0,26	0,23	0,98	25	57,63	0,56	-0,22	0,17	0,77
30	52,40	0,92	-0,26	0,33	1,18	30	56,41	0,71	-0,23	0,24	0,94
35	51,08	1,14	-0,26	0,44	1,40	35	54,99	0,87	-0,24	0,32	1,11
40	49,59	1,36	-0,25	0,56	1,62	40	53,39	1,04	-0,24	0,40	1,28
45	47,94	1,60	-0,24	0,68	1,84	45	51,60	1,22	-0,24	0,49	1,46
50	46,13	1,85	-0,22	0,81	2,06	50	49,66	1,41	-0,23	0,59	1,64
55	44,19	2,09	-0,20	0,95	2,29	55	47,57	1,59	-0,22	0,68	1,82
60	42,12	2,33	-0,18	1,08	2,51	60	45,34	1,77	-0,22	0,78	1,99
65	39,95	2,56	-0,16	1,20	2,72	65	43,00	1,95	-0,21	0,87	2,16
70	37,68	2,78	-0,15	1,31	2,93	70	40,57	2,11	-0,22	0,95	2,33
75	35,35	2,97	-0,15	1,41	3,13	75	38,05	2,26	-0,22	1,02	2,48
80	32,96	3,15	-0,16	1,50	3,30	80	35,48	2,39	-0,23	1,08	2,62
85	30,53	3,29	-0,17	1,56	3,46	85	32,86	2,50	-0,25	1,13	2,75
90	28,08	3,39	-0,20	1,60	3,59	90	30,23	2,58	-0,27	1,16	2,85
95	25,63	3,46	-0,23	1,62	3,69	95	27,59	2,64	-0,30	1,17	2,93
100	23,20	3,49	-0,28	1,61	3,77	100	24,98	2,66	-0,33	1,16	2,99
105	20,81	3,47	-0,33	1,57	3,80	105	22,41	2,65	-0,37	1,14	3,02
110	18,48	3,41	-0,39	1,51	3,80	110	19,89	2,60	-0,42	1,09	3,02
115	16,21	3,31	-0,45	1,43	3,76	115	17,45	2,53	-0,46	1,03	2,99
120	14,04	3,16	-0,52	1,32	3,68	120	15,11	2,42	-0,51	0,96	2,92
125	11,97	2,98	-0,58	1,20	3,56	125	12,89	2,28	-0,55	0,87	2,83
130	10,03	2,76	-0,64	1,06	3,40	130	10,80	2,12	-0,58	0,77	2,70
135	8,22	2,51	-0,68	0,92	3,19	135	8,85	1,93	-0,61	0,66	2,54
140	6,57	2,24	-0,71	0,77	2,95	140	7,07	1,72	-0,62	0,55	2,34
145	5,08	1,95	-0,72	0,61	2,67	145	5,47	1,51	-0,62	0,44	2,12
150	3,76	1,65	-0,71	0,47	2,36	150	4,05	1,28	-0,60	0,34	1,87
155	2,63	1,35	-0,67	0,34	2,01	155	2,83	1,04	-0,55	0,25	1,60
160	1,69	1,05	-0,60	0,22	1,64	160	1,82	0,81	-0,49	0,16	1,31
165	0,96	0,75	-0,50	0,13	1,25	165	1,03	0,59	-0,40	0,09	0,99
170	0,43	0,48	-0,36	0,06	0,84	170	0,46	0,38	-0,29	0,04	0,67
175	0,11	0,23	-0,20	0,01	0,42	175	0,12	0,18	-0,16	0,01	0,34
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L=X _{max}	56,16	f _{max}	d _{max}	1,62	3,80	L=X _{max}	60,46	f _{max}	d _{max}	1,17	3,02
		f/L _{max}	d/L _{max}	2,876	6,771			f/L _{max}	d/L _{max}	1,932	4,996

Tabel 3.47

*Coordonatele profilului secțiunea 6
pentru rotorul R8*

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

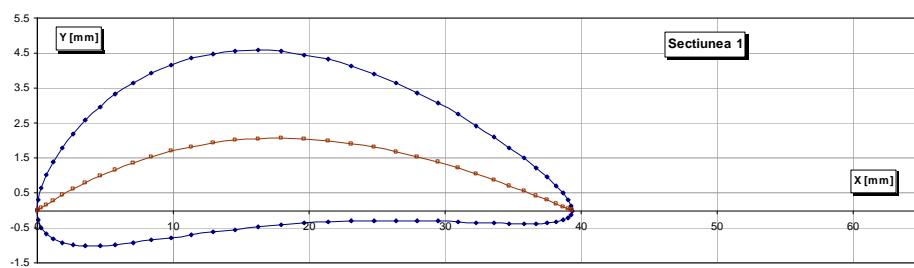


Fig. 3.139 Profilul și scheletul secțiunii 1 pentru rotorul R8

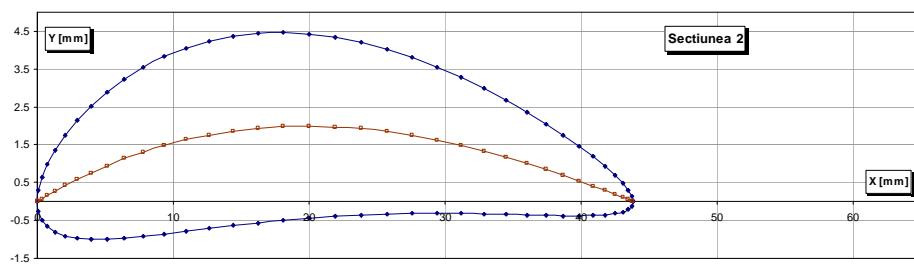


Fig. 3.140 Profilul și scheletul secțiunii 2 pentru rotorul R8

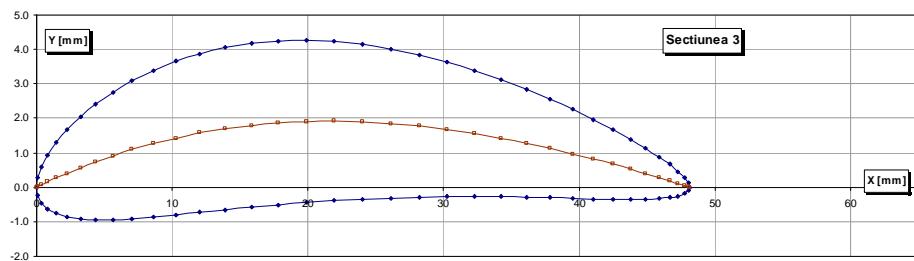


Fig. 3.141 Profilul și scheletul secțiunii 3 pentru rotorul R8

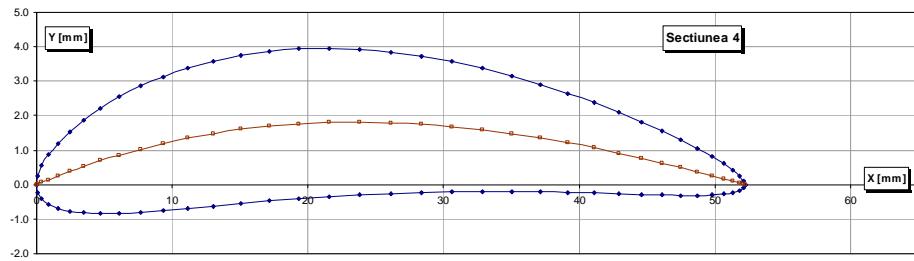


Fig. 3.142 Profilul și scheletul secțiunii 4 pentru rotorul R8

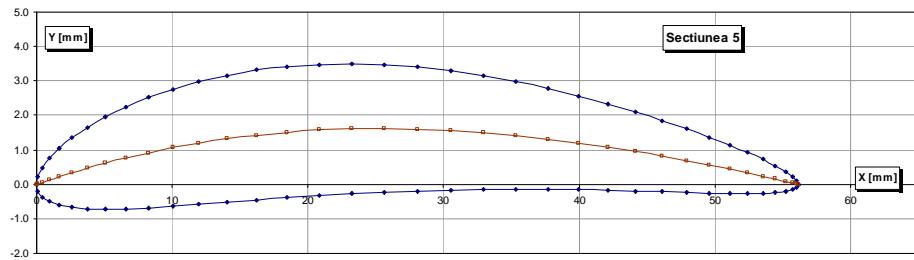


Fig. 3.143 Profilul și scheletul secțiunii 5 pentru rotorul R8

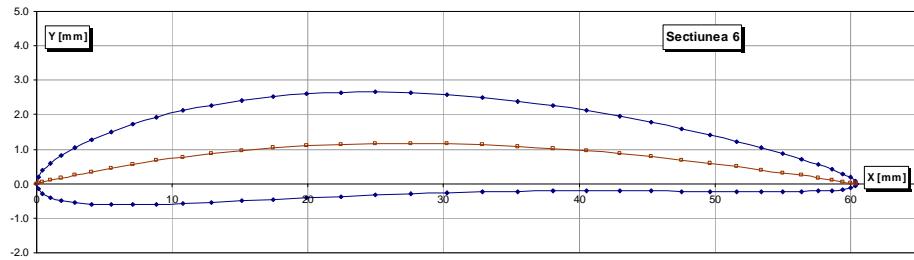


Fig. 3.144 Profilul și scheletul secțiunii 6 pentru rotorul R8

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.48

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 1 rotorul R8

	φ	X	V _t	C _p		φ	X	V _t	C _p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	39,33	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	3,1501	0,2213
Extrados	5	39,26	3,6158	-0,0260	Intrados	185	0,07	1,2383	0,8797
	10	39,03	4,5233	-0,6056		190	0,30	0,3086	0,9925
	15	38,66	4,8322	-0,8324		195	0,67	1,2313	0,8810
	20	38,15	5,0081	-0,9683		200	1,19	1,6937	0,7749
	25	37,49	5,1288	-1,0643		205	1,84	1,9573	0,6994
	30	36,70	5,2256	-1,1430		210	2,63	2,1230	0,6463
	35	35,78	5,3095	-1,2124		215	3,56	2,2426	0,6053
	40	34,73	5,3845	-1,2753		220	4,60	2,3454	0,5683
	45	33,57	5,4513	-1,3320		225	5,76	2,4501	0,5289
	50	32,31	5,5109	-1,3833		230	7,03	2,5642	0,4840
	55	30,95	5,5616	-1,4274		235	8,39	2,6977	0,4289
	60	29,50	5,6030	-1,4637		240	9,83	2,8531	0,3612
	65	27,98	5,6326	-1,4898		245	11,36	3,0360	0,2767
	70	26,39	5,6517	-1,5067		250	12,94	3,2403	0,1760
	75	24,76	5,6620	-1,5158		255	14,58	3,4568	0,0622
	80	23,08	5,6668	-1,5201		260	16,25	3,6714	-0,0578
	85	21,38	5,6706	-1,5235		265	17,95	3,8658	-0,1728
	90	19,67	5,6765	-1,5287		270	19,67	4,0260	-0,2720
	95	17,95	5,6830	-1,5345		275	21,38	4,1496	-0,3513
	100	16,25	5,6861	-1,5373		280	23,08	4,2417	-0,4119
	105	14,58	5,6802	-1,5320		285	24,76	4,3118	-0,4590
	110	12,94	5,6606	-1,5146		290	26,39	4,3690	-0,4980
	115	11,36	5,6238	-1,4820		295	27,98	4,4199	-0,5331
	120	9,83	5,5684	-1,4333		300	29,50	4,4691	-0,5674
	125	8,39	5,4944	-1,3691		305	30,95	4,5189	-0,6026
	130	7,03	5,4035	-1,2913		310	32,31	4,5707	-0,6395
	135	5,76	5,2985	-1,2031		315	33,57	4,6246	-0,6784
	140	4,60	5,1829	-1,1081		320	34,73	4,6806	-0,7193
	145	3,56	5,0619	-1,0108		325	35,78	4,7381	-0,7618
	150	2,63	4,9408	-0,9157		330	36,70	4,7958	-0,8049
	155	1,84	4,8252	-0,8271		335	37,49	4,8513	-0,8469
	160	1,19	4,7138	-0,7437		340	38,15	4,9010	-0,8850
	165	0,67	4,6009	-0,6612		345	38,66	4,9283	-0,9061
	170	0,30	4,4835	-0,5776		350	39,03	4,8408	-0,8389
	175	0,07	3,9846	-0,2460		355	39,26	4,2887	-0,4434
BA	180	0,00	3,1501	0,2213	BF	360	39,33	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.49

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 2 rotorul R8

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	43,83	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	2,9071	0,4440
Extrados	5	43,74	3,9833	-0,0440	Intrados	185	0,08	0,5649	0,9790
	10	43,49	4,7987	-0,5152		190	0,33	1,1047	0,9197
	15	43,08	5,0638	-0,6872		195	0,75	1,9511	0,7495
	20	42,50	5,2124	-0,7877		200	1,32	2,3491	0,6369
	25	41,77	5,3200	-0,8622		205	2,05	2,5528	0,5712
	30	40,89	5,4063	-0,9231		210	2,94	2,6756	0,5290
	35	39,86	5,4811	-0,9767		215	3,96	2,7622	0,4980
	40	38,70	5,5483	-1,0255		220	5,13	2,8356	0,4710
	45	37,41	5,6091	-1,0701		225	6,42	2,9098	0,4429
	50	36,00	5,6632	-1,1102		230	7,83	2,9939	0,4102
	55	34,48	5,7097	-1,1450		235	9,34	3,0946	0,3699
	60	32,87	5,7466	-1,1728		240	10,96	3,2176	0,3188
	65	31,17	5,7730	-1,1929		245	12,65	3,3646	0,2551
	70	29,41	5,7883	-1,2045		250	14,42	3,5349	0,1778
	75	27,58	5,7929	-1,2080		255	16,24	3,7238	0,0876
	80	25,72	5,7904	-1,2061		260	18,11	3,9179	-0,0100
	85	23,82	5,7858	-1,2026		265	20,00	4,0999	-0,1060
	90	21,91	5,7828	-1,2003		270	21,91	4,2550	-0,1913
	95	20,00	5,7825	-1,2000		275	23,82	4,3763	-0,2602
	100	18,11	5,7814	-1,1993		280	25,72	4,4670	-0,3129
	105	16,24	5,7750	-1,1943		285	27,58	4,5351	-0,3532
	110	14,42	5,7583	-1,1817		290	29,41	4,5891	-0,3856
	115	12,65	5,7278	-1,1586		295	31,17	4,6361	-0,4142
	120	10,96	5,6815	-1,1239		300	32,87	4,6808	-0,4416
	125	9,34	5,6191	-1,0775		305	34,48	4,7258	-0,4694
	130	7,83	5,5415	-1,0205		310	36,00	4,7723	-0,4985
	135	6,42	5,4506	-0,9548		315	37,41	4,8210	-0,5292
	140	5,13	5,3502	-0,8834		320	38,70	4,8713	-0,5613
	145	3,96	5,2421	-0,8080		325	39,86	4,9236	-0,5950
	150	2,94	5,1317	-0,7327		330	40,89	4,9762	-0,6293
	155	2,05	5,0231	-0,6602		335	41,77	5,0272	-0,6628
	160	1,32	4,9129	-0,5881		340	42,50	5,0740	-0,6940
	165	0,75	4,8009	-0,5165		345	43,08	5,0990	-0,7107
	170	0,33	4,6506	-0,4231		350	43,49	5,0345	-0,6677
	175	0,08	4,1468	-0,1314		355	43,74	4,5206	-0,3446
BA	180	0,00	2,9071	0,4440	BF	360	43,83	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.50

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 3 rotorul R8

	ϕ	X	V_t	C_p		ϕ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	48,12	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	2,5917	0,6264
Extrados	5	48,03	4,4205	-0,0870	Intrados	185	0,09	0,2068	0,9976
	10	47,75	5,0933	-0,4431		190	0,37	1,9726	0,7835
	15	47,30	5,3319	-0,5815		195	0,82	2,6595	0,6065
	20	46,67	5,4625	-0,6599		200	1,45	2,9603	0,5125
	25	45,87	5,5562	-0,7173		205	2,25	3,1062	0,4633
	30	44,90	5,6328	-0,7650		210	3,22	3,1870	0,4350
	35	43,77	5,7005	-0,8077		215	4,35	3,2390	0,4164
	40	42,49	5,7618	-0,8468		220	5,63	3,2822	0,4007
	45	41,07	5,8177	-0,8827		225	7,05	3,3276	0,3840
	50	39,52	5,8675	-0,9151		230	8,59	3,3833	0,3632
	55	37,86	5,9097	-0,9428		235	10,26	3,4556	0,3357
	60	36,09	5,9434	-0,9650		240	12,03	3,5476	0,2999
	65	34,23	5,9664	-0,9802		245	13,89	3,6634	0,2535
	70	32,29	5,9771	-0,9873		250	15,83	3,8049	0,1947
	75	30,29	5,9755	-0,9863		255	17,83	3,9689	0,1238
	80	28,24	5,9638	-0,9785		260	19,88	4,1470	0,0433
	85	26,16	5,9476	-0,9678		265	21,96	4,3225	-0,0393
	90	24,06	5,9325	-0,9578		270	24,06	4,4782	-0,1156
	95	21,96	5,9215	-0,9506		275	26,16	4,6031	-0,1786
	100	19,88	5,9132	-0,9451		280	28,24	4,6966	-0,2270
	105	17,83	5,9031	-0,9385		285	30,29	4,7657	-0,2634
	110	15,83	5,8862	-0,9273		290	32,29	4,8191	-0,2919
	115	13,89	5,8581	-0,9090		295	34,23	4,8647	-0,3164
	120	12,03	5,8165	-0,8820		300	36,09	4,9073	-0,3396
	125	10,26	5,7603	-0,8458		305	37,86	4,9499	-0,3630
	130	8,59	5,6901	-0,8011		310	39,52	4,9941	-0,3874
	135	7,05	5,6072	-0,7489		315	41,07	5,0403	-0,4132
	140	5,63	5,5142	-0,6914		320	42,49	5,0884	-0,4403
	145	4,35	5,4137	-0,6303		325	43,77	5,1379	-0,4685
	150	3,22	5,3082	-0,5674		330	44,90	5,1884	-0,4975
	155	2,25	5,2030	-0,5059		335	45,87	5,2371	-0,5257
	160	1,45	5,0908	-0,4416		340	46,67	5,2836	-0,5529
	165	0,82	4,9696	-0,3738		345	47,30	5,3128	-0,5701
	170	0,37	4,7668	-0,2640		350	47,75	5,2867	-0,5548
	175	0,09	4,2580	-0,0086		355	48,03	4,8309	-0,2982
BA	180	0,00	2,5917	0,6264	BF	360	48,12	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.51

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 4 rotorul R8

	ϕ	X	V_t	C_p		ϕ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	52,23	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	2,3261	0,7436
Extrados	5	52,13	4,9084	-0,1416	Intrados	185	0,10	1,0154	0,9511
	10	51,83	5,4293	-0,3968		190	0,40	2,7613	0,6387
	15	51,34	5,6336	-0,5039		195	0,89	3,2961	0,4852
	20	50,65	5,7432	-0,5630		200	1,57	3,5155	0,4144
	25	49,78	5,8238	-0,6071		205	2,45	3,6117	0,3819
	30	48,73	5,8924	-0,6452		210	3,50	3,6552	0,3669
	35	47,50	5,9538	-0,6797		215	4,72	3,6783	0,3589
	40	46,12	6,0094	-0,7113		220	6,11	3,6978	0,3521
	45	44,58	6,0605	-0,7405		225	7,65	3,7206	0,3441
	50	42,90	6,1062	-0,7668		230	9,33	3,7535	0,3324
	55	41,09	6,1456	-0,7897		235	11,14	3,8002	0,3157
	60	39,17	6,1765	-0,8077		240	13,06	3,8663	0,2917
	65	37,15	6,1965	-0,8194		245	15,08	3,9557	0,2585
	70	35,05	6,2034	-0,8235		250	17,18	4,0714	0,2145
	75	32,87	6,1959	-0,8191		255	19,36	4,2141	0,1585
	80	30,65	6,1754	-0,8071		260	21,58	4,3778	0,0919
	85	28,39	6,1461	-0,7899		265	23,84	4,5506	0,0187
	90	26,11	6,1157	-0,7723		270	26,11	4,7125	-0,0523
	95	23,84	6,0911	-0,7581		275	28,39	4,8462	-0,1129
	100	21,58	6,0728	-0,7475		280	30,65	4,9470	-0,1597
	105	19,36	6,0572	-0,7386		285	32,87	5,0195	-0,1939
	110	17,18	6,0385	-0,7279		290	35,05	5,0739	-0,2199
	115	15,08	6,0118	-0,7126		295	37,15	5,1185	-0,2414
	120	13,06	5,9737	-0,6909		300	39,17	5,1596	-0,2615
	125	11,14	5,9226	-0,6622		305	41,09	5,2005	-0,2816
	130	9,33	5,8587	-0,6265		310	42,90	5,2429	-0,3026
	135	7,65	5,7826	-0,5845		315	44,58	5,2876	-0,3248
	140	6,11	5,6962	-0,5375		320	46,12	5,3343	-0,3483
	145	4,72	5,6023	-0,4872		325	47,50	5,3826	-0,3728
	150	3,50	5,5026	-0,4348		330	48,73	5,4319	-0,3981
	155	2,45	5,4011	-0,3823		335	49,78	5,4802	-0,4231
	160	1,57	5,2904	-0,3262		340	50,65	5,5281	-0,4481
	165	0,89	5,1753	-0,2692		345	51,34	5,5596	-0,4646
	170	0,40	4,9766	-0,1736		350	51,83	5,5520	-0,4606
	175	0,10	4,4062	0,0800		355	52,13	5,2254	-0,2938
BA	180	0,00	2,3261	0,7436	BF	360	52,23	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 3.52

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 5 rotorul R8

	φ	X	V_t	C_p		φ	X	V_t	C_p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	56,16	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	0,00	2,3983
Extrados	5	56,05	5,2669	-0,1268	Intrados	185	0,11	0,11	1,9761
	10	55,73	5,8113	-0,3717		190	0,43	0,43	3,3484
	15	55,20	5,9652	-0,4453		195	0,96	0,96	3,8017
	20	54,47	6,0549	-0,4891		200	1,69	1,69	3,9710
	25	53,53	6,1217	-0,5222		205	2,63	2,63	4,0426
	30	52,40	6,1810	-0,5518		210	3,76	3,76	4,0692
	35	51,08	6,2346	-0,5789		215	5,08	5,08	4,0803
	40	49,59	6,2841	-0,6040		220	6,57	6,57	4,0878
	45	47,94	6,3298	-0,6274		225	8,22	8,22	4,0986
	50	46,13	6,3709	-0,6486		230	10,03	10,03	4,1180
	55	44,19	6,4065	-0,6671		235	11,97	11,97	4,1497
	60	42,12	6,4348	-0,6818		240	14,04	14,04	4,1977
	65	39,95	6,4533	-0,6915		245	16,21	16,21	4,2662
	70	37,68	6,4590	-0,6945		250	18,48	18,48	4,3603
	75	35,35	6,4492	-0,6894		255	20,81	20,81	4,4832
	80	32,96	6,4230	-0,6757		260	23,20	23,20	4,6351
	85	30,53	6,3823	-0,6545		265	25,63	25,63	4,8093
	90	28,08	6,3363	-0,6308		270	28,08	28,08	4,9843
	95	25,63	6,2956	-0,6099		275	30,53	30,53	5,1358
	100	23,20	6,2653	-0,5944		280	32,96	32,96	5,2506
	105	20,81	6,2437	-0,5834		285	35,35	35,35	5,3299
	110	18,48	6,2241	-0,5735		290	37,68	37,68	5,3852
	115	16,21	6,2000	-0,5613		295	39,95	39,95	5,4281
	120	14,04	6,1672	-0,5449		300	42,12	42,12	5,4661
	125	11,97	6,1236	-0,5231		305	44,19	44,19	5,5036
	130	10,03	6,0688	-0,4960		310	46,13	46,13	5,5426
	135	8,22	6,0034	-0,4639		315	47,94	47,94	5,5839
	140	6,57	5,9288	-0,4277		320	49,59	49,59	5,6277
	145	5,08	5,8481	-0,3891		325	51,08	51,08	5,6731
	150	3,76	5,7636	-0,3493		330	52,40	52,40	5,7198
	155	2,63	5,6771	-0,3091		335	53,53	53,53	5,7671
	160	1,69	5,5935	-0,2708		340	54,47	54,47	5,8114
	165	0,96	5,5079	-0,2322		345	55,20	55,20	5,8470
	170	0,43	5,3759	-0,1739		350	55,73	55,73	5,8513
	175	0,11	4,9979	-0,0146		355	56,05	56,05	5,5600
BA	180	0,00	2,3983	0,7664	BF	360	56,16	56,16	0,0000

Tabel 3.53

Viteza tangențială la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunea 6 rotorul R8

	φ	X	V _t	C _p		φ	X	V _t	C _p
	gr	mm	m/s	-		gr	mm	m/s	-
BF	0	60,46	0,0000	1,0000	BA	180	0,00	3,9520	0,4649
Extrados	5	60,34	6,0421	-0,2508	Intrados	185	0,12	1,8276	0,8856
	10	60,00	6,2943	-0,3574		190	0,46	3,5795	0,5610
	15	59,43	6,3886	-0,3984		195	1,03	4,0952	0,4254
	20	58,64	6,4528	-0,4266		200	1,82	4,2978	0,3671
	25	57,63	6,5024	-0,4486		205	2,83	4,3978	0,3373
	30	56,41	6,5462	-0,4682		210	4,05	4,4509	0,3213
	35	54,99	6,5868	-0,4865		215	5,47	4,4821	0,3117
	40	53,39	6,6252	-0,5039		220	7,07	4,5038	0,3050
	45	51,60	6,6611	-0,5202		225	8,85	4,5241	0,2987
	50	49,66	6,6946	-0,5356		230	10,80	4,5469	0,2917
	55	47,57	6,7241	-0,5491		235	12,89	4,5778	0,2820
	60	45,34	6,7489	-0,5606		240	15,11	4,6193	0,2689
	65	43,00	6,7666	-0,5688		245	17,45	4,6772	0,2505
	70	40,57	6,7749	-0,5726		250	19,89	4,7560	0,2250
	75	38,05	6,7703	-0,5705		255	22,41	4,8635	0,1896
	80	35,48	6,7492	-0,5607		260	24,98	5,0062	0,1413
	85	32,86	6,7095	-0,5424		265	27,59	5,1884	0,0777
	90	30,23	6,6558	-0,5178		270	30,23	5,3957	0,0025
	95	27,59	6,6014	-0,4931		275	32,86	5,5936	-0,0720
	100	24,98	6,5604	-0,4746		280	35,48	5,7446	-0,1307
	105	22,41	6,5355	-0,4634		285	38,05	5,8406	-0,1688
	110	19,89	6,5195	-0,4563		290	40,57	5,8971	-0,1915
	115	17,45	6,5041	-0,4494		295	43,00	5,9334	-0,2062
	120	15,11	6,4838	-0,4404		300	45,34	5,9618	-0,2178
	125	12,89	6,4564	-0,4282		305	47,57	5,9887	-0,2288
	130	10,80	6,4211	-0,4126		310	49,66	6,0169	-0,2404
	135	8,85	6,3791	-0,3942		315	51,60	6,0475	-0,2530
	140	7,07	6,3326	-0,3740		320	53,39	6,0804	-0,2667
	145	5,47	6,2851	-0,3535		325	54,99	6,1156	-0,2814
	150	4,05	6,2424	-0,3351		330	56,41	6,1520	-0,2967
	155	2,83	6,2116	-0,3220		335	57,63	6,1889	-0,3123
	160	1,82	6,2040	-0,3188		340	58,64	6,2247	-0,3276
	165	1,03	6,2355	-0,3322		345	59,43	6,2565	-0,3412
	170	0,46	6,3385	-0,3766		350	60,00	6,2652	-0,3449
	175	0,12	6,3679	-0,3894		355	60,34	6,1496	-0,2957
BA	180	0,00	3,9520	0,4649	BF	360	60,46	0,0000	1,0000

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

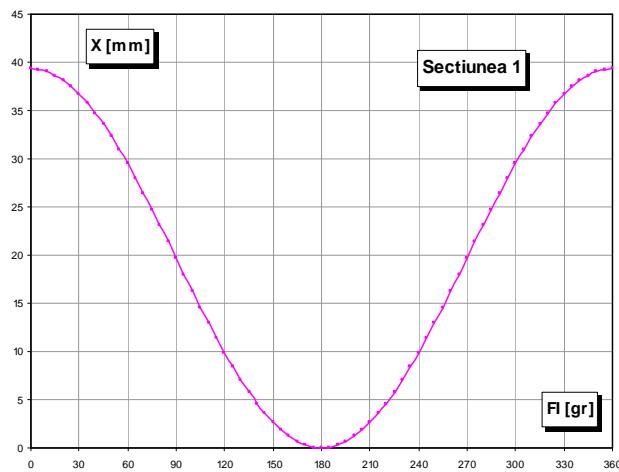


Fig. 3.145 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R8

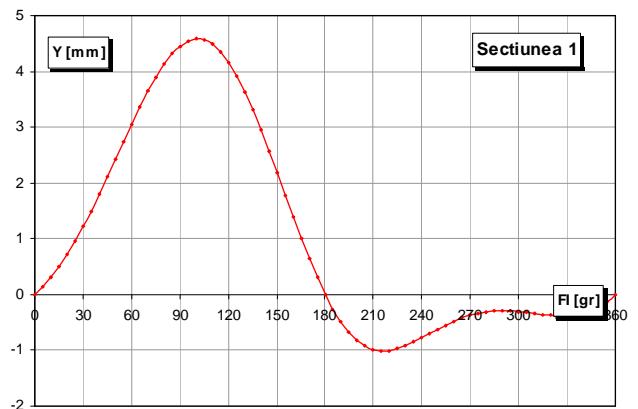


Fig. 3.146 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R8

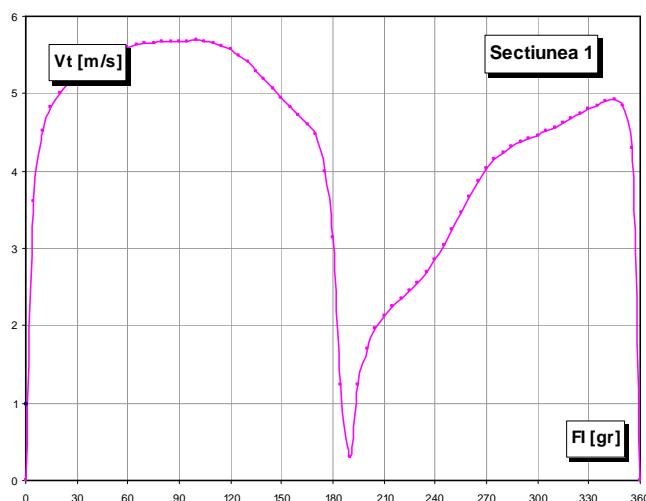


Fig. 3.147 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R8

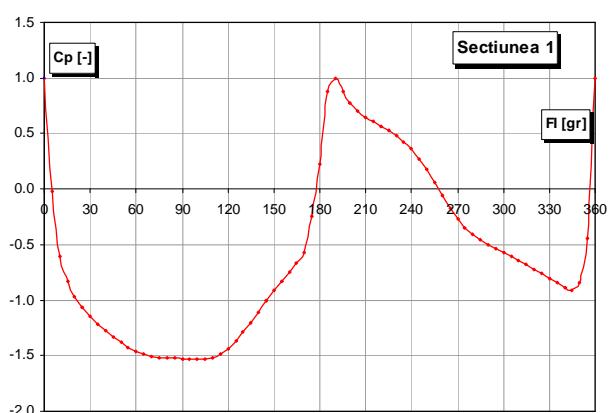


Fig. 3.148 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 1 / rotorul R8

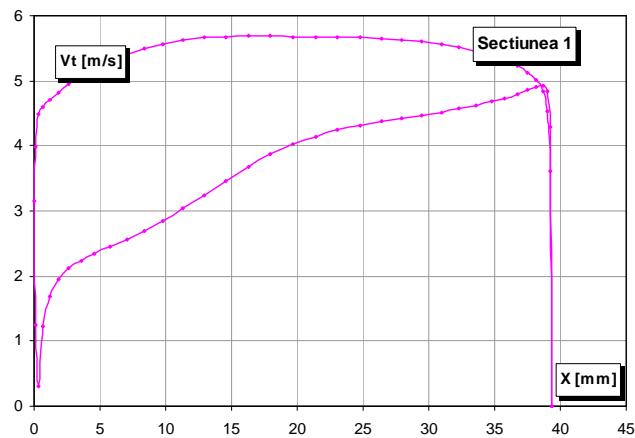


Fig. 3.149 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R8

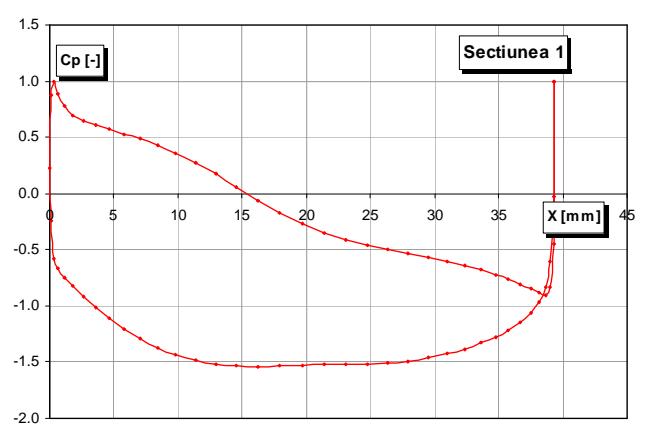


Fig. 3.150 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 1 / rotorul R8

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

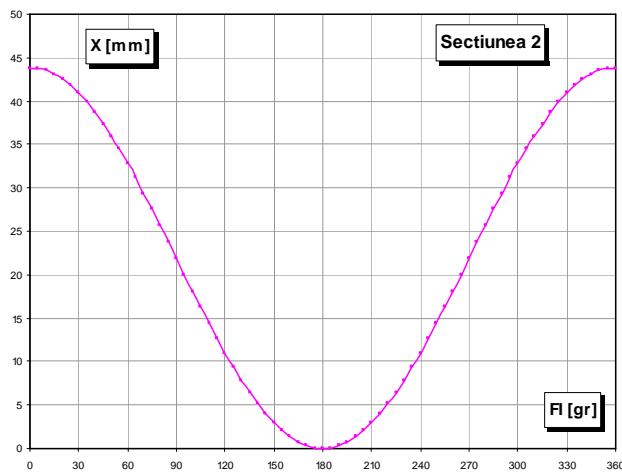


Fig. 3.151 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R8

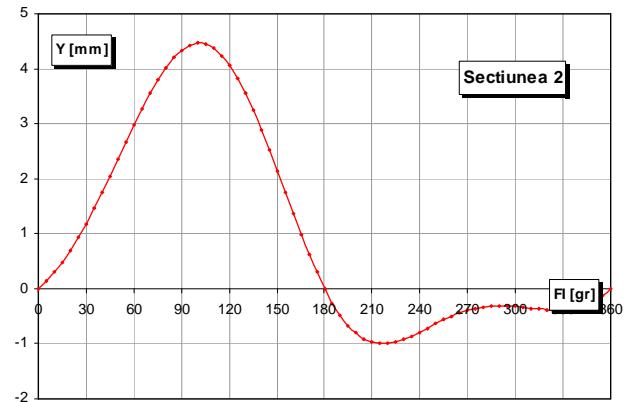


Fig. 3.152 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R8

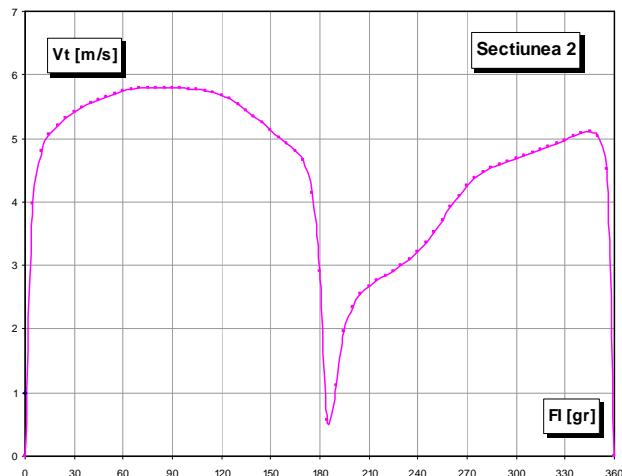


Fig. 3.153 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R8

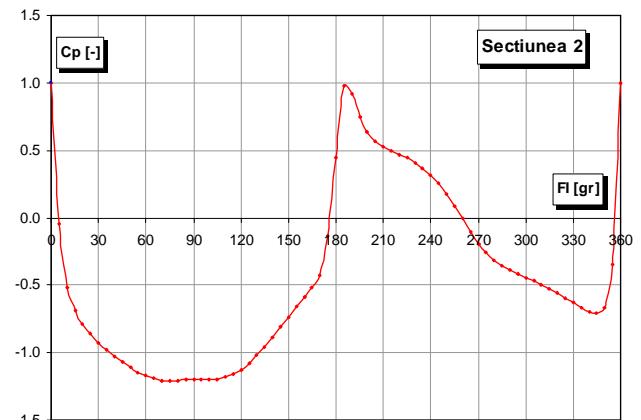


Fig. 3.154 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 2 / rotorul R8

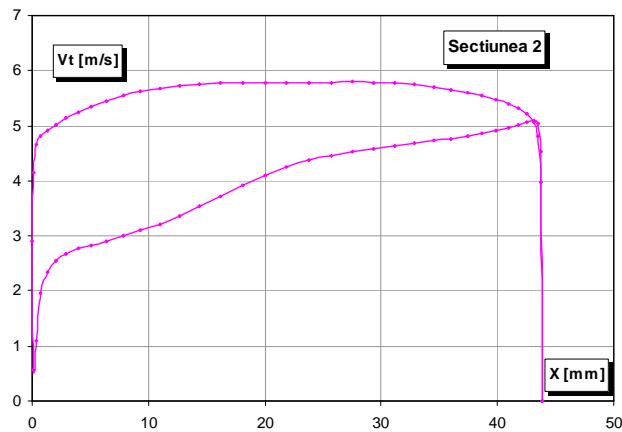


Fig. 3.155 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R8

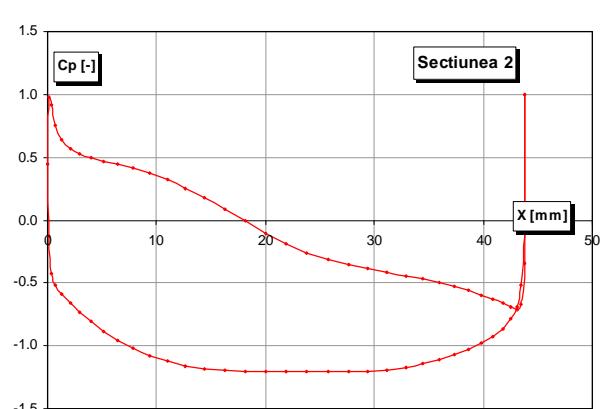


Fig. 3.156 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 2 / rotorul R8

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

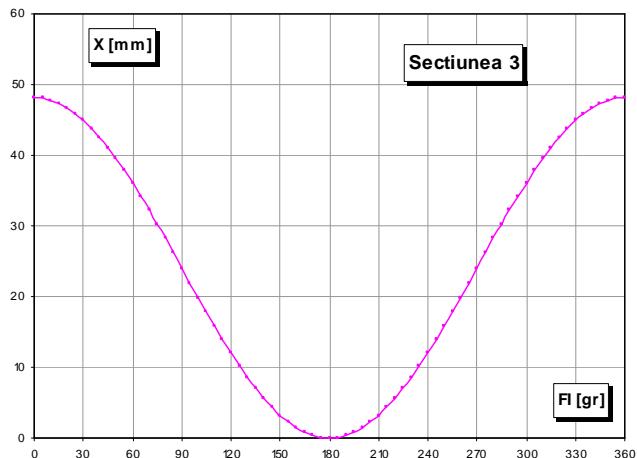


Fig. 3.157 Variația $X=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R8

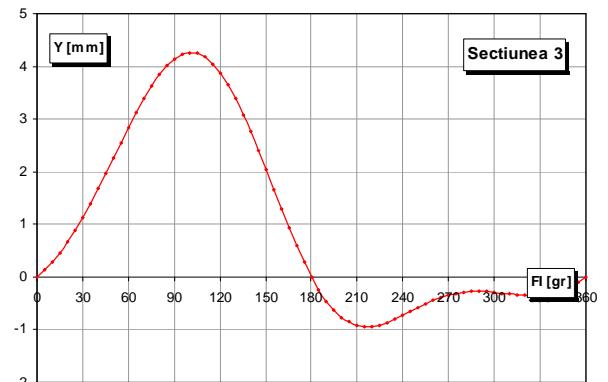


Fig. 3.158 Variația $Y=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R8

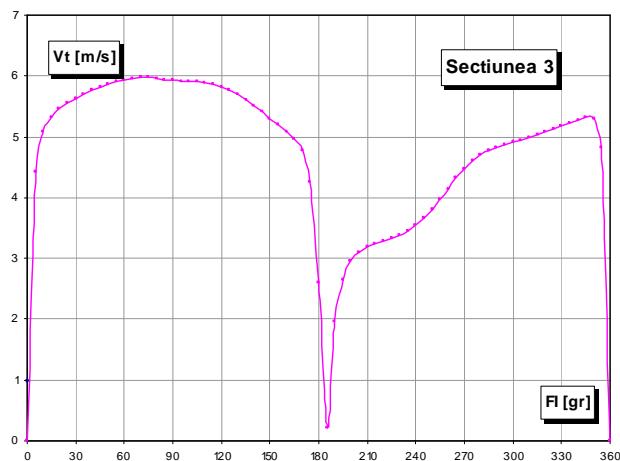


Fig. 3.159 Variația $V_t=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R8

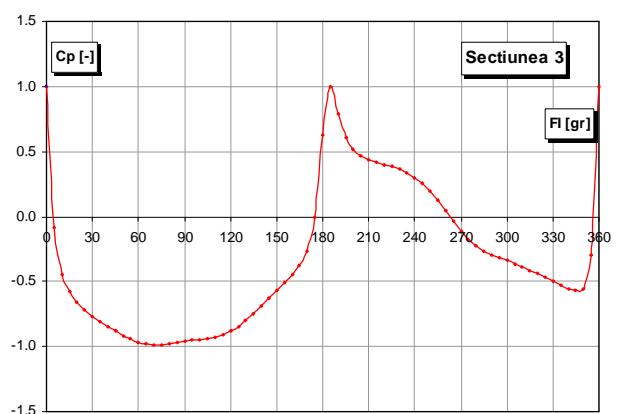


Fig. 3.160 Variația $C_p=f(\phi)$ Secțiunea 3 / rotorul R8

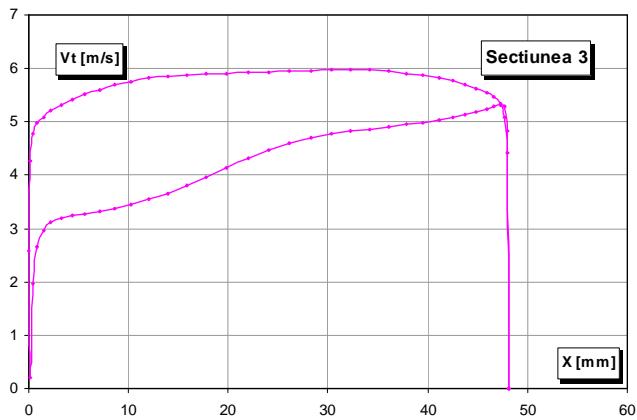


Fig. 3.161 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R8

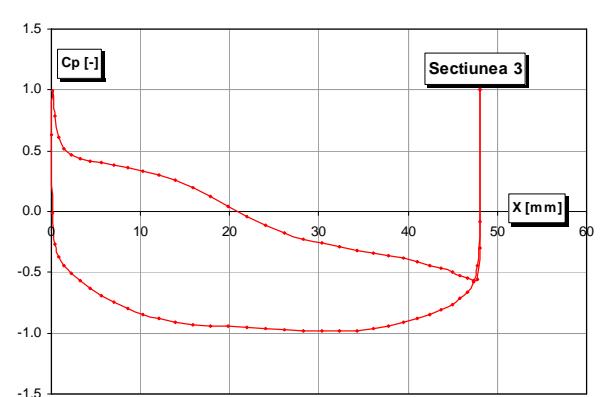


Fig. 3.162 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 3 / rotorul R8

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

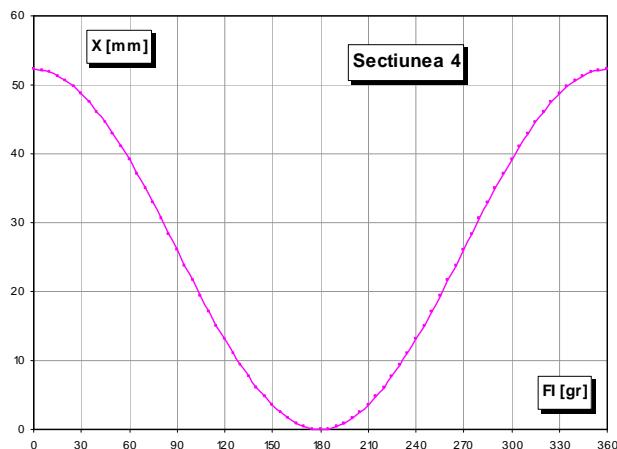


Fig. 3.163 Variația $X=f(\varphi)$ Secțiunea 4 / rotorul R8

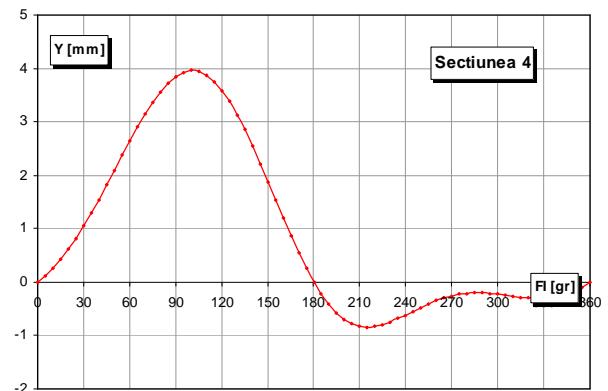


Fig. 3.164 Variația $Y=f(\varphi)$ Secțiunea 4 / rotorul R8

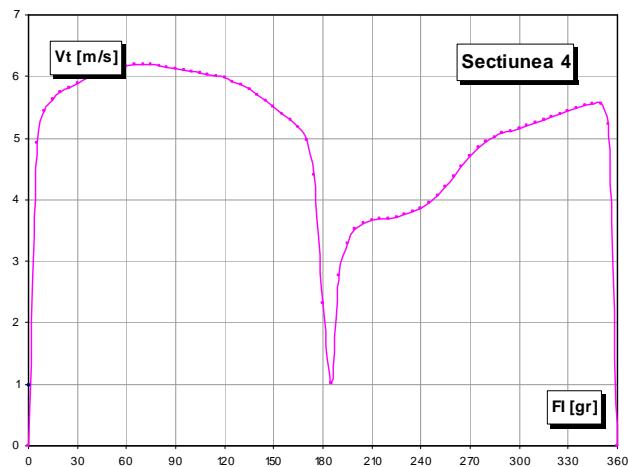


Fig. 3.165 Variația $V_t=f(\varphi)$ Secțiunea 4 / rotorul R8

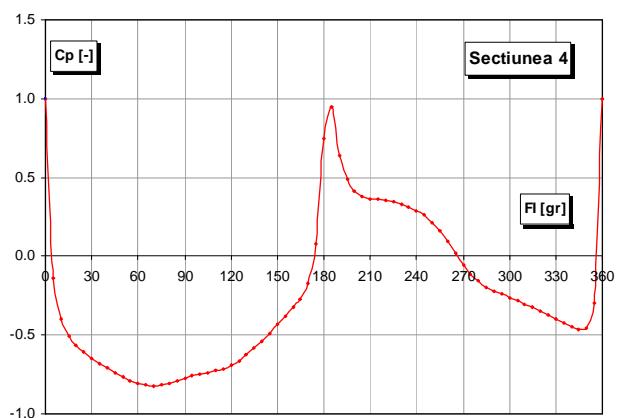


Fig. 3.166 Variația $C_p=f(\varphi)$ Secțiunea 4 / rotorul R8

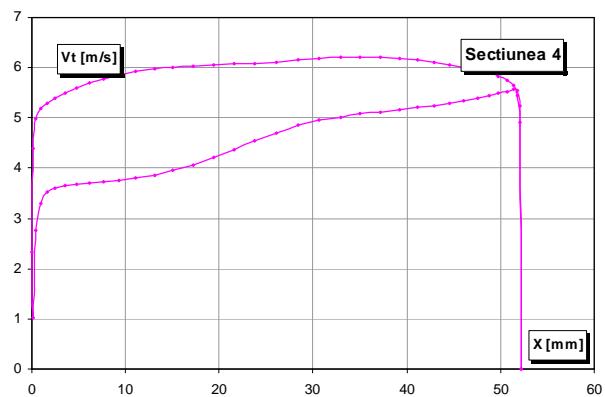


Fig. 3.167 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R8

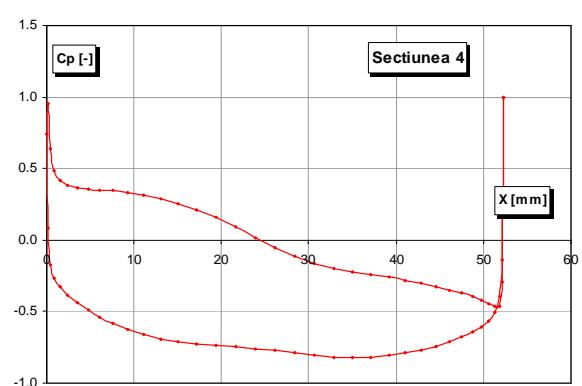
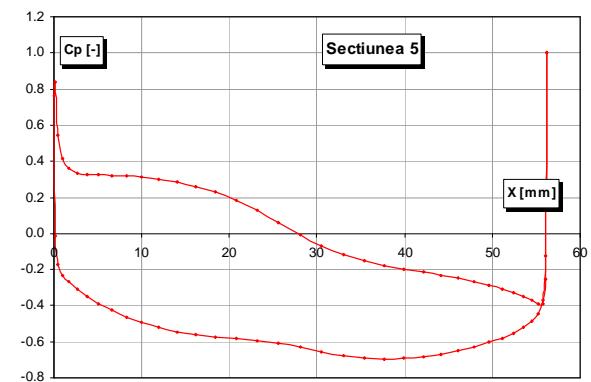
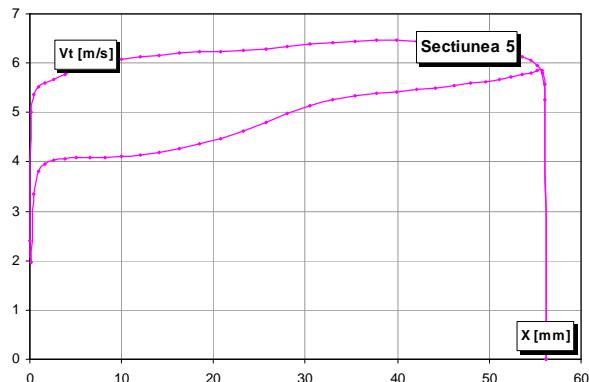
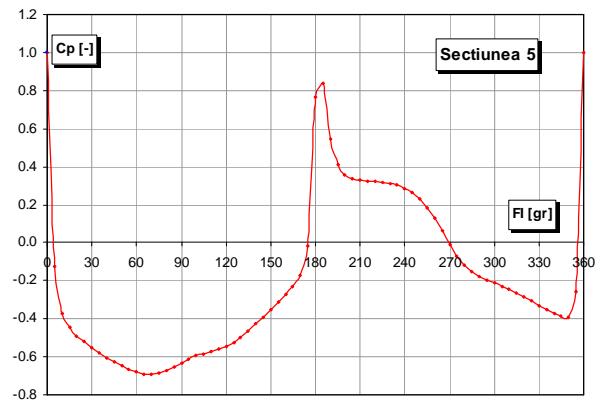
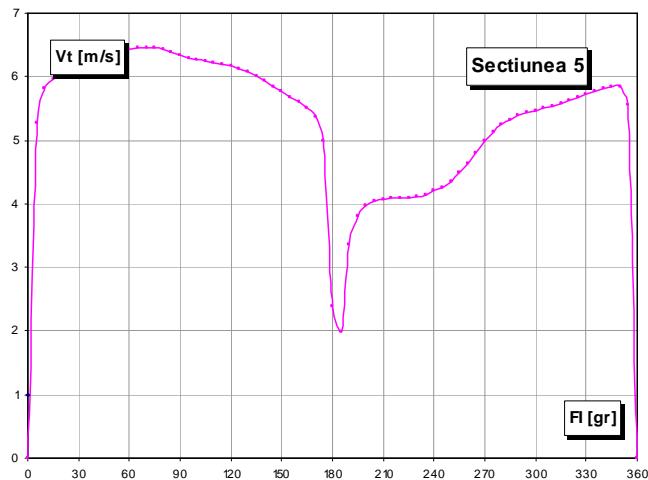
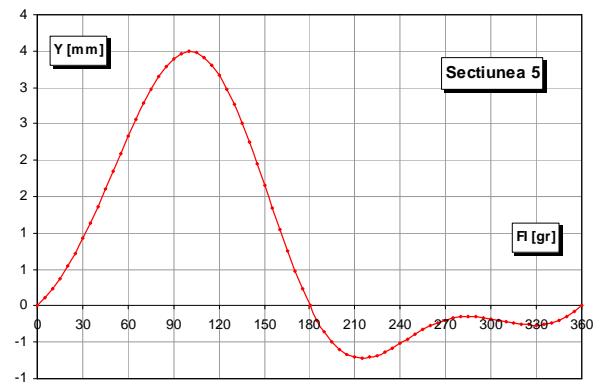
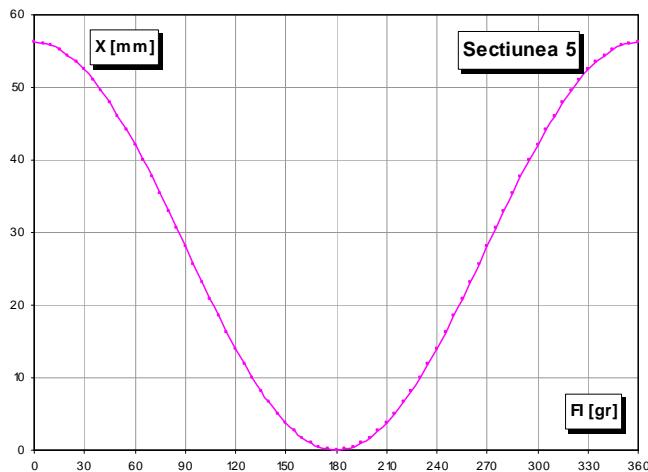


Fig. 3.168 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 4 / rotorul R8

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți



Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

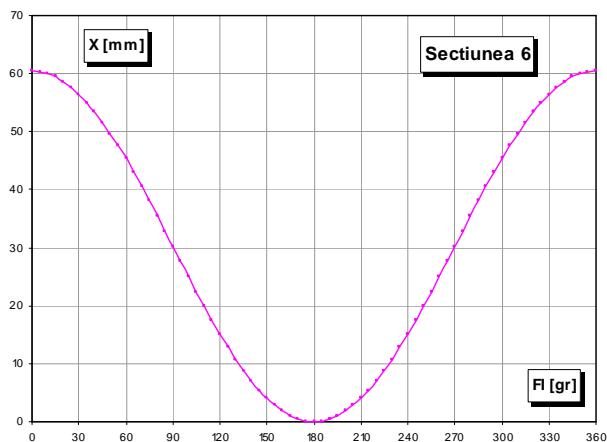


Fig. 3.175 Variația $X=f(\varphi)$ Secțiunea 6 / rotorul R8

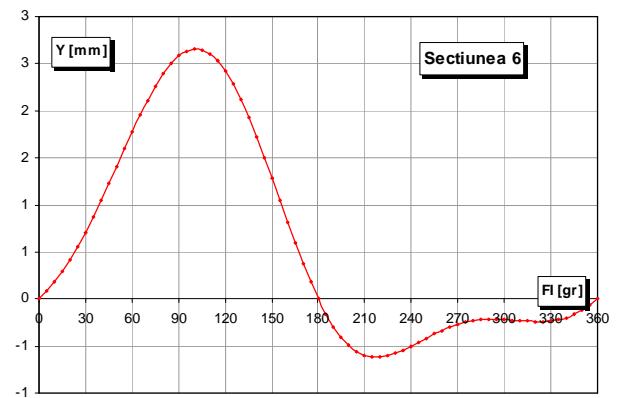


Fig. 3.176 Variația $Y=f(\varphi)$ Secțiunea 6 / rotorul R8

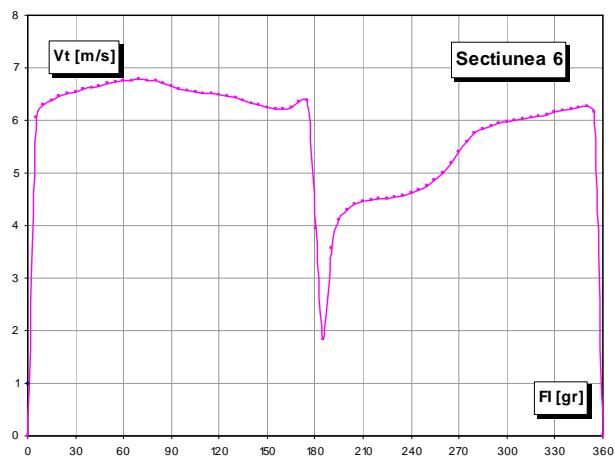


Fig. 3.177 Variația $V_t=f(\varphi)$ Secțiunea 6 / rotorul R8

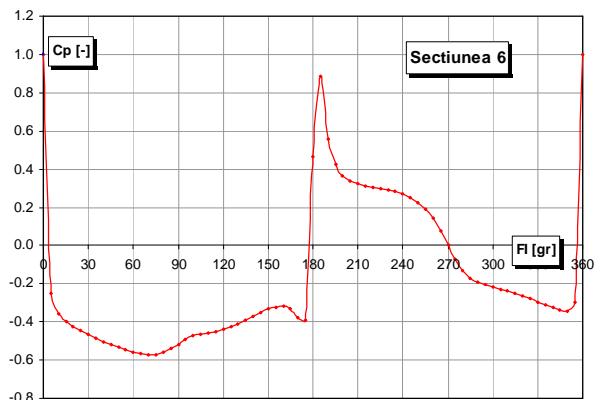


Fig. 3.178 Variația $C_p=f(\varphi)$ Secțiunea 6 / rotorul R8

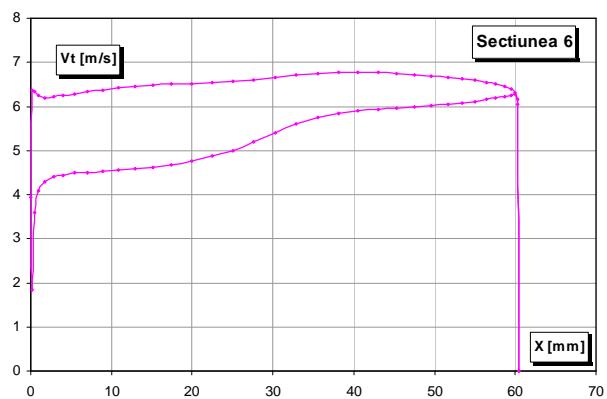


Fig. 3.179 Variația $V_t=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R8

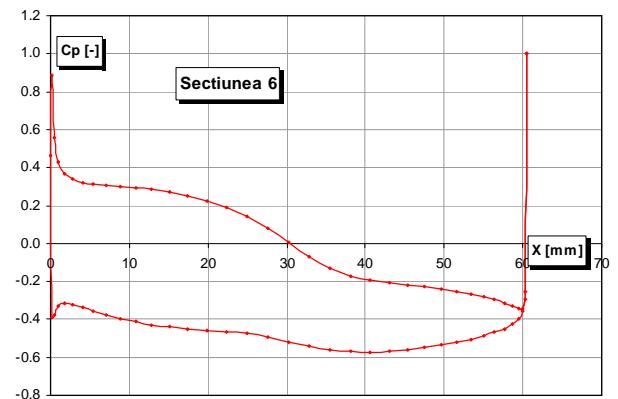


Fig. 3.180 Variația $C_p=f(X)$ Secțiunea 6 / rotorul R8

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți



Fig. 3.181 Vedere 3D a rotorului R8

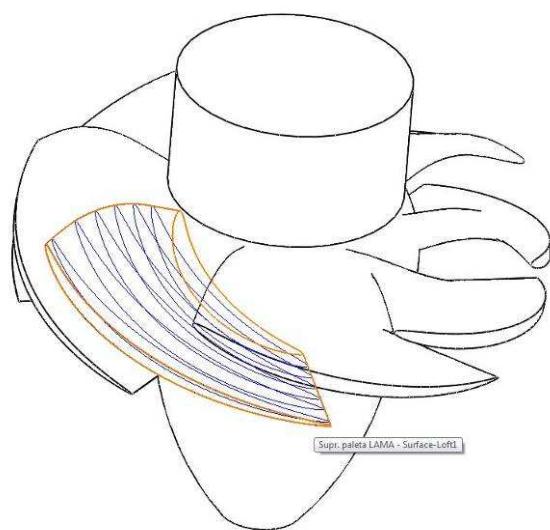


Fig. 3.182 Profile 3D rotor R8

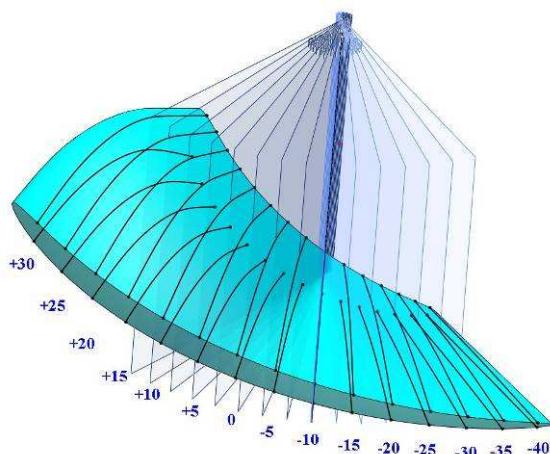


Fig. 3.183 Intersecție rotor R8 cu plane radiale

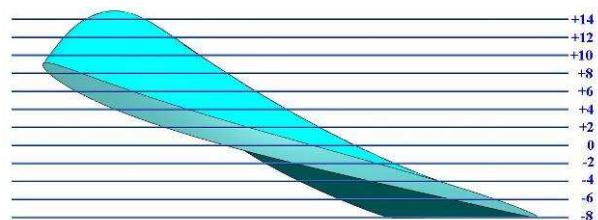


Fig. 3.184 Intersecție rotor R8 cu plane de nivel – Vedere Front

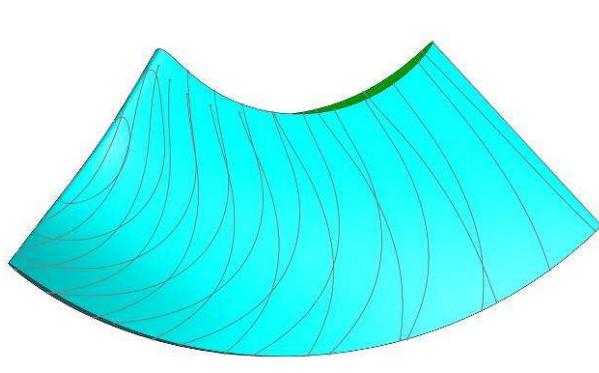


Fig. 3.185 Intersecție rotor R8 cu plane de nivel – Vedere Top

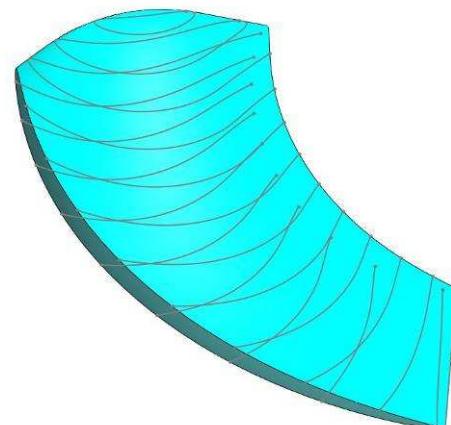


Fig. 3.186 Intersecție rotor R8 cu plane de nivel – Vedere Izometrică

3.6 Concluzii

Acest capitol este dedicat proiectării hidrodinamice a 3 variante de rotoare, cu 4, 6 și 8 palete, simbolizate R4, R6 respectiv R8.

În primul subcapitol se face o simularea a curgerii prin traseul microturbinei, prin intermediul modulului Flow Simulation, pentru a calcula variația vitezei meridiane cu raza în zona rotorului, în absența paletajului rotoric. Simularea a fost realizată pentru 3 puncte de funcționare, care vor constitui date de proiectare pentru paletajul rotoarele R4, R6 și R8.

În al doilea subcapitol se prezintă algoritmul de proiectare hidrodinamică a rotoarelor: principiul de funcționare al turbinelor axiale, elementele asimptotice (cinematice și unghiulare) ale curentului, etapele de proiectare ale rotoarelor și datele de intrare în programul de calcul.

Următoarele 3 subcapitole sunt dedicate proiectării propriu-zise a celor 3 rotoare R4, R6 și R8, pentru fiecare rotor fiind prezentate atât datele de proiectare, cât și datele rezultate din program, concretizate prin:

- Datele de proiectare constante și variabile funcție de rază;
- Distribuția vitezei meridiane adoptată pentru proiectarea rotorului;
- Grafice ale următoarelor date de intrare: variația pasului relativ t/l și a unghiului de incidență α_∞ , variația poziției săgeții X_{FR} , grosimii X_{DR} și a grosimii d/L , variația randamentului hidraulic η_h și a coeficientului de postrotație K_r , funcție de razele de calcul pentru rotorul R4;
- Grafice ale următoarelor date de ieșire: variația coeficientului de portanță C_A și a săgeții relative f/L , variația vitezelor absolute V_{ou} , V_{3u} , a vitezei relative W_∞ , a vitezei tangențiale U și meridiane V_{mR} , variația unghiurilor β_∞ , β_s , λ , variația lungimii profilelor L funcție de razele de calcul;
- Forma profilelor și variațiile $X=f(\phi)$, $Y=f(\phi)$, $V_t=f(\phi)$, $C_p=f(\phi)$, $V_t=f(X)$, $C_p=f(X)$ pentru secțiunile 1 ÷ 6 ale rotoarelor;
- Tabele care prezintă numeric mărimele constante calculate pentru rotorul R4;
- Tabele care prezintă numeric elementele asimptotice pentru secțiunile 1 ÷ 6;
- Tabele care prezintă numeric coordonatele calculate ale profilelor pentru secțiunile 1 ÷ 6;
- Tabele care prezintă numeric valorile vitezelor tangențiale la profil și coeficientul de presiune pentru secțiunile 1 ÷ 6;
- Vederi 3D a rotorului, intersecții cu plane radiale și plane de nivel.

Cap. 4 DESCRIEREA CONSTRUCTIV FUNCȚIONALĂ A COMPONENTELOR MICROTURBINEI

4.1 Introducere

Microturbina include componente standard ale unei turbine axiale: stator, aparat director, rotor axial, tub de aspirație; elementul de noutate este concretizat prin soluția constructivă a generatorului, care utilizează un rotor magnetic cu magneți permanenți, plasat pe periferia rotorului axial, care se rotește în interiorul statorului generatorului; rotorul magnetic și partea interioară a statorului generatorului vor fi în contact cu apa, motiv pentru care interiorul statorului trebuie inundat cu o răsină ce va asigura etanșarea.

Soluția constructivă a microturbinei a fost supusă următoarelor constrângeri:

- prezenta teză nu se va concentra pe proiectarea unui generator; în consecință - pe post de generator - se va utiliza statorul unui motor existent în interiorul căruia se va roti rotorul magnetic; din acest motiv diametrul interior al statorului generatorului este mărimea care va dicta diametrul exterior/interior al rotorului magnetic și respectiv diametrul exterior al rotorului axial;
- pentru turația de 1500 rpm, rotorul magnetic va trebui să aibă 2 perechi de poli;
- rotorul axial va trebui să conțină pe periferie un disc inelar, pe a cărui periferie se va fixa rotorul magnetic, prin intermediul a 4 șuruburi.

4.2 Ansamblu microturbină

Ansamblu microturbinei conține următoarele componente, **figurile 4.1, 4.2**:

- | | | |
|----------------------------|-------------------|---------------------|
| ◦ carcasă amonte; | ◦ arbore turbină; | ◦ carcasă aval; |
| ◦ stator turbină și capac; | ◦ rotor turbină; | ◦ rotor magnetic; |
| ◦ aparat director; | ◦ tub aspirație; | ◦ stator generator. |

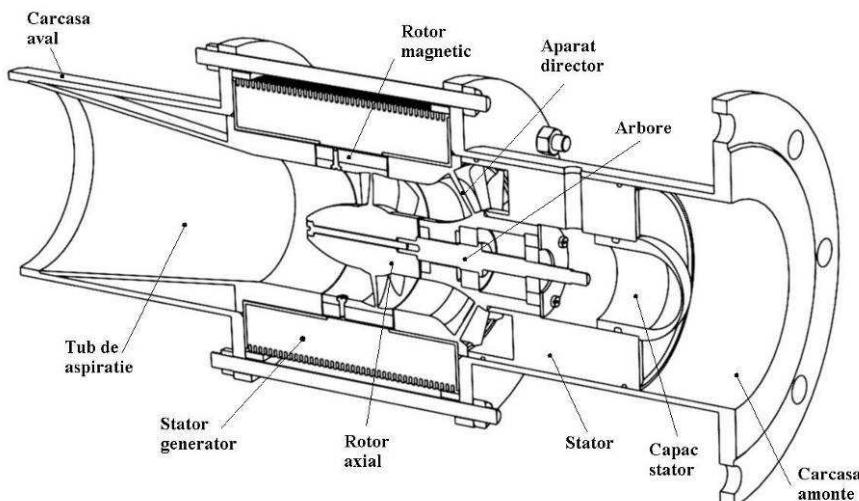


Fig. 4.1 Ansamblu microturbină

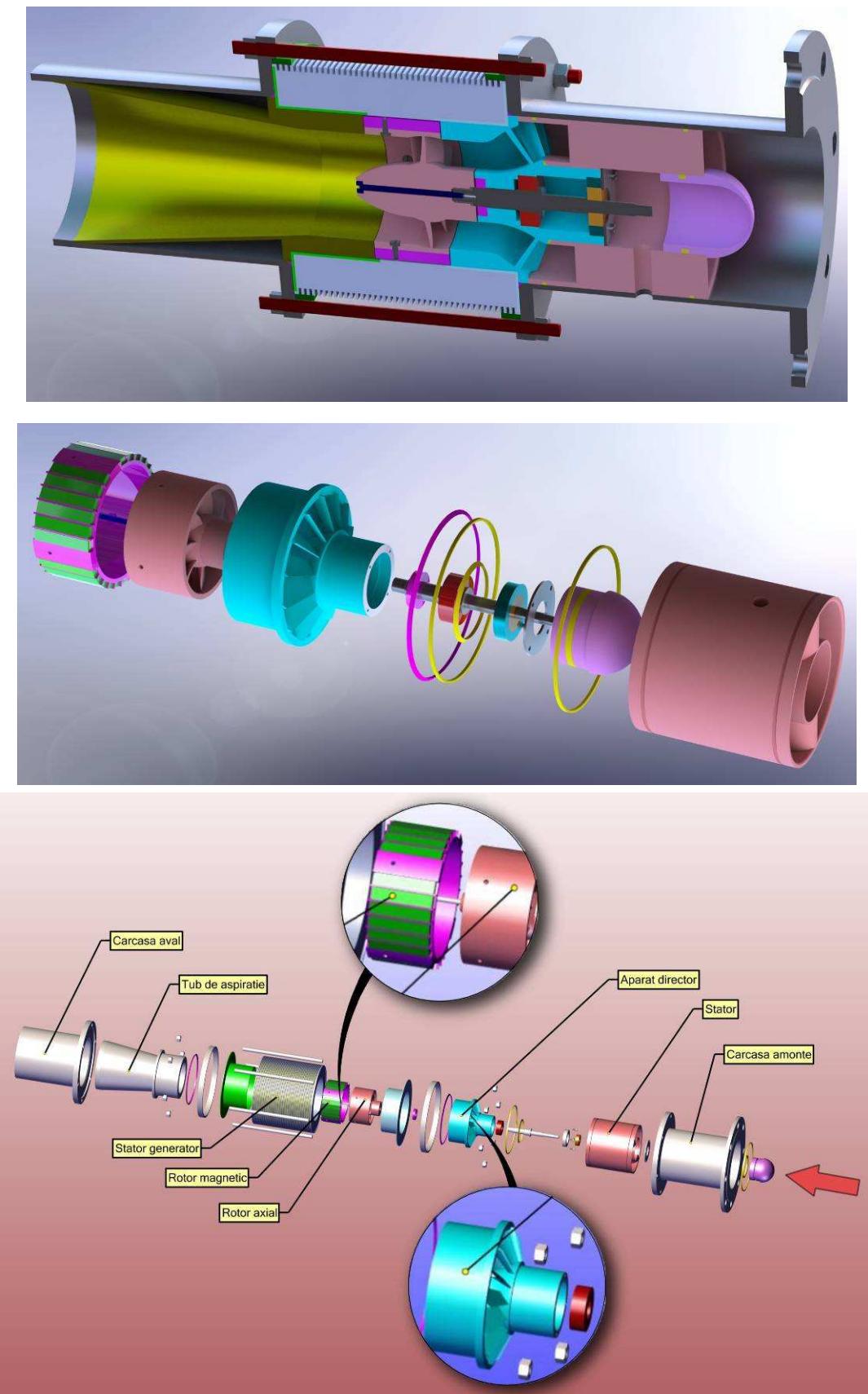


Fig. 4.2 Ansamblu explodat al microturbiniei

Carcasă amonte

Carcasă amonte este o tubulatură cu diametru interior 132 mm, prevăzută cu o flanșă la intrare, pentru cuplare la țeava de aducție a apei, respectiv cu o flanșă la ieșire pentru cuplare cu statorul generatorului, **figura 4.3**. Carcasă amonte este prevăzută cu o gaură de acces $\Phi 12$, care se va alinia cu gaura corespondentă din stator, pentru măsurarea turației arborelui.



Fig. 4.3 Carcasă amonte

Capac stator

Capacul statorului are o formă curbată, **figura 4.4**, se cuplează la intrarea statorului și asigură etanșarea lagărului arborelui.

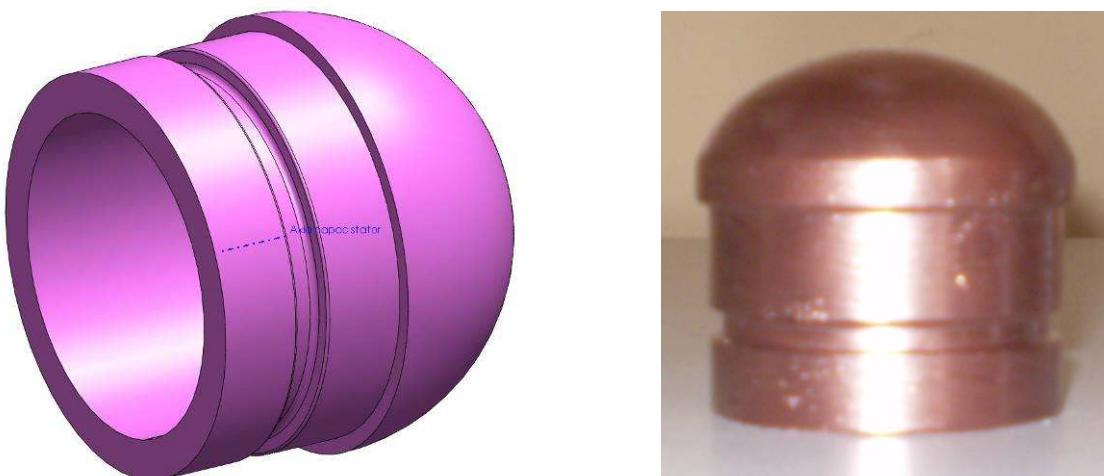


Fig. 4.4 Capac stator

Stator turbină

Statorul constă în două corpuri profile, intercalate între 2 cilindrii, $\Phi 65$ respectiv $\Phi 124$, figura 4.5. Un corp este prevăzut cu o gaură de acces $\Phi 12$ pentru măsurarea turației arborelui.



Fig. 4.5 Stator turbină

Aparatul director

Aparatul director constă în 14 palete dispuse conic, figura 4.6. Acesta va fi executat prin prototipare rapidă.

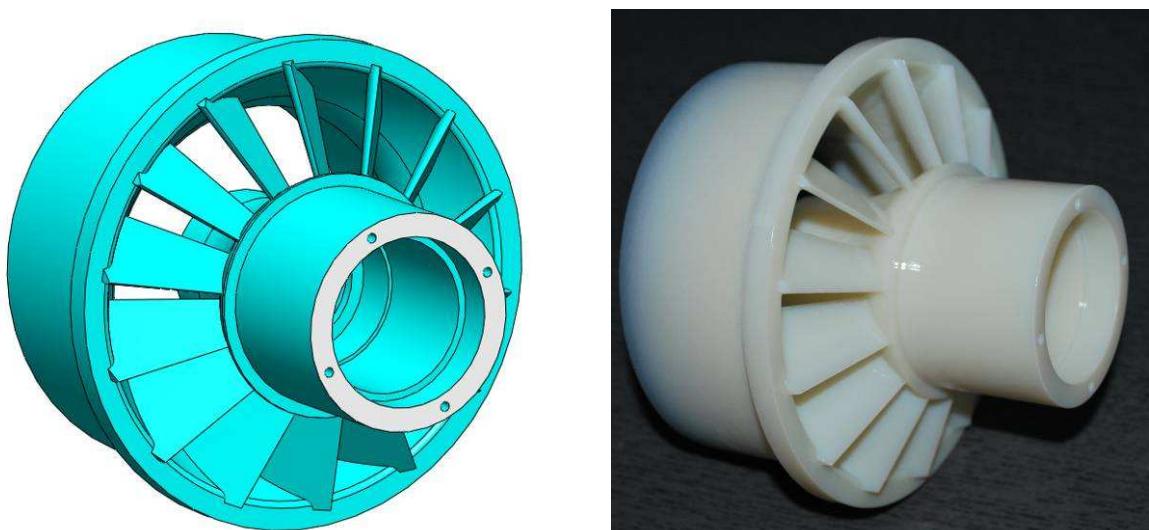


Fig. 4.6 Aparat director

Arbore turbină

Arboarele este prezentat în **figura 4.7**.

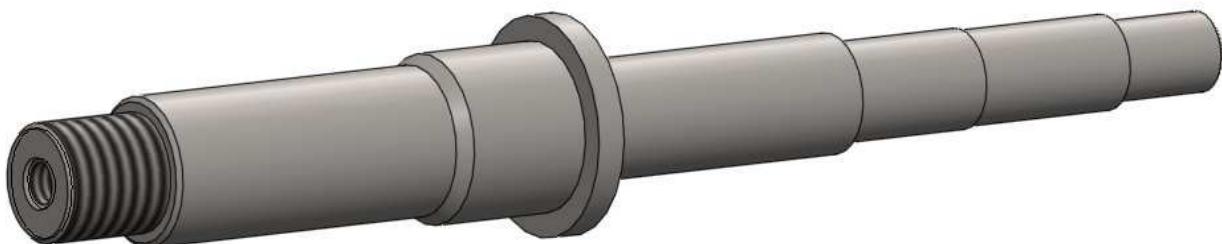
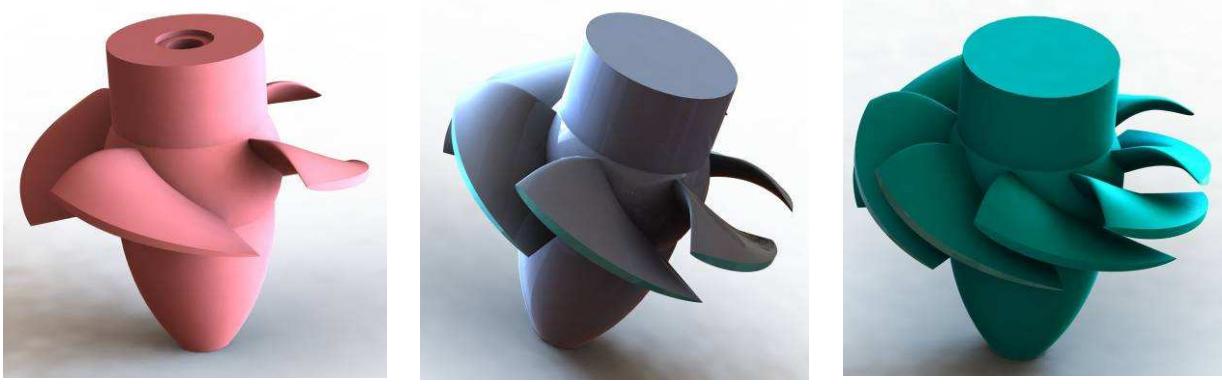


Fig. 4.7 Arbore turbină

Rotor turbină

Pentru rotorul turbinei au fost proiectate 3 variante, care diferă prin numărul de palete: rotorul R4 cu 4 palete, R6 cu 6 palete respectiv R8 cu 8 palete, **figura 4.8**. Rotoarele sunt prevăzute la periferie cu un inel circular, pe care se va fixa rotorul magnetic, prin intermediul a 4 șuruburi M4, **figura 4.9**. Rotoarele se vor executa prin prototipare rapidă.



a) Rotor R4

a) Rotor R6

a) Rotor R8

Fig. 4.8 Variante de rotoare axiale

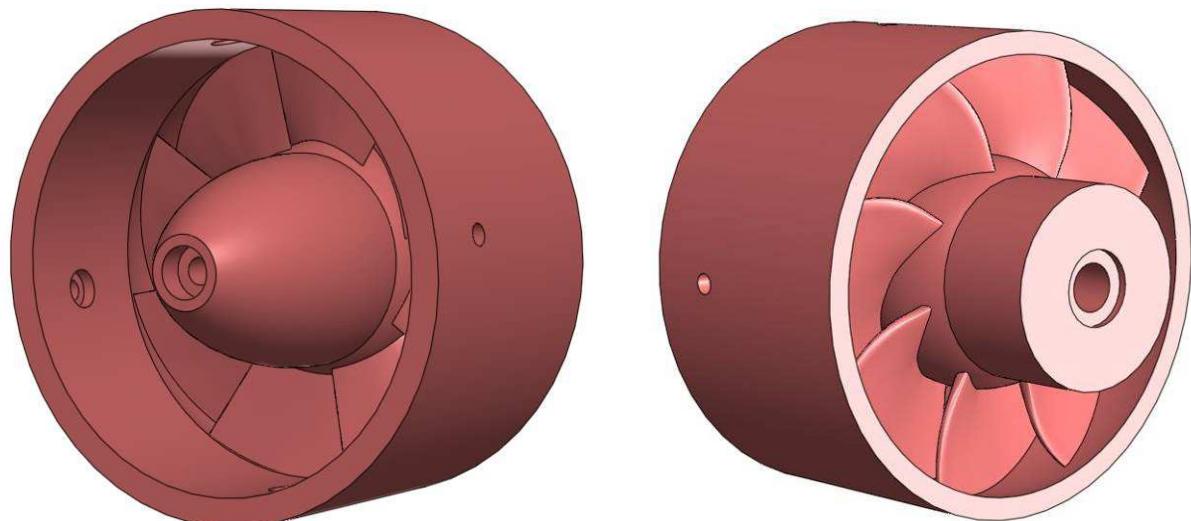


Fig. 4.9 Geometrie rotor axial

Tub de aspirație

Geometria 3D a tubului de aspirație este prezentată în [figura 4.10](#). Unghiul la ieșire al tubului este de 14° .

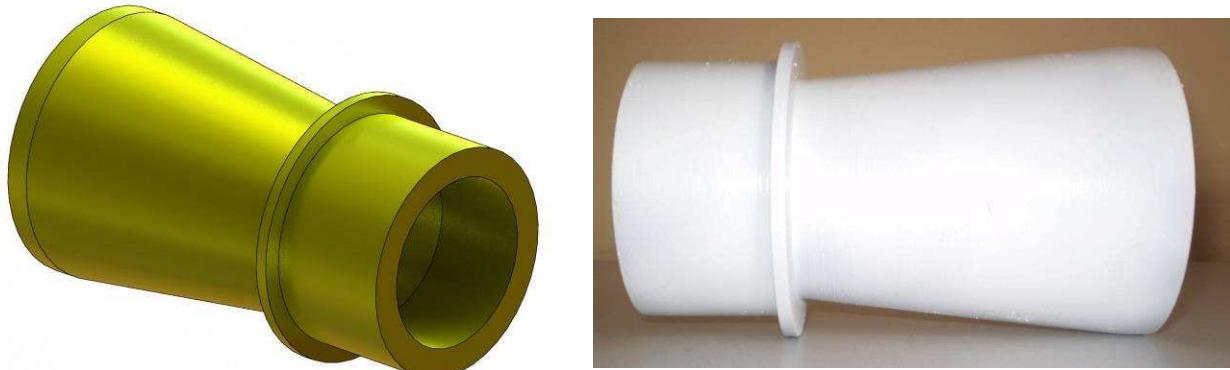


Fig. 4.10 Tub aspirație

Carcasă aval

Carcasă aval este o tubulatură de diametru interior 132 mm, prevăzută cu o flanșă la intrare, pentru cuplare cu statorul generatorului, [figura 4.11](#). Partea opusă se va încadra în standul de măsură.



Fig. 4.11 Carcasa aval

4.3 Statorul generatorului

Proiectarea statorului generatorului ar depăși domeniul ingineriei mecanice pe care este axată această teză. Soluție aleasă a fost preluarea statorului de la un motor existent și utilizare pe post de stator generator, **figura 4.12 și figura 4.13**.

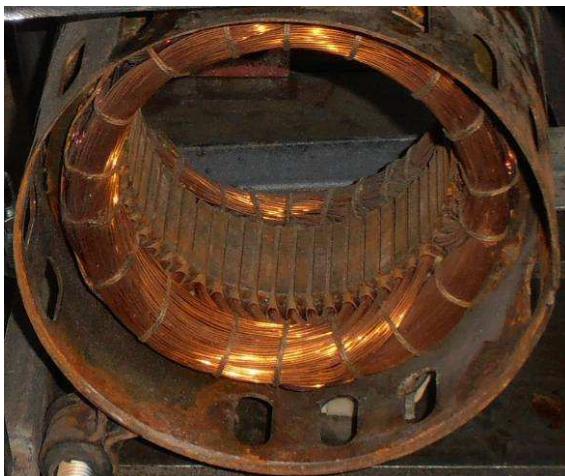


Fig. 4.12 Stator generator

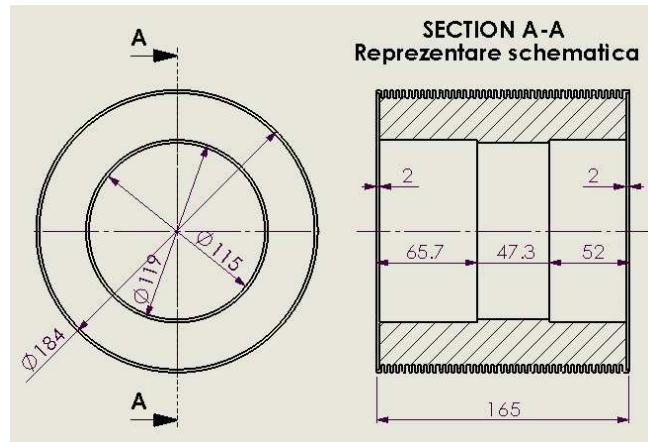


Fig. 4.13 Dimensiuni stator generator

Pentru a corespunde caracteristicilor turbinei, a fost necesară rebobinarea statorului pentru următorii parametrii:

- număr perechi de poli 2
- turație 1500 rpm.

Deoarece statorul va intra în contact cu apă, bobinajul va trebui inundat cu răsină, formată din următoarele componente: Ropoxid 501, Romamid 700, Marshalita TIP S1. Pe lateral statorul va fi închis cu 2 capace, **figura 4.14** și **figura 4.15**, iar întreg interiorul său va fi inundat cu răsină, **figura 4.16**, ceea ce va asigura etanșarea în raport cu apă. Ansamblul statorului în forma finală este prezentat în **figura 4.17**.



Fig. 4.14 Componente ansamblu stator generator

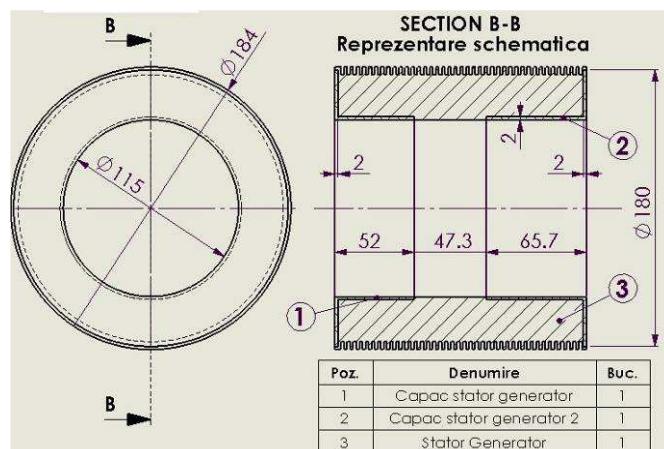


Fig. 4.15 Dimensiuni ansamblu stator generator



Fig. 4.16 Umpiere stator generator cu rășină



Fig. 4.17 Stator generator în stare finală

4.4 Rotorul magnetic

Geometria 3D a ansamblului rotorului magnetic este prezentată în figura 4.18, iar dimensiunile sunt prezentate în figura 4.19. Ansamblul constă într-un inel cu 24 decupări, figura 4.20, decupări în care se vor monta 24 de magneți neodim N35 de dimensiune 5x10x50, figura 4.21, magneți grupați în 2 perechi de poli. Rotorul magnetic se va fixa pe periferia rotorului turbinei, prin intermediul a 4 șuruburi M4, motiv pentru care inelul este prevăzut cu 4 găuri filetate M4. figura 4.22 prezintă două imagini ale rotorului magnetic.

Magnetul tip neodim-fier-bor (NdFeB), cunoscut și sub numele de neodymium sau supermagneți este unul dintre magneții care conține un metal din categoria pământurilor rare care depășește forța coercitivă și produsul energetic al oricărui magnet cunoscut până acum. Din acest motiv, acest produs reprezintă generația nouă a magneților ce au la baza metale rare. Magneții din neodim sunt foarte stabili. Sunt puțin sensibili la câmpurile magnetice externe, dar sunt predispuși la corodare și în cazul temperaturilor înalte își pot pierde magnetismul.

Avantajul net al magneților tip NdFeB este funcționarea sigură și caracteristici magnetice excelente raportate la o masa mai mică. Magneții neodim sunt protejați la suprafață cu zinc (Zn), nichel (Ni) sau rășini epoxidice. Acest tip de magnet trebuie protejat la suprafață, fiindcă în lipsa acestuia se corodează rapid. Magneții neodim sunt utilizati în următoarele domenii: piese electronice, separatoare, motoare, ambreiaje, dispozitive de ridicare, dispozitive de fixare, piese auto. Proprietățile magnetice ale magneților utilizati sunt următoarele [<http://www.euromagnet.ro/produse/magneti-neodim/>]:

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

- Tip
- Remanenta Br
- Forță coercitivă Hcb
- Forță coercitivă intrinsecă Hcj
- Produs energetic maxim BHmax
- Temperatura de lucru maximă

N35;
 1170-1220 mT 11.7-12,2 kGs;
 $\geq 868 \text{ kA/m}$ $\geq 10,9 \text{ kOe}$;
 $\geq 955 \text{ kA/m}$ $\geq 12 \text{ kOe}$;
 $263-287 \text{ kJ-m}^3$ 33-36 MGoe;
 80 °C.

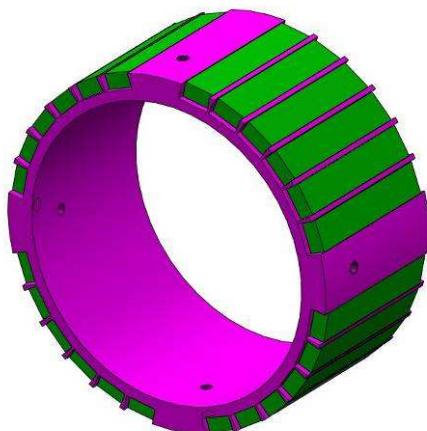


Fig. 4.18 Rotor magnetic

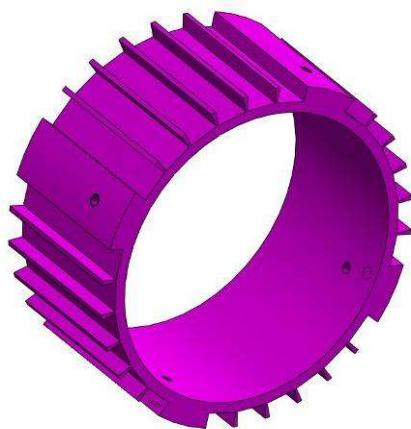


Fig. 4.20 Inel cu decupări

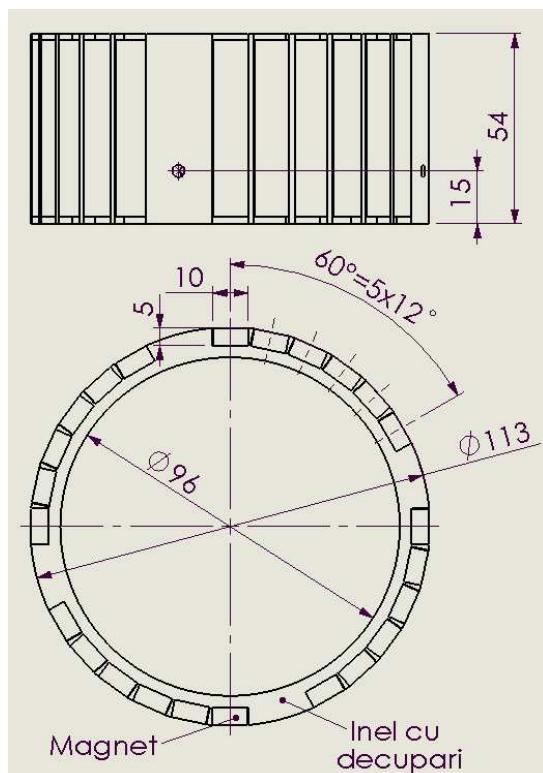


Fig. 4.19 Dimensiuni rotor magnetic

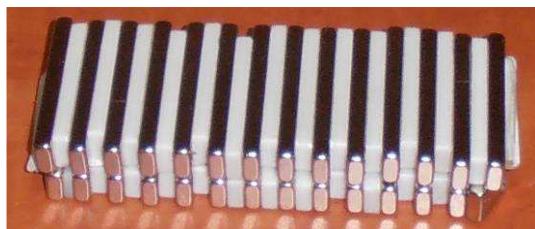


Fig. 4.21 Magneți Neodim



Fig. 4.22 Rotor magnetic



4.5 Rotorul axial și rotorul magnetic

Rotorul magnetic format din inel cu 24 decupări și 24 magneți neodim se montează pe periferie rotorului axial prin intermediul șuruburilor, figura 4.23. Figura 4.24 prezintă rotoarele în stare asamblată.

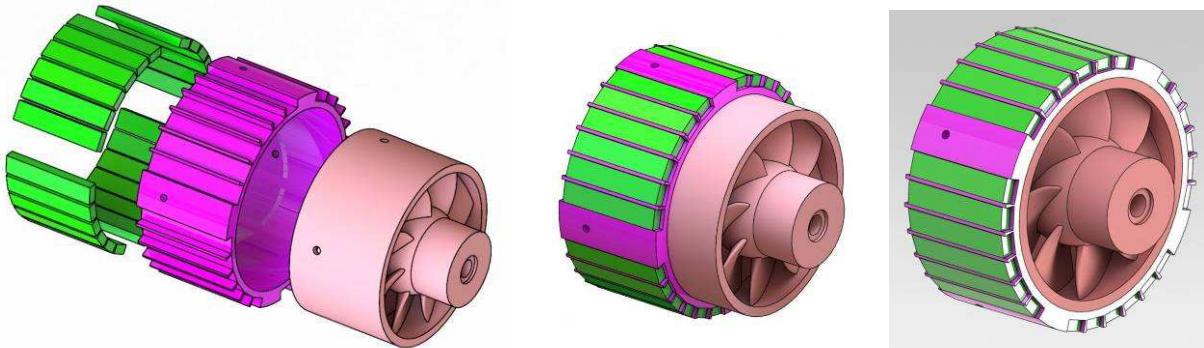


Fig. 4.23 Asamblare rotor magnetic cu rotor axial



Fig. 4.24 Rotorul axial și rotorul magnetic în stare asamblată

4.6 Modificarea soluției constructive – varianta 1

În varianta inițială a ansamblului microturbinei rotorul axial și rotorul magnetic au fost montate în consolă, pe cele două lagăre cu rulmenți, figura 4.1 și figura 4.2. În urma asamblării componentelor s-a constatat că centrarea rotorului axial și a celui magnetic nu se poate realiza, datorită micilor abateri constructive, neuniformității cilindrului interior al statorului acoperit cu rășină respectiv a puterii câmpul magnetic dintre magneți și interiorul statorului.

În consecință a fost necesară modificarea soluției constructive, astfel încât centrarea să se realizeze prin intermediul unui bucșe centrală din bronz fixată într-un disc cu 4 nervuri, plasat după rotor, într-o decupare realizată la intrarea în tubul de aspirație, figura 4.25, ceea ce a transformat lăgăruirea în consolă într-o variantă constructivă în care rotorul este fixat între două lagăre (cu bucșă – în stânga respectiv pe rulmenți în dreapta).

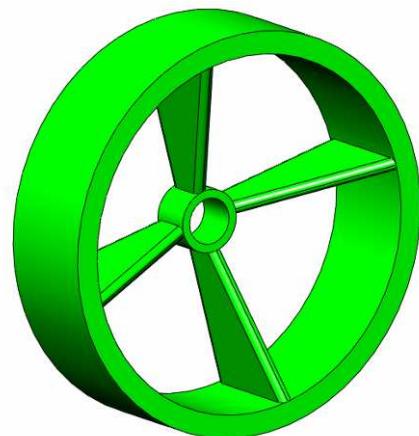


Fig. 4.25 Bucșă centrală fixată într-un disc cu 4 nervuri, plasat în decuparea de la intrarea în tubul de aspirație

Figura 4.26 prezintă ansamblul microturbinei după efectuarea acestor modificări.

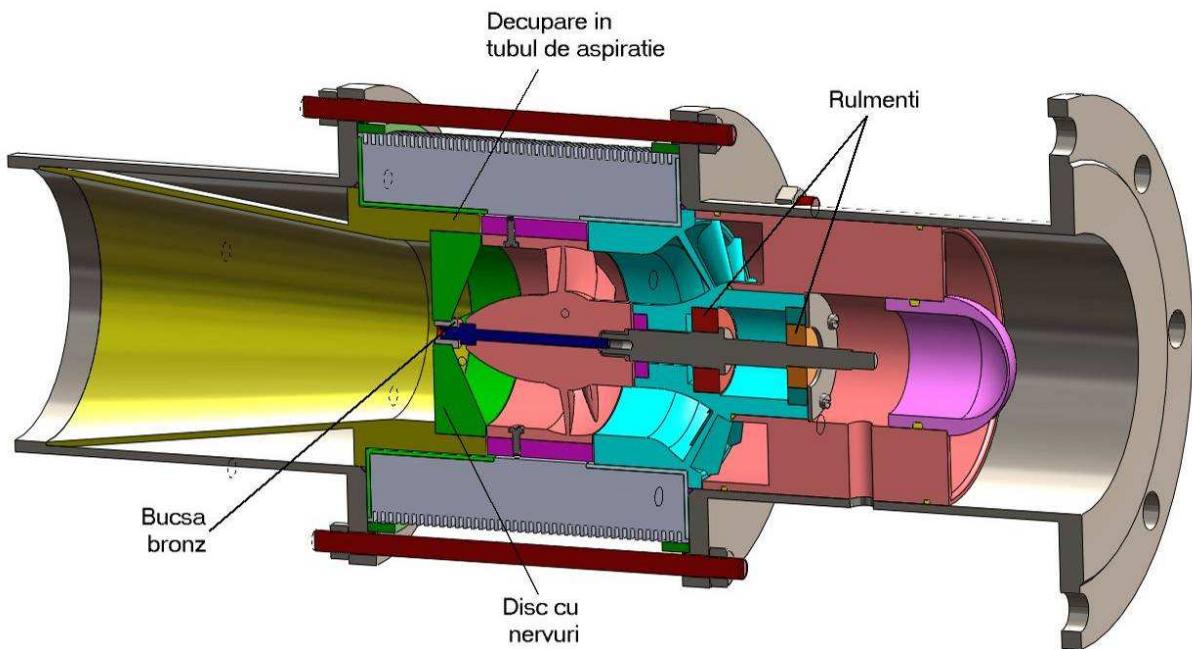


Fig. 4.26 Ansamblul microturbină după prima modificare a soluției constructive

4.7 Modificarea soluției constructive – varianta 2

După execuția modificărilor în varianta 1, s-a constatat că centrarea încă nu poate fi efectuată. Din acest motiv s-au realizat modificări ale soluției constructive, care să permită reglarea rotoarelor în raport cu diametrul interior al statorului generatorului. Astfel, intrarea în tubul de aspirație s-a decupat complet, iar discul cu nervuri va fi reglat prin intermediul a 4 șuruburi și a 4 plăci distanțoare, conform [figurii 4.27](#). Microturbina axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți este prezentată în stare asamblată în [figura 4.28](#).

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

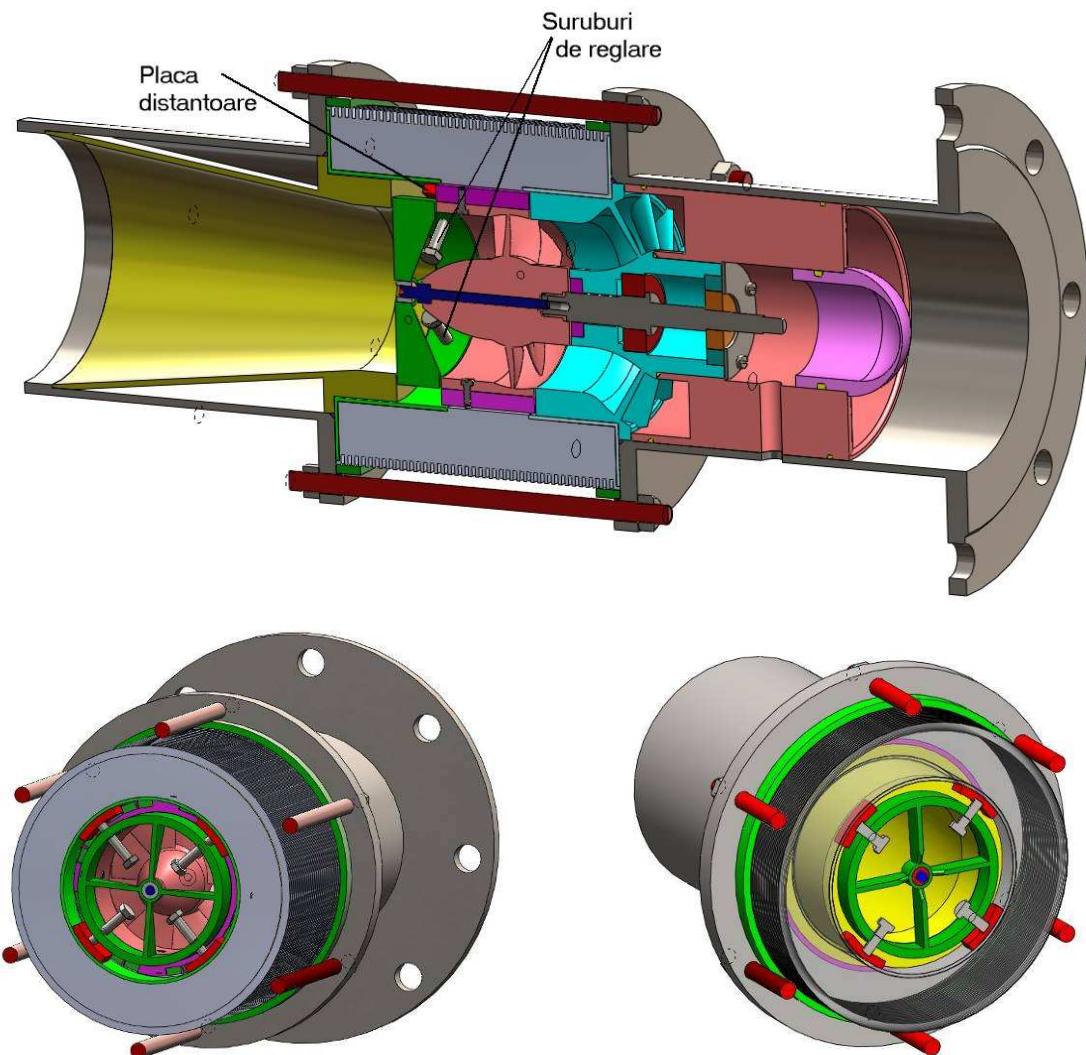


Fig. 4.27 Ansamblul microturbină după a 2-a modificare a soluției constructive



Fig. 4.28 Ansamblul microturbină axial-tubulară

4.8 Concluzii

În acest capitol se detaliază soluția constructivă adoptată pentru microturbina axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți. Microturbina reprezintă de fapt o microturbină de tip axial, echipată cu stator, aparat director, rotor axial și tub de aspirație, la care însă soluția constructivă a generatorului în corelație cu turbina este diferită față de soluțiile clasice. După prezentarea ansamblului, se descriu componentele principale ale microturbinei.

Statorul microturbinei a fost inundat cu o răsină specială pentru a fi asigurată etanșarea bobinajului în raport cu apa. Rotorul magnetic, format din 24 magneți de tip neodim se fixează pe periferia rotorului axial, astfel încât ansamblul acestor două rotoare se rotesc simultan în interiorul creștăturilor statorului generatorului, prin intersticiul dintre aceste componente curgând fluidul de lucru, adică apa. În aceasta constă de fapt elementul de noutate al microturbinei axial-tubulare. Din acest motiv, etanșarea statorului este esențială pentru funcționarea corectă a microturbinei.

Deoarece pe post de stator s-a utilizat un stator de la un motor existent, dimensiunea interioară a acestuia $\Phi 115$ mm a impus diametrul exterior/interior al rotorului magnetic $\Phi 113/\Phi 96$ și respectiv diametrul exterior al rotorului axial $\Phi 96$, pe a cărui periferie se montează rotorul magnetic. Aceste dimensiuni au condus la un întrefier de 1 mm/rază între creștăturile statorului și diametrul exterior al rotorului magnetic, ceea ce poate fi mult comparativ cu valorile uzuale ale întrefierelor motoarelor/generatoarelor, însă în această teză nu s-a urmărit realizarea unui randament maximal, ci verificarea funcționării corecte a soluției constructive proiectate a microturbinei. Din același motiv și datorită dimensiunilor mici ale prototipului, soluția constructivă adoptată nu a avut în vedere modificarea poziției paletelor aparatului director sau a rotorului axial.

Componentele cu geometrie mai complexă: rotoarele axiale și aparatul director se vor crea prin prototipare rapidă. În etapa asamblării finale a microturbinei s-a constatat că nu se poate realiza centrarea rotoarelor în raport cu statorul generatorului. În consecință, capitolul se finalizează prin prezentarea a 2 modificări succesive ale soluției inițial adoptată, modificări impuse de necesitatea realizării centrării rotoarelor axial + magnetic în raport cu diametrul interior al statorului magnetic.

Cap. 5 PROTOTIPAREA RAPIDĂ A COMPOUNTELOR MICROTURBINEI

5.1 Introducere

Dintre componentele microturbinei s-au executat prin tehnologia de prototipare rapidă componente cu geometrie complexă: aparatul director și cele 3 variante de rotoare R4, R6, R8, cu 4, 6 respectiv 8 palete.

5.2 Tehnologia și echipamentul de prototipare rapidă

Prototiparea rapidă (Rapid Prototyping) este un proces care, prin intermediul unor tehnologii digitale, asigură proiectarea unui produs, începând de la ideea originală până la finalizarea industrială a acestuia. Astfel, se pot analiza și valida variante constructive și funcționale ale unui produs. Rapid Prototyping reprezintă o tehnologie utilizată la fabricarea obiectelor fizice direct din fișiere generate într-un program de proiectare asistată de calculator (CAD). Sunt disponibile mai multe variante de generare a obiectelor 3D, având în comun faptul că geometria se creează prin depunerea de straturi succesive, deci prin adăugare de material, contrar metodelor clasice, cum ar fi frezarea sau strunjirea, prin care obiectele sunt generate prin eliminare de material.

Tehnologia Rapid Prototyping poate fi aplicată în diverse scopuri, cum ar fi:

- explorarea rapidă și cu costuri reduse a variantelor constructive ale aceleiași piese;
- crearea de machete, care permit evidențierea defectelor de proiectare, înainte de intrarea în producție de serie, economisind astfel timp și bani;
- construirea de ansambluri de piese care pot fi analizate și testate din punct de vedere funcțional;
- utilizarea ca modele pentru piese turnate;
- realizarea de prototipuri unicat pentru prezentări vizuale, cu rezoluție ridicată și capabilități de redare a detaliilor în cazul în care documentația pentru o piesă este insuficientă sau nu există, documentația piesei este învechită sau nu poate fi citită corect, producătorul piesei nu mai există ca firmă sau nu mai fabrică piesa, piesele sunt uzate sau rupte și nu mai există furnizori, actualizarea procesului de fabricația a unei piese.

Avantaje ale utilizării imprimantei 3D pentru generarea pieselor:

- precizia deosebit de ridicată a piesei/pieselor;
- rapiditatea imprimării geometriei piesei/pieselor;
- posibilitatea de scalare a geometriei piesei/pieselor;
- posibilitatea de imprimare a unor geometrii deosebit de complexe.

Etapele de fabricare ale unei piese sunt [5]:

- *Generarea fișierului CAD* – se realizează într-un program de proiectare asistată: AutoCAD, Inventor, Solid Works, Microstation, Catia, etc.
- *Conversia fișierului în format STL* – formatul Standard Triangulation Language – Stereolithography este un format standardizat adoptat în industria Rapid Prototyping, care memorează suprafața tridimensională a oricărui obiect prin intermediul unui ansamblu de triunghiuri plane, informația corespunzătoare fiecărui triunghi constând în coordonatele celor trei vertex-uri și direcția normalei exterioare. Deoarece programele CAD pot opera cu acest tip de fișier, generarea fișierului este o simplă opțiune de export din programul CAD.
- *Descompunerea obiectului în straturi* – se realizează de obicei într-un program specializat oferit de furnizorul echipamentului; obiectul este descompus într-un număr de straturi, a căror grosime variază funcție de echipament; de asemenea programul generează suplimentar o structură pentru suportul materialului pe durata generării obiectului 3D; materialul model este utilizat la imprimarea părților pline ale unui model, iar materialul suport este utilizat la susținerea materialului model pe durata generării obiectului 3D și la imprimarea volumului gurilor dintr-un model.
- *Generarea obiectului 3D strat cu strat* – se poate realiza prin intermediul unor echipamente specifice, din diverse materiale model: polimeri, pudră de metal sau chiar hârtie.
- *Curățarea și finalizarea obiectului* – constă în extragerea obiectului din echipament; pentru unele materiale de tip polimer este necesară îndepărțarea materialului suport, prin diferite tehnici, cum ar fi jet de apă sub presiune. În final se pot aplica diferite operații: tratarea suprafețelor prin șmirgheluire sau vopsire, ce îmbunătățesc aspectul vizual și durata de utilizare a obiectului.

Echipamentul de prototipare rapidă utilizat a fost imprimanta 3D multifuncțională Objet 30 Desktop, **figura 5.1**, din dotarea Centrului pentru Simulații Numerice și Prototipare al Universității „Eftimie Murgu” Reșița, care poate fi utilizată pentru multiple aplicații, bazată pe diverse variante de materiale: Vero și Durus și diferite culori: albastru, negru, alb și gri. Calitatea suprafețelor și finețea detaliilor sunt datorate tehnologiei PolyJet (<http://www.stratasys.com/3d-printers/technology/polyjet-technology>), **figura 5.2**, care generează o înaltă rezoluție a acestora. Capul de imprimare se deplasează pe direcțiile X și Y, iar tava, pe care se depune fotopolimerul, pe direcția Z cu 28 μ. Tehnologia PolyJet inkjet patentată constă în depunerea, pe tava de imprimare, a mai multor straturi succesive de polimeri de grosime de 28 μ, până la finalizarea piesei. Aplicația Objet Studio™ gestionează întregul proces de imprimare. Fiecare strat de fotopolimer depus este imediat întărit printr-o lampă cu ultraviolete, rezultând astfel piese finite, care pot fi manevrate/utilizate fără o tratare ulterioară.

Materialul suport de tip gel, care este special conceput pentru a susține geometrii complicate pe durata imprimării, poate fi ușor înlăturat manual prin jet de apă sub presiune. Mărimea maximală care poate fi tipărită este definită de paralelipipedul 294 mm x 192.7 mm x 148.6 mm, cu o rezoluție de 600 dpi pe axe X, Y respectiv 900 dpi pe axa Z. Grosimea straturilor pe direcția Z-axis este de 28 microni. Acuratețea poate varia funcția de geometrie, orientare și mărimea obiectului, în limita a 0.1 – 0.2 mm.

Modelele nu necesită finisări ulterioare, dar pot fi în continuare prelucrate prin găurire, lipire, acoperire metalică, vopsire. Grosimea minimă a pereților este de 0.6 mm, iar diametrul minim al găurilor este de 1 mm. Imprimanta are capacitatea de a genera modele de ansamblu funcționale (mecanism bielă-manivelă, piese filetate, roți dințate, etc.).

Greutatea de 93 kg și dimensiunile 82.5 cm x 62 cm x 59 cm ale echipamentului permit plasarea acestuia într-un birou, fără necesitatea unor condiții speciale. Condițiile de operare sunt cele normale: 18-25°C, umiditate relativă 30-70%, procesul de imprimare nefiind toxic. Imprimanta 3D este comandată de aplicația dedicată Objet Studio, care permite orientarea automată/optimizată a piesei/pieselor pe tavă, divizarea în straturi în timp real, simularea procesului de imprimare și oferă informațiile referitoare la materialul consumat și timpul de generare, anterior lansării procesului de imprimare. Fișierele de intrare cu geometria 3D pot fi de tip STL sau SLC, care pot fi generate din orice program CAD.

Gama de materiale model disponibile cuprinde: DurusWhite, VeroBlue, VeroBlack, VeroGray, iar ca material suport este utilizat FullCure, un gel non-toxic de tip fotopolimer, care poate fi ușor înlăturat prin intermediul WaterJet System Objet, [figura 5.3](#), inclus ca și echipament în configurația imprimantei. WaterJet folosește jetul de apă sub presiune pentru înlăturarea materialului suport. Imprimanta este alimentată prin intermediul a patru cartușe cu capacitate de 1 kg, din care 2 sunt pentru materialul model, iar 2 pentru materialul suport. Interfața de control a imprimantei afișează tipul și greutatea materialelor disponibile în cartușe.

Aplicația Objet Studio™ oferă și următoarele opțiuni suplimentare [1]:

- divizarea obiectelor – pentru a genera piese mai mari decât tava de imprimare prin divizarea piesei în părți separate; astfel este posibilă imprimarea părților individuale ale piesei;
- alegerea rezistenței materialului suport – la producerea pieselor, materialul suport umple părțile goale ale piesei; aplicația Objet Studio™ permite ajustarea rezistenței acestor structuri formate prin depunerea materialului suport; această ajustare este utilă la producerea pieselor mari sau mici;

- umplere modele cu material suport – multe piese plasate pe tava de imprimare sunt de tip „solid”; aceasta înseamnă că la imprimare modelul va fi creat în totalitate din material model, ceea ce nu este întotdeauna necesar, mai ales în cazul pieselor mari; o soluție alternativă ar fi umplerea modelului pe interior cu material suport, care este mult mai ieftin decât materialul model; grosimea peretilor corespunzători materialului model poate fi selectată între 0.015 și 3.825 mm.



OBJET30 Desktop 3D Printer

Fig. 5.1 Imprimanta 3D Objet 30 Desktop

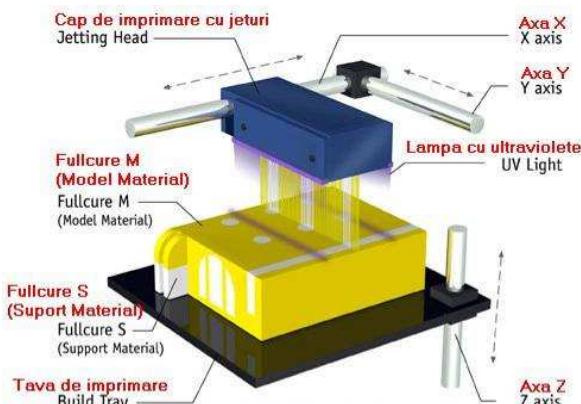


Fig. 5.2 Tehnologia PolyJet



Fig. 5.3 WaterJet System Objet

5.3 Prototiparea rapidă a rotorului R8

Parametrii de imprimare ai rotorului R8 sunt prezentati in **tabelul 5.1**.

Tabel 5.1

Parametrii de imprimare rotor R8

Componentă	Parametrii fișier STL în SolidWorks				Parametrii imprimantă 3D		
	Material	Număr straturi	Număr triunghiuri	Dimensiuni [mm]	Material model	Material suport	Timp de imprimare
Rotor R8	VeroBlack	2696	299104	Φ 96 x 55	413 g	281 g	17 h 00 min

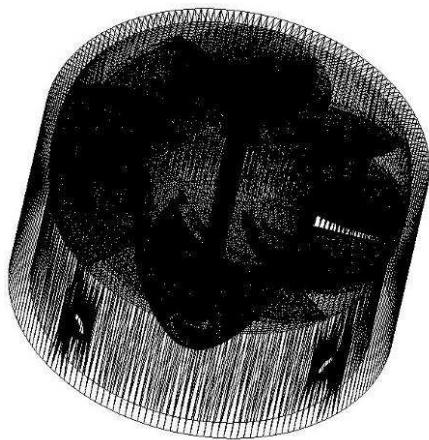
Materialul model utilizat pentru imprimarea rotorului este Objet VeroBlack FullCure 870, cu următoarele proprietăți, **tabel 5.2**:

Tabel 5.2

Proprietăți material Objet VeroBlack FullCure 870

Proprietate	Valoare	UM	Proprietate	Valoare	UM
Rezistență la tracțiune	50 ÷ 65	MPa	Reziliență	20 ÷ 30	J/m
Alungirea la rupere	10 ÷ 25	%	Absorbția de apă	1,1 ÷ 1,5	%
Modul de elasticitate	2000 ÷ 3000	MPa	Tg	52 ÷ 54	°C
Rezistență la încovoiere	75 ÷ 110	MPa	Duritate Shore (D)	83 ÷ 86	Scale D
Modul la încovoiere	2200 ÷ 3200	MPa	Duritate Rockwell	73 ÷ 76	Scale M
HDT, °C @ 0.45MPa	45 ÷ 50	°C	Densitate	1,17 ÷ 1,18	g/cm ³
HDT, °C @ 1.82MPa	45 ÷ 50	°C	Conținut de cenușă	0,01 ÷ 0,02	%

Geometria rotorului R8 exportată din SolidWorks în format STL este prezentată în figura 5.4, dispunerea rotorului pe tava de imprimare este prezentată în figura 5.5, iar în stare finală în figura 5.6.



*Fig. 5.4 Geometrie rotor R8
în format STL*

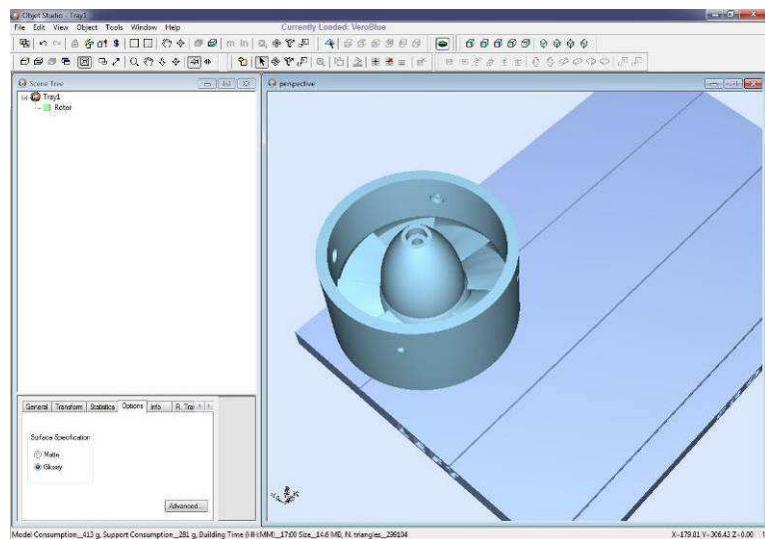


Fig. 5.5 Dispunerea rotorului R8 pe tava de imprimare

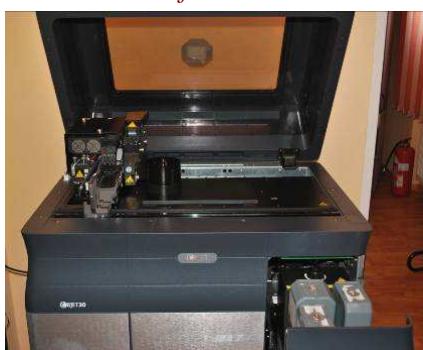


Fig. 5.6 Rotorul R8 în stare finală

5.3 Prototiparea rapidă a rotoarelor R4 și R6

Parametrii de imprimare ai rotoarelor R4 și R6 sunt prezentati în tabelul 5.3.

Tabel 5.3

Parametrii de imprimare ai rotoarelor R4 și R6

Componente	Parametrii fișier STL în SolidWorks				Parametrii imprimantă 3D		
	Material	Număr straturi	Număr triunghiuri	Dimensiuni [mm]	Material model	Material suport	Timp de imprimare
Rotoare R4 & R6	DurusWhite	3055	3938054	Φ 96 x 55	762 g	473 g	19 h 15 min

Materialul model utilizat pentru imprimarea rotoarelor este DurusWhite FullCure430, cu următoarele proprietăți, tabel 5.4:

Tabel 5.4

Proprietăți material Objet DurusWhite FullCure430

Proprietate	Valoare	UM	Proprietate	Valoare	UM
Rezistența la tracțiune	20 ÷ 30	MPa	Reziliență	40 ÷ 50	J/m
Alungirea la rupere	40 ÷ 50	%	Absorbția de apă	1,5 ÷ 1,9	%
Modul de elasticitate	1000 ÷ 2000	MPa	Tg	35 ÷ 37	°C
Rezistența la încovoiere	30 ÷ 40	MPa	Duritate Shore (D)	83 ÷ 86	Scale D
Modul la încovoiere	1200 ÷ 1600	MPa	Duritate Rockwell	73 ÷ 76	Scale M
HDT, °C @ 0.45MPa	37 ÷ 42	°C	Densitate	1,15 ÷ 1,17	g/cm ³
HDT, °C @ 1.82MPa	32 ÷ 42	°C	Conținut de cenușă	0,01 ÷ 0,02	%

Geometria rotoarelor R4 & R6 exportată din SolidWorks în format STL este prezentată în figurile 5.7 și 5.8, dispunerea rotoarelor pe tava de imprimare este prezentată în figura 5.9, iar în stare finală în figurile 5.10 și 5.11.



Fig. 5.7 Geometrie rotor R4 în format STL

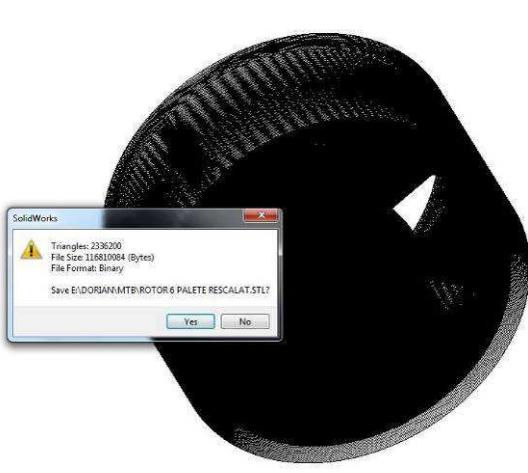


Fig. 5.8 Geometrie rotor R6 în format STL

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

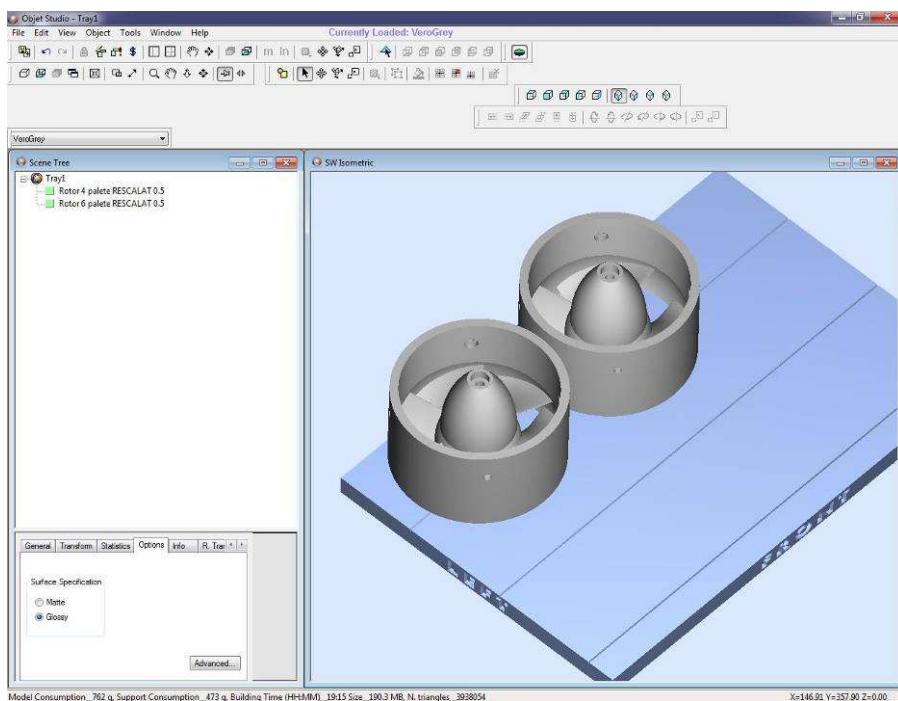


Fig. 5.9 Dispunerea rotoarelor R4 & R6 pe tava de imprimare în aplicația Objet Studio™

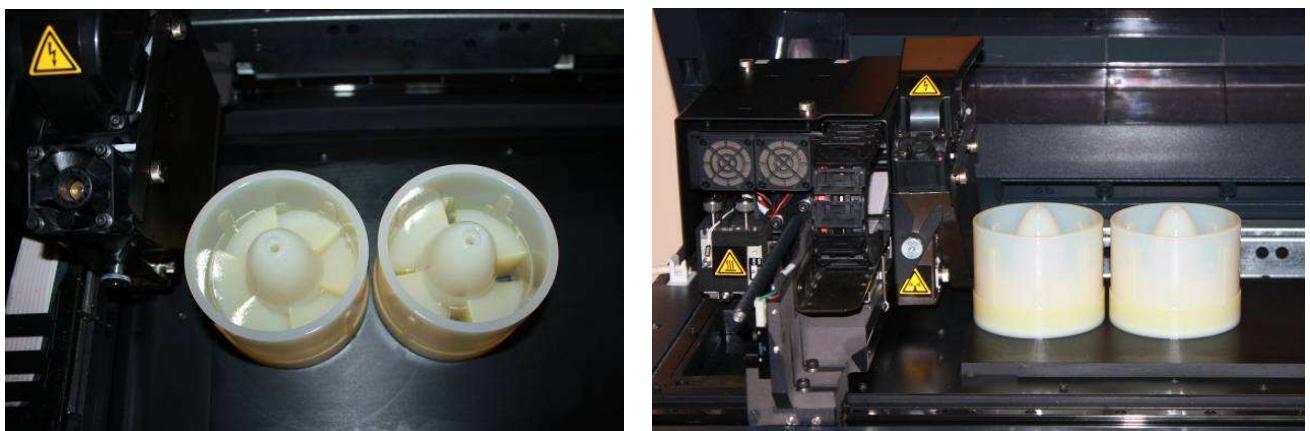


Fig. 5.10 Dispunerea rotoarelor R4 & R6 pe tava de imprimare

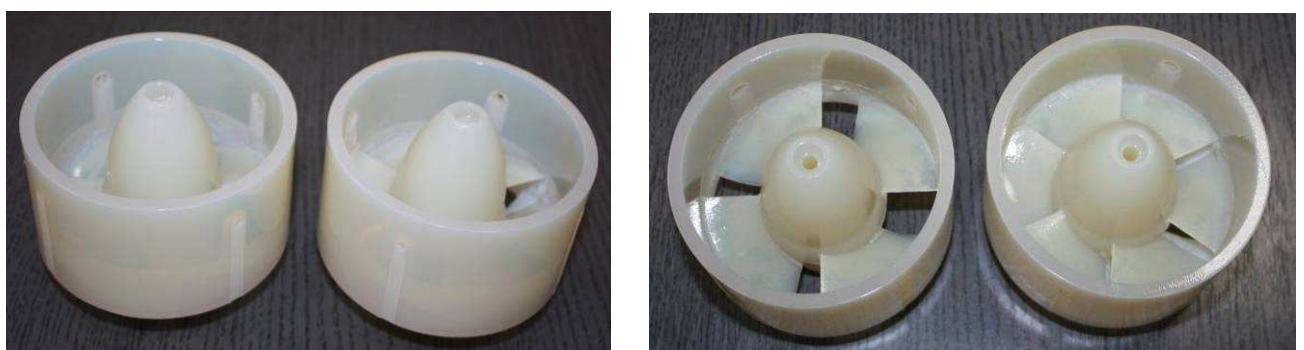


Fig. 5.11 Rotoarele R4 & R6 în stare finală

5.4 Prototiparea rapidă a aparatului director

Parametrii de imprimare ai aparatului director sunt prezentati în tabelul 5.5.

Tabel 5.5

Parametrii de imprimare aparat director

Componentă	Parametrii fișier STL în SolidWorks				Parametrii imprimantă 3D		
	Material	Număr straturi	Număr triunghiuri	Dimensiuni [mm]	Material model	Material suport	Timp de imprimare
Aparat director	VeroBlack	3991	227212	$\Phi 132 \times 111$	786 g	628 g	29 h 08 min

Materialul model utilizat pentru imprimarea aparatului director este Objet VeroBlack FullCure 870, **tabelul 5.2**. Geometria aparatului director exportată din SolidWorks în format STL este prezentată în **figura 5.12**, iar dispunerea pe tava de imprimare în **figura 5.13**.

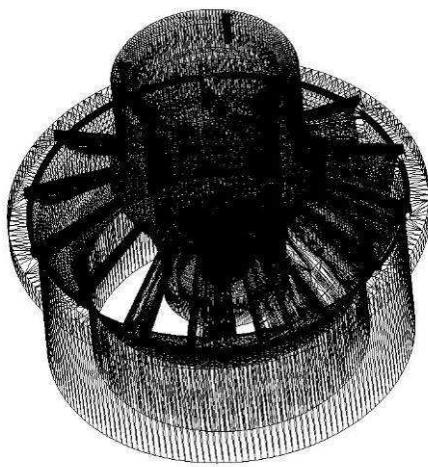


Fig. 5.12 Geometrie aparat director în format STL

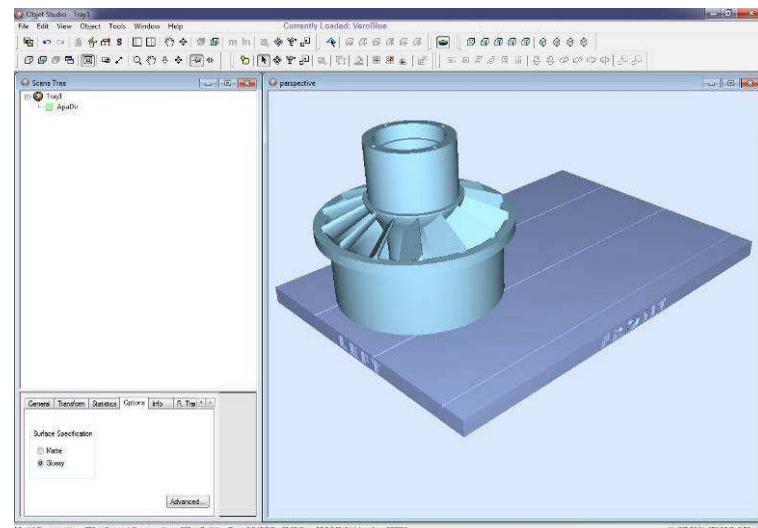


Fig. 5.13 Dispunerea aparatului director pe tava de imprimare în aplicația Objet Studio™

Figura 5.14 prezintă un instantaneu din perioada de imprimare 3D a aparatului director, iar figurile 5.14 ÷ 5.14 aparatul director în stare finală.

5.5 Concluzii

În acest capitol se prezintă câteva noțiuni generale despre tehnologia de prototipare rapidă (Rapid Prototyping), domenii de aplicare, avantaje ale utilizării acestei tehnologii, etapele de fabricare ale unei piese prin imprimare 3D, precum și caracteristicile și particularitățile imprimantei 3D utilizate la imprimarea aparatul director și a 3 variante de rotoare R4, R6, R8, cu 4, 6 respectiv 8 palete.

Pentru fiecare dintre componentelete create prin prototipare rapidă: rotoarele R4, R6, R8 și aparatul director, sunt prezenți parametrii de imprimare, caracteristicile materialului model utilizat

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

pentru imprimare, geometria rotoarelor exportată din SolidWorks în format STL, dispunerea rotoarelor pe tava de imprimare și imagini cu geometria finală a acestora.

Totalul parametrilor de imprimare a aparatului director și a celor 3 variante de rotoare R4, R6, R8 este:

- Material model 1961 grame
- Material suport 1382 grame
- Timp de imprimare 65 h 23 min.

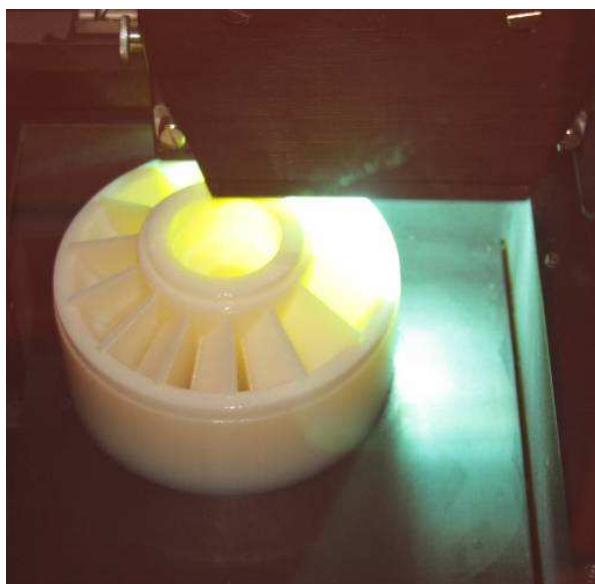


Fig. 5.14 Stagiu intermediar de imprimare 3D a aparatului director



Fig. 5.15 Aparat director – vedere laterală 1



Fig. 5.16 Aparat director – vedere laterală 2



Fig. 5.17 Aparat director – vedere de sus

Cap. 6 CERCETARI EXPERIMENTALE PE MICROTURBINA AXIALĂ ȘI ANALIZA REZULTATELOR

6.1 Cercetări experimentale preliminare pe rotorul magnetic

Aceste cercetări au vizat verificarea funcționalității rotorului magnetic și determinarea caracteristicilor sale. Antrenarea rotorului magnetic s-a realizat printr-un motor de curent continuu.

Au fost efectuate următoarele categorii de încercări preliminare:

- Încercări preliminare pe un alternator echipat cu magneți permanenți;
- Încercări preliminare pe un generator echipat cu rotor magnetic.

6.1.1 Încercări preliminare pe un alternator echipat cu magneți permanenți

Primele experimentări au fost efectuate pe un alternator de Dacie și au urmărit verificarea principiului generării curentului utilizând un rotor magnetic. În acest scop, alternatorul a fost demontat, **figura 6.1** și pe polii rotorului s-au montat magneți permanenți preluati de la hard disk-uri de calculator, **figura 6.2** și prelucrați mecanic astfel ca să reproducă geometria triunghiulară a polilor. Magneții au fost fixați pe poli prin lipire. Alternatorul a fost încadrat într-un stand, **figura 6.3**, antrenat de un motor prin intermediul unei curele, iar la borne s-a cuplat un bec de mică putere. Experimentul a verificat numai aprinderea becului pe baza energiei generate de rotorul magnetic. Experimentul a fost reușit, în sensul că becul s-a aprins; nu au fost efectuate măsurători deoarece prin acest test s-a urmărit numai o verificare principală a fenomenului, iar magneții permanenți difereau ca geometrie și proprietăți magnetice de cei utilizați la varianta finală a rotorului magnetic.



Fig. 6.1 Alternatorul în stare demontată

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți



Fig. 6.2 Magneți permanenți montați pe polii rotorului alternatorului



Fig. 6.3 Încadrare în stand a alternatorului echipat cu magneți permanenți

6.1.2 Încercări preliminare pe un generator echipat cu rotor magnetic

Rotorul inițial al generatorului, figura 6.4, a fost strunjit la diametrul interior al rotorului magnetic, pentru ca rotorul magnetic să poată fi fixat pe periferia rotorului inițial, figura 6.5. Încercările preliminare efectuate pe generatorul echipat cu rotorul magnetic în varianta finală au urmărit măsurarea parametrilor. În acest scop, generatorul a fost încadrat într-un stand, figura 6.6, antrenat prin intermediul unei curele de un motor de curent continuu de 450 W și 1680 rpm, iar la borne s-a cuplat o baterie de becuri de 60 W, figura 6.7. Schema standului de măsură este prezentată în figura 6.8.

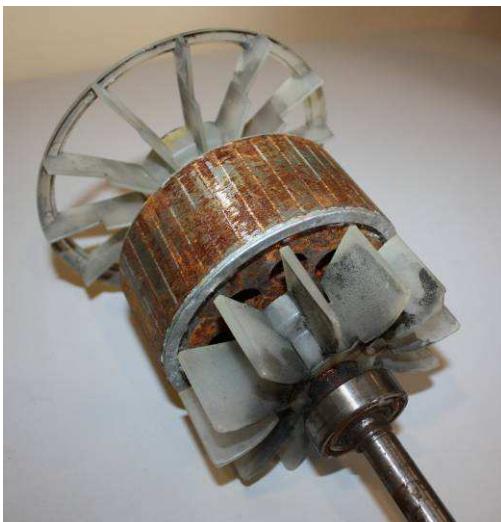


Fig. 6.4 Rotorul inițial al generatorului



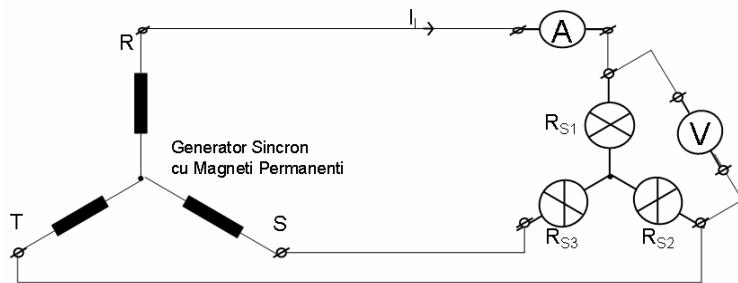
Fig. 6.5 Rotorul magnetic fixat pe periferia rotorului inițial al generatorului



Fig. 6.6 Încadrarea în stand a generatorului echipat cu rotorul magnetic



Fig. 6.7 Baterie de becuri



R,S,T	faze
A	ampermetru
V	voltmetru
RS1,RS2,RS3	sarcina
RS1=RS2=RS3	
Rs	1,2,3,4 becuri in paralel
Bec	60W/230V
IL	curent de linie

Fig. 6.8 Schema standului de măsură

Schema prezentată este utilizată la încărcarea generatorului sincron cu magneți permanenți. Circuitul de încărcare permite determinarea caracteristicilor electrice de evoluție, pentru cazul încărcării cu sarcini electrice în trepte. Astfel se poate determina experimental evoluția puterii, tensiunii și, implicit, a curentului prin sarcină, în funcție de variația turației de antrenare a generatorului. Circuitul de încărcare, are ca schemă de bază schema stea și ca sarcini, becuri electrice de 60W / 220 Vca, sarcina fiind astfel echilibrată fără punct de nul.

Prin intermediul aparatajului de măsură, ampermetrul și voltmetrul, sunt determinate variațiile curentului de linie și tensiunii de fază, cu posibilitatea modificării conexiunilor pentru vizualizarea și a tensiunii de linie. Astfel, sunt determinate pentru fiecare dintre treptele de încărcare, caracteristicile electrice de evoluție funcție de turație, rezultând familii de curbe caracteristice.

Rezultatele sunt prezentate numeric în tabelul 6.1 și grafic în figurile 6.9 – 6.12, sub forma caracteristicilor $U_{linie}=f(n)$ la mers în gol și în sarcină, $U_{linie}=f(P_{linie})$ respectiv $P_{linie}=f(n)$.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 6.1

Rezultate măsurători pe generatorul echipat cu rotorul magnetic

Pct.	Turăția n	Mers in gol	Sarcina 1			Sarcina 2		
		Ulinie	U linie	I linie	P linie	U linie	I linie	P linie
	rpm	V	V	mA	W	V	mA	W
1	1600	161,6	159,2	189,8	30,22	158,6	330	52,34
2	1500	152,3	149,2	183,1	27,32	148,3	320	47,46
3	1400	143,0	139,9	177,7	24,86	139	310	43,09
4	1300	132,5	131	171,3	22,44	129	300	38,70
5	1200	121,6	120	164,1	19,69	118	280	33,04
6	1100	112,6	109,6	156,6	17,16	109,3	270	29,51
7	1000	101,7	100,5	150,4	15,12	98,6	260	25,64
8	900	90,0	90,4	143,2	12,95	88,1	240	21,14
Pct.	Turăția n	Mers in gol	Sarcina 3			Sarcina 4		
		Ulinie	U linie	I linie	P linie	U linie	I linie	P linie
	rpm	V	V	mA	W	V	mA	W
1	1600		158	500	79,00	155,2	650	100,88
2	1500		147,5	480	70,80	145,4	630	91,60
3	1400		135,9	450	61,16	136,7	610	83,39
4	1300		127,8	445	56,87	126,4	585	73,94
5	1200		117,4	420	49,31	115,9	560	64,90
6	1100		108,3	405	43,86	107,5	540	58,05
7	1000		98,5	390	38,42	97,4	510	49,67
8	900		87,6	360	31,54	86,6	485	42,00

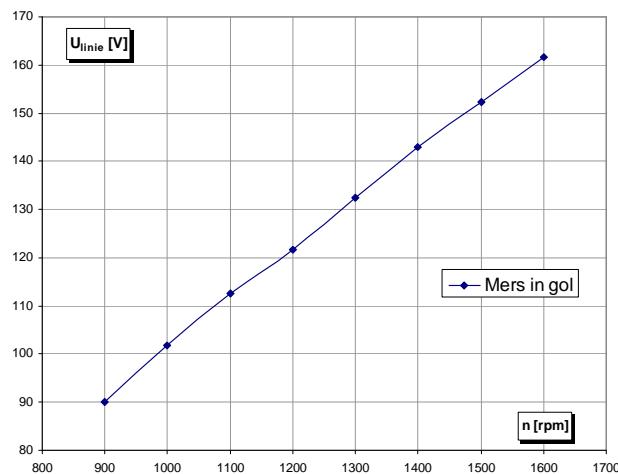


Fig. 6.9 Variația tensiunii de linie funcție de turăție la mers în gol

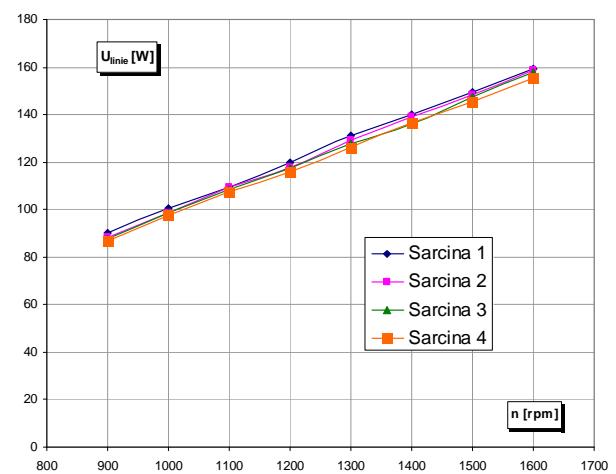


Fig. 6.10 Variația tensiunii de linie funcție de turăție la diferite sarcini

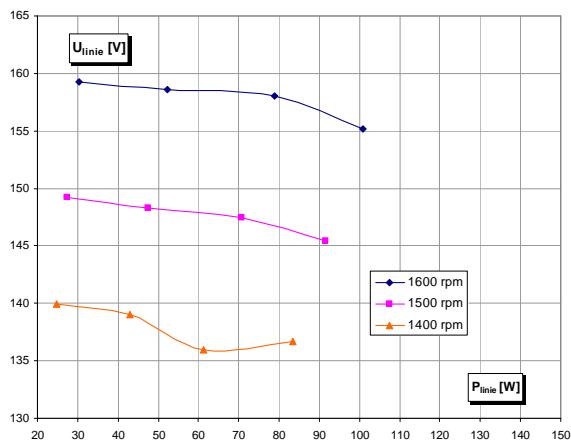


Fig. 6.11 Variația tensiunii de linie funcție de puterea de linie la diferite turări

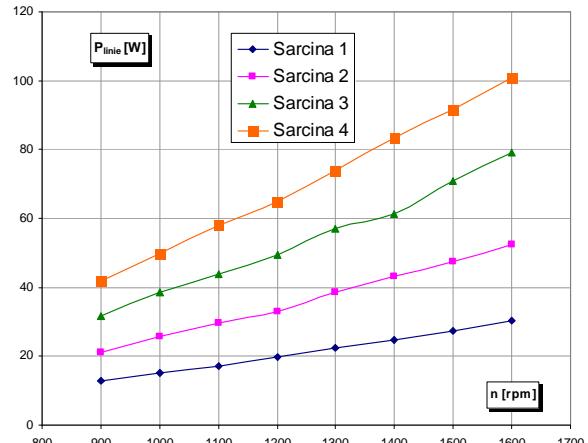


Fig. 6.12 Variația puterii de linie funcție de turări la diferite sarcini

Evoluția liniară a caracteristicilor de tensiune și putere, permite concluzionarea faptului că, generatorul nu a atins limita maximă de putere electrică debitată și comportă o funcționare normală, din punct de vedere electric.

6.2 Cercetări experimentale pe microturbină axial-tubulară

Experimentările pe microturbină axial-tubulară s-au derulat pe standul de încercări microturbine al S.C. Hydro-Engineering S.A. Reșița. În acest sens între Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița și S.C. Hydro-Engineering S.A. Reșița s-a semnat un acord de colaborare în baza acordului de cooperare științifică și tehnică nr. 32/2009 - act adițional nr. 3/2013, încheiat între cele două instituții. Schema standului de măsură este prezentată în figura 6.13. Au fost măsurăți parametrii specificați în tabelul 6.2.

*Tabel 7.1
Parametrii măsuраți pe microturbină axial-tubulară*

Mărime	Simbol	Instrument de măsură	Simbolizare
Debit	Q	Debitmetru ultrasonic	Universal MultiFunction Flowmeter Controlotron System 101 Uniflow, figura 6.14
Turărie	n	Tahometru	Tahometru PCE-DT62, figura 6.15
Cădere	H	Manometru	Traductor Wika 0-5 bar, figura 6.16
Tensiune	U	Voltmetru	figura 6.17
Curent	I	Ampermetru	figura 6.18

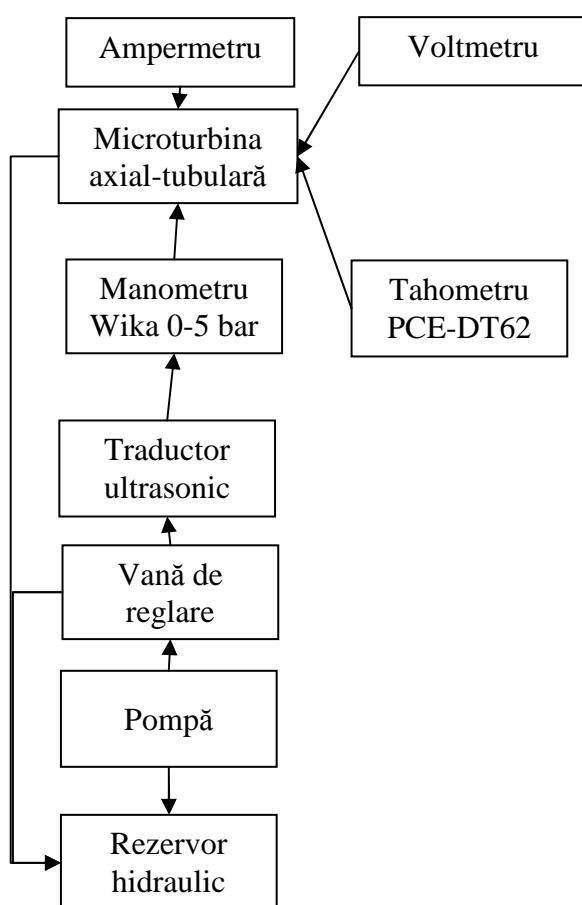


Fig. 6.13 Schema standului de măsură a microturbinei axial-tubulare



a) Universal MultiFunction Flowmeter Controlotron System 101 Uniflow



b) Traductori ultrasonici montati pe conducta de la intrarea în turbina axial-tubulară

Fig. 6.14 Debitmetru ultrasonic

În figura 6.19 și figura 6.20 se prezintă conducta aducțiiune respectiv vana de reglare de pe circuitul hidraulic al standului unde este încadrată turbina axial-tubulară, figura 6.21.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți



Fig. 6.15 Tahometru



Fig. 6.16 Manometru



Fig. 6.17 Voltmetru



Fig. 6.18 Ampermetru



Fig. 6.19 Conductă aducțiiune



Fig. 6.20 Vană de reglare



Fig. 6.21 Încadrare turbină axial-tubulară în stand

6.3 Descrierea metodologiei de măsură și a relațiilor de calcul

Deoarece microturbina nu conține nici un organ de reglare (palete reglabile de aparat director sau de rotor), măsurarea domeniului de funcționare s-a realizat numai prin variația căderii și implicit a debitului prin intermediul vanei de reglare a standului de măsură.

Metodologia de măsură a constat în următoarele etape:

1. Montare turbină
2. Montare rotor - varianta R4 / R6 / R8;
3. Pornire pompă;
4. Încărcare generator; domeniul de încărcări se bazează pe o baterie de becuri;
5. Fixare cădere de încercare prin intermediul vanei de reglare astfel încât să rezulte o turătie $n \approx 1500$ rot/min la arborele microturbinei;
6. Măsurare parametrii: cădere \mathbf{H} , debit \mathbf{Q} , turătie \mathbf{n} , tensiune \mathbf{U} , intensitate curent \mathbf{I} ;
7. Revenire la pasul 4 - încărcare generator;
8. Oprire pompă;
9. Revenire la pasul 2 - Montare rotor.

Relațiile de calcul ale mărimilor caracteristice sunt următoarele:

$$\text{Puterea absorbită de turbină} \quad P_{abs} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1000 \cdot 9.81 \cdot Q \cdot H \quad \text{W} \quad (6.1)$$

$$\text{Puterea generată la borne} \quad P_u = U \cdot I \quad \text{W} \quad (6.2)$$

$$\text{Randament microturbină} \quad \eta = \frac{P_u \cdot 100}{P_{abs}} \% \quad (6.3)$$

6.4 Rezultate experimentale

Microturbina a fost încercată succesiv pentru cele 3 variante de rotor proiectate: R4, R6, R8.

Pentru rotorul R4, rezultatele sunt prezentate numeric în **tabelul 6.2** respectiv grafic în **figurile 6.22 ÷ 6.25**, din care rezultă că puterea maximă la borne este de 66,2 W, corespunzătoare unui randament 51,98 %.

Pentru rotorul R6, rezultatele sunt prezentate numeric în **tabelul 6.3** respectiv grafic în **figurile 6.26 ÷ 6.29**, din care rezultă că puterea maximă la borne este de 65,7 W, corespunzătoare unui randament 40,94 %.

Pentru rotorul R8, rezultatele sunt prezentate numeric în **tabelul 6.4** respectiv grafic în **figurile 6.30 ÷ 6.33**, din care rezultă că puterea maximă la borne este de 108,0 W, corespunzătoare unui randament 47,82 %.

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 6.2

Mărimi măsurate pe microturbina axial-tubulară echipată cu rotorul R4

n	H	Q		P_{abs}	I	U	P_u	η_{T+G}
rpm	m	m³/s	l/s	W	A	V	W	%
1499	1,05	0,01301	13,01	134,4	0,61	109	66,2	49,27
1483	0,96	0,01239	12,39	116,2	0,52	116	60,4	51,98
1495	0,90	0,01204	12,04	106,7	0,48	113	54,3	50,88
1520	0,87	0,01182	11,82	101,0	0,41	122	50	49,52
1505	0,80	0,01132	11,32	88,5	0,32	131	41,76	47,17
1512	0,75	0,01100	11,00	81,4	0,26	134	34,8	42,77
1498	0,69	0,01056	10,56	71,9	0,24	116	27,84	38,70
1489	0,65	0,01018	10,18	64,4	0,183	128	23,49	36,47

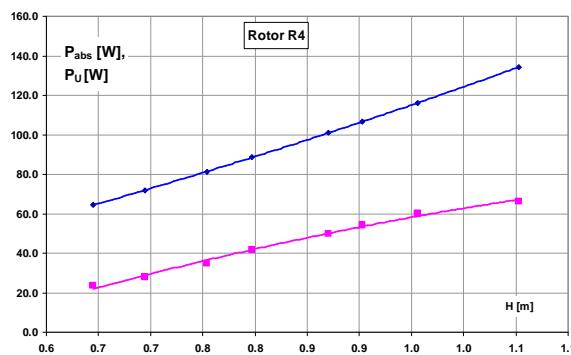


Fig. 6.22 Curbele $P_{abs}=f(H)$ și $P_u=f(H)$ pentru rotorul R4

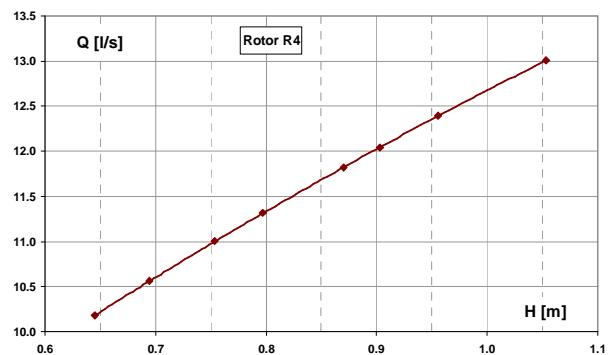


Fig. 6.23 Curba $Q_s=f(H)$ pentru rotorul R4

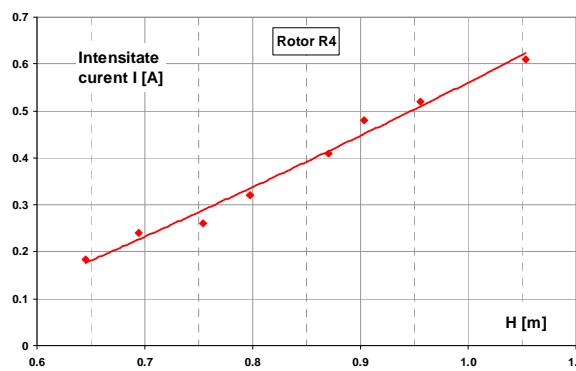


Fig. 6.24 Curba $I=f(H)$ pentru rotorul R4

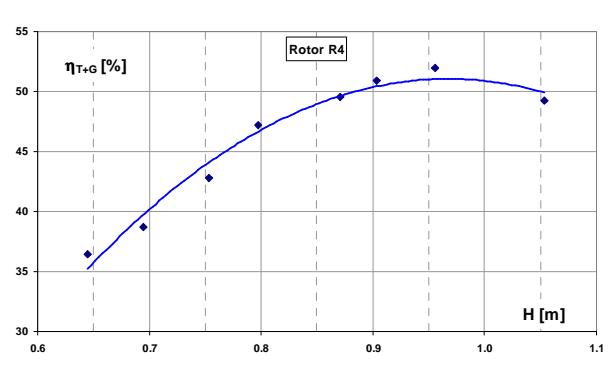


Fig. 6.25 Curba $\eta_{T+G}=f(H)$ pentru rotorul R4

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 6.3

Mărimi măsurate pe microturbina axial-tubulară echipată cu rotorul R6

n	H	Q		P_{abs}	I	U	P_u	η_{T+G}
rpm	m	m³/s	l/s	W	A	V	W	%
1510	1,81	0,00958	9,58	169,7	0,6	110	65,7	38,71
1497	1,61	0,00905	9,05	142,9	0,5	117	58,5	40,94
1489	1,45	0,00859	8,59	122,3	0,48	102	49	40,07
1499	1,35	0,00827	8,27	109,2	0,4	105	42	38,47
1505	1,25	0,00796	7,96	97,3	0,32	110	35,04	36,03
1509	1,15	0,00766	7,66	86,7	0,26	112	29,2	33,67
1503	1,06	0,00734	7,34	76,2	0,24	97	23,36	30,66
1501	0,98	0,00705	7,05	67,8	0,183	108	19,71	29,09

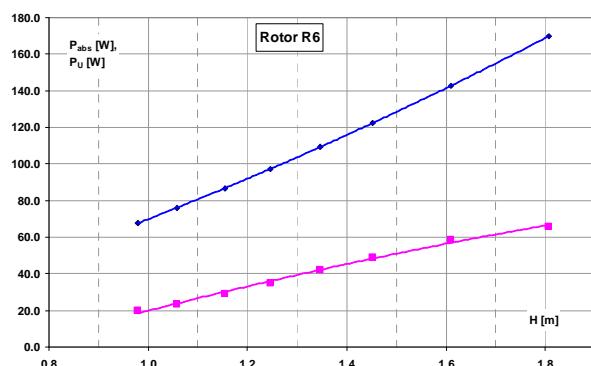


Fig. 6.26 Curbele $P_{abs}=f(H)$ și $P_u=f(H)$ pentru rotorul R6

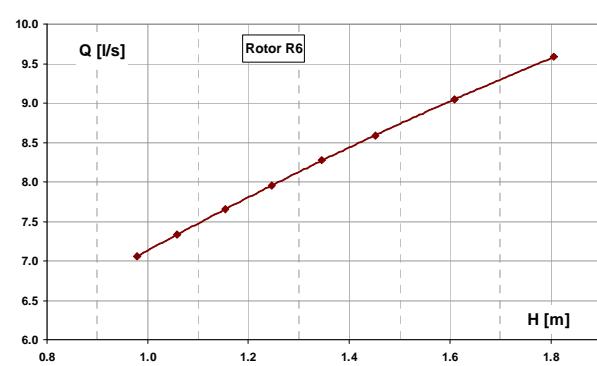


Fig. 6.27 Curba $Q_s=f(H)$ pentru rotorul R6

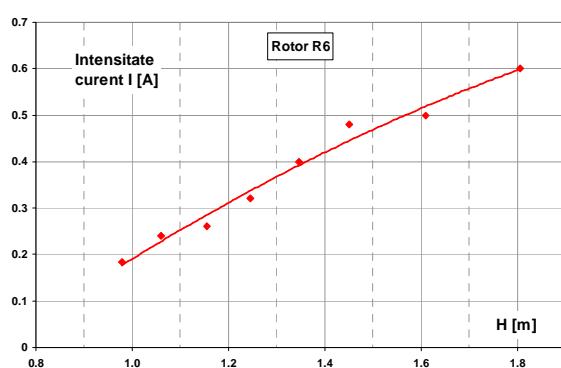


Fig. 6.28 Curba $I=f(H)$ pentru rotorul R6

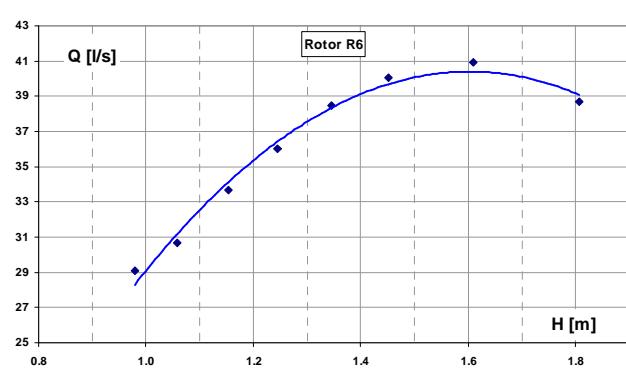


Fig. 6.29 Curba $\eta_{T+G}=f(H)$ pentru rotorul R6

Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți

Tabel 6.4

Mărimi măsurate pe microturbină axial-tubulară echipată cu rotorul R8

n	H	Q		P_{abs}	I	U	P_u	η_{T+G}
rpm	m	m³/s	l/s	W	A	V	W	%
1497	2,77	0,00923	9,23	251,3	0,6	180	108,0	42,98
1495	2,45	0,00868	8,68	208,6	0,5	192	96,0	46,01
1503	2,21	0,00824	8,24	178,6	0,48	178	85,2	47,71
1507	1,99	0,00783	7,83	153,1	0,4	183	73,2	47,82
1503	1,79	0,00742	7,42	130,2	0,32	180	57,6	44,24
1499	1,61	0,00704	7,04	111,6	0,26	185	48,0	43,02
1501	1,47	0,00673	6,73	99,0	0,24	175	42,0	42,42
1504	1,24	0,00618	6,18	84,0	0,183	177	32,4	38,57

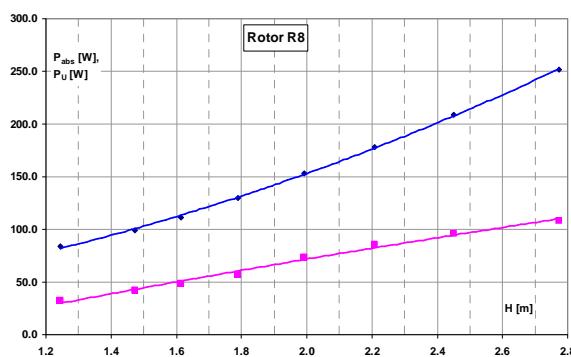


Fig. 6.30 Curbele $P_{abs}=f(H)$ și $P_u=f(H)$ pentru rotorul R8

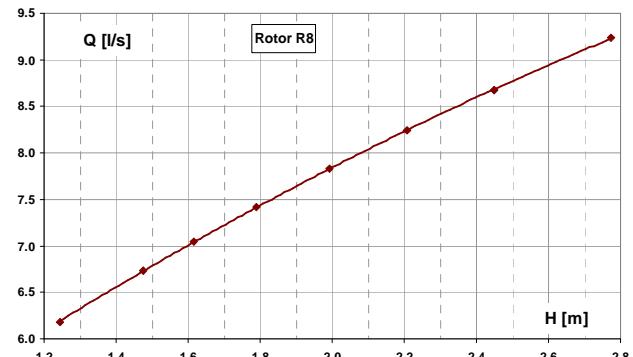


Fig. 6.31 Curba $Q_s=f(H)$ pentru rotorul R8

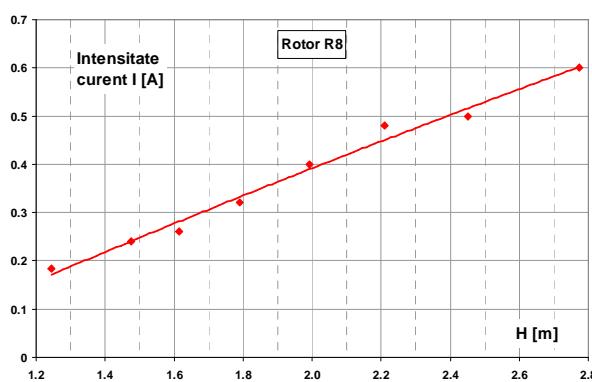


Fig. 6.32 Curba $I=f(H)$ pentru rotorul R8

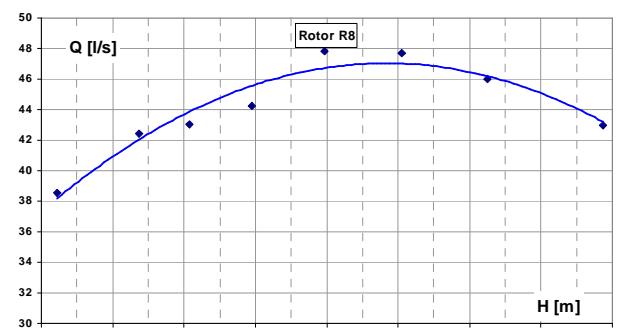


Fig. 6.33 Curba $\eta_{T+G}=f(H)$ pentru rotorul R8

6.5 Concluzii

Cercetările inițiale au vizat verificarea funcționalității rotorului magnetic, în varianta antrenării rotorului magnetic printr-un motor de curent continuu. Încercările preliminare efectuate pe un alternator echipat cu magneți permanenți au demonstrat posibilitatea generării curentului printr-un astfel de procedeu tehnic.

Rotorul magnetic în varianta finală care va echipa turbina axial-tubulară a fost încercat pentru măsurarea parametrilor, în varianta antrenării sale printr-un motor de curent continuu. S-au trasat caracteristicile: $U_{linie}=f(n)$ la mers în gol și în sarcină, $U_{linie}=f(P_{linie})$ respectiv $P_{linie}=f(n)$.

Încercările finale s-au efectuat pe turbina axial-tubulară echipată cu rotorul magnetic, conform proiectului, pentru cele 3 variante de rotor proiectate: R4, R6, R8.

A rezultat că domeniul de puteri furnizate la borne se încadrează între limitele 66,2 W ÷ 108,0 W, iar randamentele între limitele 28 % ÷ 51,98 %.

Randamentele sunt mici în comparație cu microturbinele actuale, deoarece prototipul microturbinei nu a fost prevăzut cu organe de reglare datorită dimensiunii reduse a prototipului; în cadrul prezentei teze s-a urmărit numai demonstrarea funcționalității soluției noi adoptate, care constă în cuplarea rotorului magnetic cu a rotorului axial și rotația acestora în interiorul statorului generatorului cu contact direct cu apa.

Soluția adoptată are evidente avantaje:

- eliminarea transmisiei cu roți dințate dintre rotorul axial și rotorul generatorului;
- configurație compactă și greutate redusă;
- întreținere ușoară;
- costuri reduse.

Cap. 7 CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.

DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR

7.1 Concluzii finale și contribuții personale

Obiectivul general al prezentei teze este investigarea experimentală a unei microturbine de tip axial-tubulară, echipată cu generator imersat cu magneți permanenți, concepută într-o nouă soluție constructivă, prin parcurgerea unui ciclu complet de proiectare / simulare / execuție / cercetare experimentală. Rezultatele tezei s-au concretizat prin:

- rezultate experimentale pentru mai multe variante de rotoare proiectate în cadrul tezei, care vor putea fi utilizate la proiectarea microturbinelor de tip axial;
- prototipul fizic al microturbinei, care va putea fi utilizat și în viitor la cercetări experimentale pe alte variante de geometrii ale rotoarelor, ca material didactic pentru lucrări de laborator sau ca material publicitar la expoziții și simpozioane.

Soluția constructivă a microturbinei este asemănătoare cu cea a turbinei Straflo, cu diferența esențială dată de poziția a statorului generatorului exterioară traseului hidraulic, față de care se impune o etanșare, care trebuie să asigure separarea trecerii apei între polii rotorului și ai statorului. Problema care apare în acest caz este dată de uzura și de durata scurtă de viață a etanșării datorită nisipului din apă presat de forța centrifugă în zona etanșării.

Soluția constructivă propusă în prezenta teză elimină aceste dezavantaje ale turbinei Straflo, deoarece statorul generatorului face parte din traseul hidraulic, etanșarea realizându-se prin inundarea acestuia cu răsină. În cadrul tezei nu s-a urmărit obținerea unor randamente ridicate, imposibil de atins la dimensiunile realizate ale microturbinei.

Optimizarea hidrodinamică și corelarea optimă cu partea electrică (stator generator+magneți permanenți) pe un prototip cu dimensiuni adecvate rămâne o problemă deschisă pentru un colectiv format din ingineri mecanici și electricieni. **Tabelul 7.1** prezintă realizările și contribuțiile obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza:

Tabel 7.1

Realizări și contribuții obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza

Obiectiv teză	Realizări obținute în cadrul tezei	Contribuții personale
Consultare bibliografică asupra microturbinelor de tip axial și alternative.	Sintetizarea rezultatelor actuale asupra turbinelor axiale și soluții alternative de generare a energiei.	<ul style="list-style-type: none"> Parcurgerea bibliografică a unui număr de 107 referințe bibliografice.
Proiectare hidrodinamică de variante de rotoare axiale.	<ul style="list-style-type: none"> Desene de execuție a 3 variante de rotoare. 	Proiectarea a 3 variante de rotoare axiale, cu 4, 6 respectiv 8 palete.
Proiectare constructivă microturbină axial-tubulară, echipată cu generator imersat cu magneți permanenți.	<ul style="list-style-type: none"> Proiectul de execuție al microturbinei. Desene de execuție a componentelor și ansamblului microturbinei. 	<ul style="list-style-type: none"> Elaborare proiect de execuție al microturbinei. Elementul de noutate este concretizat prin soluția de generare a energiei electrice, care utilizează un rotor magnetic cu magneți permanenți, plasat pe periferia rotorului axial, care se rotește în interiorul statorului generatorului, componente care vor fi în contact cu apa.
Simularea numerică a curgerii și ale microturbinei	<ul style="list-style-type: none"> Simularea curgerii prin traseul microturbinei, pentru a determina variația vitezei meridiane cu raza în zona rotorului, în absența paletajului rotoric. 	<ul style="list-style-type: none"> Calcul variație viteză meridiană cu raza în zona rotorului. Etapele de calcul pot fi aplicate la calcularea teoretică a vitezei meridiane pentru orice altă geometrie de traseu hidraulic.
Execuția componentelor microturbinei.	<ul style="list-style-type: none"> Prototip fizic microturbină. 	<ul style="list-style-type: none"> Execuție componente prototip prin procedee clasice și prototipare rapidă.

Tabel 7.1

Realizări și contribuții obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza

Obiectiv teză	Realizări obținute în cadrul tezei	Contribuții personale
Încadrarea microturbinei în standul experimental.	<ul style="list-style-type: none"> • Cercetări experimentale pe standul S.C. Hydro-Engineering S.A. Reșița. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rezultate experimentale pe microturbina axial-tubulară, cu aplicare imediată la proiectarea turbinelor axiale.
Cercetări experimentale derulate pe variante de rotoare.	<ul style="list-style-type: none"> • Participare la măsurători, efectuate pe 3 variante de rotoare. 	

8.2 Direcții viitoare de cercetare

Direcțiile viitoare de cercetare sunt următoarele:

- ✓ studierea și proiectarea unor soluții constructive alternative, care permit modificarea poziției paletelor aparatului director și/sau a rotorului;
- ✓ proiectarea și prototiparea rapidă a unor noi rotoare cu geometrie și număr de palete diferit;
- ✓ proiectarea unui stator generator special calculat pentru caracteristicile mașinii hidraulice;
- ✓ cercetări experimentale pe noile geometrii ale rotoarelor.

8.3 Diseminarea rezultatelor

Pe parcursul perioadei de doctorat am participat la o serie de conferințe naționale și internaționale în domeniul ingineriei mecanice. În urma participării la aceste activități științifice în cadrul căror am expus activitatea și rezultatele studiilor doctorale, au rezultat un număr de 9 lucrări publicate în proceedings-uri sau în reviste (3 indexate CNCSIS categoria B, 3 BDI, 2 indexate ISI și 1 la o conferință internațională) după cum urmează:

1. Nedelcu D., Nedeloni M. D., Daia D., Florea D., *Studiul numeric al concentratorului de tip racordare pentru o placă de secțiune dreptunghiulară supusă solicitării de întindere*, A XII-a Conferința Națională multidisciplinară-cu participare internațională „Profesorul Dorin

PAVEL-Fondatorul hidroenergeticii românesti”, ISSN: 2067-7138, Şebeş 2012 (indexată CNCSIS categoria B).

2. Nedelcu D., Avasiloaie R. C., Florea D., *Aplicarea ingineriei inverse pentru reconstrucția geometriei unui rotor*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, an XIII, vol. 23, pag. 411÷418, ISSN 2067-7138, București, 2013 (indexată CNCSIS categoria B).
3. Nedelcu D., Avasiloaie R. C., Florea D., *Studiul numeric al concentratorului de tensiune pentru o bară cu crestatură în „V” supusă solicitării de întindere*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, an XIII, vol. 23, pag. 531÷538, ISSN 2067-7138, București, 2013 (indexată CNCSIS categoria B).
4. Nedeloni M. D., Nedelcu D., Cîmpian V. C., Chiruș D., Avasiloaie R. C., Florea D., *Research regarding the Cavitation Erosion Resistance of the Stainless Steel with 13% Cr and 4% Ni used to manufacture the components of Kaplan, Francis and Pelton hydraulic turbines*, Constanta Maritime University Annals, vol. 19, pag. 129÷132, ISSN: 1582-3601 (BDI).
5. Nedelcu D., Avasiloaie R. C., Florea D., Rajic A., *Applications of the Rapid Prototyping Technology to manufacture the Pelton runner*, ANALELE UNIVERSITĂȚII “EFTIMIE MURGU”, an XX, nr. 1, ISSN: 1453-7397 (BDI)
6. Nedelcu D., Rajic A., Florea D., Avasiloaie R. C., *The Reverse Engineering of a Spring Support using the Noomeo Optimum 3D scanner and the Rapidform XOR3 software*, ANALELE UNIVERSITĂȚII “EFTIMIE MURGU”, an XX, nr. 1, ISSN: 1453-7397 (BDI).
7. Nedelcu D., Hopotă A., Florea D., *Microhydropower with permanent magnet generator and immersed runner*, 2nd edition of the THINK-HYDRO, International Conference, November 13-15, 2013, Resita, Romania.
8. Nedeloni, M. D., Potoceanu, N., Florea, D., Chirus, D., *Research through the Stationary Specimen Method of the X20Cr13 Stainless Steel used for Hydraulic Pumps*, Conferința internațională „The 15th International Symposium on Metallography (METALLOGRAPHY 2013)” și acceptată spre publicare în revista Materials Science Forum (indexata ISI) .
9. Potoceanu, N., Nedeloni, M. D., Chirus, D., Florea, D., *Research Regarding on Cavitation Erosion Behavior of the Antifriction Alloy YSn83*, Conferința internațională „The 15th International Symposium on Metallography (METALLOGRAPHY 2013)” și acceptată spre publicare în revista Materials Science Forum (indexata ISI).

BIBLIOGRAFIE

- [1] Alaris 30. *Operator Training Guide. Basic Course.* 2009.
- [2] Alixandrescu C., Bilan C., *Automatizarea microhidrocentralelor cu puteri sub 1 MW cu aplicare în regularizarea debitelor de alimentare cu apă a localităților*, INTERFEȚE – Lucrările Simpozionului național Think-Hydro 2011, 2-4 noiembrie 2011.
- [3] Anton, I., *Turbine hidraulice*, Editura Facla, Timișoara, 1979.
- [4] Anton L.E., Baya A., *Mașini și echipamente hidromecanice*, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2001.
- [5] Berce, P., Balc, N., Ancau, M., ş.a. - *Fabricarea rapida a prototipurilor*, Editura Tehnică, București, 2000.
- [6] Bobar D., Brânzan M., Păun S., Grădinaru C., *Evoluția turbinelor Francis orizontale destinate echipării microcentralelor*, INTERFEȚE – Lucrările Simpozionului național Think-Hydro 2011, 2-4 noiembrie 2011.
- [7] Boldea, I., *Conversia directă a energiei – Producerea directă a energiei electrice*, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara, 1977.
- [8] Bordeașu I., Bădărău R., Baciu I., Bordeașu C., *Asupra valorificării energiei vântului în România*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XII, vol. 21, pag. 375÷382, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2012.
- [9] Bosioc A. I., *Controlul curgerii cu rotație în conul tubului de aspirație al turbinelor hidraulice*, Teză de doctorat, Timișoara, ISSN 1842-4937, ISBN 978-606-554-252-5, 2011.
- [10] Bușea C., Hoța I., Grando I., *Soluții noi de microhidroaggregate axiale compacte având generatoare cu magneți permanenți*, INTERFEȚE – Lucrările Simpozionului național Think-Hydro 2011, 2-4 noiembrie 2011.
- [11] Cazan G., *Utilizarea surselor regenerabile de energie în România*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XI, vol. 20, pag. 49÷56, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2011.
- [12] Anton, I., Câmpian, V., Carte, I., *Hidrodinamica turbinelor bulb și a turbinelor-pompe bulb*, Editura Tehnică, București, 1988.
- [13] Câmpian, V., *Contribuții la studiul și realizarea rotoarelor de mașini hidraulice axiale și axiale reversibile*, Teză de doctorat, Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara, 1978.

- [14] Câmpian V. C., *Curs general de turbopompe*, Editura Eftimie Murgu, ISBN 973-99416-8-0, Reșița, 2000.
- [15] Câmpian V. C., *Turbină hidraulice de mică putere și microturbine. Principii de funcționare. Soluții constructive*, Editura Orizonturi Universitare, ISBN 973-638-036-X, Timișoara, 2003.
- [16] Câmpian, C.V. *Performanțele turbinelor vechi și retehnologizate de la hidrocentrala Porțile de Fier I*, Editura „Eftimie Murgu” Reșița, 1999.
- [17] Cogălniceanu D., *Ecologie și protecția mediului*, Ministerul Educației și Cercetării, ISBN 978-973-0-04811-7, 2007.
- [18] Constantin A.T., David I., Chebuțiu A., Nicoară Ş.V., Vișescu M., *The possibility of fitting a pumped storage plant within the complex water development on upper Barzava Romania*, 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2010.
- [19] Coșoiu C.I., *Contribuții la optimizarea proiectării și funcționării agregatelor eoliene*, Teză de doctorat, București, 2008.
- [20] Deac C.D., *Oportunitatea utilizării energiei solare în România*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XII, vol. 21, pag. 365÷370, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2012.
- [21] Deac C., Marina A.M., Biriş I., *Valorificarea resurselor eoliene în România*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XI, vol. 20, pag. 139÷146, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2011.
- [22] Dobândă, E., Bărglăzan, M., *The dynamic behaviour of hydraulic drives using transfer matrix*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Tomul XLVII (LI), 2001.
- [23] Dordea, T., §.a., *Memoriu protest privind vânzarea, prin listare la Bursă, a unor active din patrimoniul deținut de S.C. Hidroelectrica S.A. – proprietate a Poporului Român*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, volumul 23, pag. XXIV÷XXIX, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2013.
- [24] Dordea, S., Zburlea, E., *Active steering-electric thrusters*, Constanta Maritime University Annals, Year XI, Vol. 14, Editura NAUTICA, ISSN 1582 – 3601, Constanța, 2010.
- [25] Dordea, S., Zburlea, E., *Electric Drives for azimuth propulsors*, Constanta Maritime University Annals, Year XI, Vol. 14, Editura NAUTICA, ISSN 1582 – 3601, Constanța, 2010.
- [26] Dordea, S., Zburlea, E., *Active steering by 4 electric thrusters*, Constanta Maritime University Annals, Year XI, Vol. 15, Editura NAUTICA, ISSN 1582 – 3601, Constanța, 2011.
- [27] Dordea, S., Zburlea, E., *Electric propulsion with turbo generators*, Constanta Maritime University Annals, Year XI, Vol. 15, Editura NAUTICA, ISSN 1582 – 3601, Constanța, 2011.
- [28] Dordea, S., Nedelcu, E., *Quantifying harmonic distortion*, Constanta Maritime University Annals, Year XI, Vol. 18, Editura NAUTICA, ISSN 1582 – 3601, Constanța, 2012.

- [29] Ferro L.M.C., Gato L.M.C., Falcao A.F.O., *Design and experimental validation of the inlet guide vane system of a mini hydraulic bulb-turbine*, Renewable Energy, no. 35, pag. 1920÷1928, 2010.
- [30] Gaden D., *An Investigation of River Kinetic Turbines: Performance Enhancements, Turbine Modelling Techniques, and a Critical Assessment of Turbulence Models*, University of Manitoba.
- [31] Gaiță, M.-E., *Aspecte privind riscul asociat proiectelor de microhidrocentrale*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2011.
- [32] Georgescu A.M., Georgescu S.C., Cosoiu C.I., Alboiu N., Hamzu A., *Velocity field in the wake of a hydropower farm equipped with Achard turbines*, 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2010.
- [33] Gillich N., Piroi I., *Producerea, transportul și distribuția energiei electrice*, Editura Eftimie Murgu, ISBN 978-973-1906-39-3, Reșița, 2009.
- [34] Gurzău D.I., Nechita A., Biriş I., *Aspecte privind valorificarea energiei geotermale în România*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XI, vol. 20, pag. 107÷114, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2011.
- [35] Hopotă A., Grando I., *Microhidroaggregate cu puteri până la 5 kW cu funcționare în sistem izolat*, INTERFEȚE – Lucrările Simpozionului național Think-Hydro 2011, 2-4 noiembrie 2011.
- [36] Ion I., Câmpian C.V., Cuzmoș A., Dumbravă C., *Necesitatea evaluaării potențialului încă din fază incipientă a demarării unei investiării în domeniul energiei eoliene*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XI, vol. 20, pag. 153÷160, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2011.
- [37] Ibrahim A.B., *Wind Turbines*, Editura InTech, ISBN 978-953-307-221-0, Rijeka, Croatia, 2011.
- [38] Kim B.S., Bae S.Y., Kim W.J., Lee S.L., Kim M.K., *A study on the design assessment of 50kW ocean current turbine using fluid structure interaction analysis*, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2012.
- [39] Kovalev, N.N., *Turbine hidraulice. Construcții și probleme de proiectare*, Editura Mașinostroienie, Leningrad, 1971.
- [40] Kueny J.L., Lalande T., Herou J.J., Term L., *Optimal design of a tidal turbine*, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2012.

- [41] Lala P., Pellac A., *Microhidrocentrale – Soluții aplicate și realizări generatoare și echipament electric*, INTERFEȚE – Lucrările Simpozionului național Think-Hydro 2011, 2-4 noiembrie 2011.
- [42] Lăcătușu V., Exarhu M., *Turbine Hidraulice*, Societatea Comercială de Formare a Energeticienilor din România („FORMENERG” – S.A.), 2005.
- [43] Lăcătușu V., Paveliu I., *Exploatarea echipamentelor și instalațiilor mecanice din centralele hidroelectrice (stavile, vane, pompe, compresoare, turbine, instalații auxiliare)*, Societatea Comercială de Formare a Energeticienilor din România („FORMENERG” – S.A.), 2009.
- [44] Luminosu I., *Fenomene termice și aplicații ale conversiei termosolare*, Editura Politehnica, ISBN 978-973-625-423-9, Timișoara, 2007.
- [45] Mânzat, A., Deac, C. D., *Oportunitatea utilizării energiei solare în România*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, volumul 21, pag. 365÷370, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2012.
- [46] Mercea, V., §.a., *Investigații în domeniul energiei* – Volumul I, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1982.
- [47] Mihăileanu, C., §.a., *Energia în următoarele trei decenii*, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, 1979.
- [48] Mindak R.T., Deac C.D., *Energia eoliană în contextul dezvoltării durabile*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XII, vol. 21, pag. 383÷390, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2012.
- [49] Nedelcu, D., *Proiectare și simulare numerică cu SOLIDWORKS*, Editura Eurostampa, Timisoara, ISBN 978-606-569-276-3, 2011.
- [50] Nedelcu, D., *Modelarea matematică a fenomenelor hidrodinamice cu aplicație la proiectarea asistată de calculator a turbinelor și turbinelor-pompe axiale și radial-axiale*, Teză de doctorat, Universitatea “Politehnica“ din Timișoara, 1996.
- [51] Nedelcu, D., Hopota, A., Florea, D., *Microhydropower with permanent magnet generator and immersed Runner*, The 2nd edition of the THINK-HYDRO.com Conference, Reșița, 2013.
- [52] Nedelcu, D., Avasiloaie, R., Florea, D., *Aplicarea ingineriei inverse pentru reconstructia unui rotor*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE”, An XIII, Vol. 23, ISSN 2067-7138, București, 2013.
- [53] Nedelcu, D., Avasiloaie, R., Florea, D., Rajic, A., *Applications of the Rapid Prototyping Technology to Manufacture the Pelton Runners*, ANALELE UNIVERSITĂȚII “EFTIMIE MURGU” REȘIȚA, ANUL XX, NR. 1, ISSN 1453 – 7397, 2013.

- [54] Nedelcu, D., Rajic, A., Florea, D., Avasiloaie, R., *The Reverse Engineering of a Spring Support using the Noomeo Optimum 3D Scanner and the Rapidform XOR3 Software*, ANALELE UNIVERSITĂȚII “EFTIMIE MURGU” REȘIȚA, ANUL XX, NR. 1, ISSN 1453 – 7397, 2013.
- [55] Nedeloni M.D., *Cercetări privind eroziunea cavitatională pe materiale utilizate la fabricația componentelor de turbine hidraulice*, Teză de doctorat, Universitatea Eftimie Murgu Reșița, Decembrie, 2012.
- [56] Oprea T., Naianu B., Ionescu M., Popescu E., Lacatusu T., *Creșterea performanțelor energetice ale CHE Porțile de Fier I prin retehnologizarea și monitorizarea echipamentelor*, Forumul Regional al Energiei – FOREN 2008, Neptun, 15 – 19.06.2008.
- [57] Pavlov D., Mircea L., Sălcianu C.L., *Utilizarea energiei vântului în România*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XI, vol. 20, pag. 147÷152, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2011.
- [58] Piroi I., *Utilizarea energiei electrice*, Editura Eftimie Murgu, ISBN 978-973-1906-27-0, Reșița, 2009.
- [59] Piroi I., Cziple F., Pomoja F., *Conversia enrgiei regenerabile a apei, pământului și a deșeurilor organice*, Colecția ORIZONTURI TEHNICE, Editura Eftimie Murgu, ISBN 978-973-1906-86-7, Reșița, 2010.
- [60] Pomoja, F., *Contribuții privind îmbunătățirea performanțelor tehnice ale turbinelor cu flux transversal cu puterea sub 10 kW*, Teză de doctorat, Universitatea Eftimie Murgu Reșița, Decembrie, 2012.
- [61] Pomoja F., *Comportamentul unui microhidro-agregat cu turbine cross-flow de 10kW, în funcție de înălțimea de cădere a apei, la unghiuri de deschidere ale paletei constante*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XII, vol. 22, pag. 63÷70, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2012.
- [62] Pomoja F., *Comportamentul unui micro-hidroagregat cu turbine cross-flow de 10kW, în funcție de unghiul de deschidere al paletei directoare, la aceeași înălțime de cădere a apei*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XII, vol. 22, pag. 71÷78, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2012.
- [63] Popa, O., *The Determination of a General Relation between the Aerodynamic Properties of a Single Airfoil and those of the same Airfoil Arranged in an Arbitrary Cascade*, Proc. of the Fourth Conference on Fluid Machinery, Budapest, 1972.
- [64] Popovociu M. O., Bordeașu I., *Necesitatea valorificării micropotențialului hidraulic în România*, Buletinul AGIR – Energii alternative, nr.3, ISSN-L 1224-7928, pag. 62÷68, iulie-septembrie, 2007.

- [65] Prodan, M., *Utilizarea energiei electrice*, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara, 1979.
- [66] Quilisch A., *Object Oriented Modelling and Simulation of Kaplan Turbines*, Masters' Degree Project Stockholm, Sweden, February 2008.
- [67] Robescu D., Naianu B.P., *Pompe, ventilatoare, suflante și compresoare*, Editura AISTEDA, București, 2002.
- [68] Shigemitsu T., Fukutomi J., Kaji K., Wada T., *Performance and internal flow condition of mini centrifugal pump with splitter blades*, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2012.
- [69] Soenoko R., Rispiningtati, Sutikno D., *Prototype of a Twin Kinetic Turbine Performance as a Rural Electrical Power Generation*. J. Basic. Appl. Sci. Res., ISSN 2090-424X.1(10)1686-1690, 2011.
- [70] Spînu I., Deac C.D., *Valorificarea energiei valurilor*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XII, vol. 21, pag. 403÷410, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2012.
- [71] Stematiu, D., *Amenajări hidroenergetice*, Editura CONSPRESS, București, 2008.
- [72] Stroîță D.C., *Identificarea dinamică a turbinelor cu dublu flux*, Teză de doctorat, Timișoara, ISSN 1842-4937, ISBN 978-973-625-902-9, 2009.
- [73] Swiderski J., *Recent approach to refurbishments of small hydro projects based on numerical flow analysis*, Small Hydro Workshop. Montreal 2004.
- [74] Tiago Filho G.L., Braga da Silva F. das G., Mambelli Barros R., Guimarães L.M., Passos e Silva B.O., *Development of a hydrokinetic device for the generation of electricity suitable for low - speeds Hidropólio®*, 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2010.
- [75] Tiago Filho G.L., Souza Z., Bardelli de Rossi C.A., Mambelli Barros R., Braga da Silva F. das G., “*Poraque*” *hydrokinetic turbine*, 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2010.
- [76] Ursu I., Mercea V., Groșanu L., Mircioiu C., Văsaru G., *Investigații în domeniul energiei – Volumul I*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1982.
- [77] Vasiliu N., Vasiliu D., Seteanu I., Rădulescu V., *Mecanica fluidelor și sisteme hidraulice. Fundamente și aplicații - Vol.II*, Editura Tehnică Universitară, ISBN 973-31-1316-6, București, 1999.
- [78] Velicescu, C., *Ingineria sistemelor de producere și distribuție a energiei electrice*, Ediție revizuită, Editura Politehnica, Timișoara, 2005.

- [79] Vințan, M., *Producerea, transportul și distribuția energiei electrice*, Editura Matrix Rom, București, 2009.
- [80] Wang J., Vagani M., Müller N., *Design of Composite Water Turbine in free Stream Using CFD*, Proceedings of IMECE 2010, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Vancouver, British Columbia, USA, 12-18 November, 2010.
- [81] Wiemann P., Müller G., Senior J., *Review of current developments in low head, small hydropower*, 32nd IAHR Conference, Venice, Italy, 01 - 06 July 2007.
- [82] Yuan H.J., Shao J., Wu Y.L., Liu S.H., *Experiment of a centrifugal pump during changing speed operation*, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2012.
- [83] Zhuang B., Luo X., Zhang Y., Wang X., Xu H., Nishi M., *Design optimization for a shaft-less double suction mini turbo pump*, 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2010.
- [84] Zhu G.J., Guo P.C., Luo X.Q., Feng J.J., *The multi-objective optimization of the horizontal-axis marine current turbine based on NSGA-II algorithm*, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2012.
- [85] Zou W.J., Zhao J., Wang P.W., Hu S.G., *Numerical simulation of three-dimensional flow field of a paddle-spiral ribbon impeller*, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2012.
- [86] Zsembinski A., Bolovedea M., *Tehnologii moderne de prelucrare a părților profilate din compoziția microhidroagregatelor fabricate în HYDRO-ENGINEERING*, INTERFETE – Lucrările Simpozionului național Think-Hydro 2011, 2-4 noiembrie 2011.
- [87] *** Boronat E., *HYDRO POWER*.
- [88] *** Universul Ingineresc, Anul XXIV, Nr. 15 (541), ISSN 1223-0294, Editura AGIR, București, 2013.
- [89] *** European Small Hydropower Association (ESHA), *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*, 2004.
- [90] *** An Engineer's Perspective by Steve E. Dalton, Clean Energy Solutions Ltd. *Low Head Hydro Technologies and the need for greater uptake and implementation in the UK*.
- [91] *** *Hydro Turbine*.
- [92] *** *Development, installation and testing of a large-scale tidal current turbine*, T/06/00210/00/REP URN 05/1698.
- [93] *** *EPRI Final Survey and Characterization Tidal in Stream Energy Conversion (TISEC) Devices*.



*Cercetări teoretice și experimentale pe o microturbină
axial-tubulară echipată cu generator imersat cu magneți permanenți*

- [94] *** Glen B. Darous, *Clean Current Power Systems Incorporated*, OREG Fall Symposium 2007.
- [95] *** SN „NUCLEARELECTRICA” SA, Raport Anual 2008.
- [96] *** HIDROELECTRICA S.A., Raport Anual 2011.
- [97] *** Universul Ingineresc, Anul XXIII, Nr. 5 (507), Editura AGIR, ISSN 1223-0294, 1-15 martie 2012.
- [98] *** Universul Ingineresc, Anul XXIII, Nr. 14 (516), Editura AGIR, ISSN 1223-0294, 16-31 iulie 2012.
- [99] *** Universul Ingineresc, Anul XXIII, Nr. 16 (518), Editura AGIR, ISSN 1223-0294, 16-31 august 2012.
- [100] *** Water Current Turbines for River Applications, Technology Evaluation of Existing and Emerging Technologies.
- [101] *** World Renewable Energy Congress – Sweden, Volume 6 - Hydropower Applications, ISBN 978-91-7393-070-3, 2011.
- [102] www.andritz.com
- [103] www.cchapt.ro
- [104] www.energie-gratis.ro
- [105] www.hidroelectrica.ro
- [106] www.microhydropower.com
- [107] www.ucmr.ro

Microturbina axial tubulară cu generator cu magneti permanenti imersat (Microhydropower with permanent magnet generator and immersed runner)

