



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
din BUCUREȘTI

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Investește în oameni!

Programul Operațional 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 REȘIȚA

Facultatea de Inginerie și Management

Departamentul de Mecanică și Ingineria Materialelor

Nr. Decizie Senat 993 din 25.11.2013

TEZĂ DE DOCTORAT

*Cercetări teoretice și experimentale privind microturbine
de înaltă cădere și debite mici*

*Theoretical and experimental research on microturbines
for high head and low discharges*

Autor: ing. dipl. Raoul-Cristian AVASILOAIE

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 Bordeășu	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 Cămpian	de la	Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița

Reșița 2013

PREFAȚĂ

Prezenta teză de doctorat intitulată “*Cercetări teoretice și experimentale privind microturbine de înaltă cădere și debite mici*”, reprezintă o sinteză a activității de cercetare teoretică și experimentală efectuată de către autor în domeniul microturbinelor de înaltă cădere și debite mici. Teza parcurge un ciclu complet de proiectare constructiv-funcțională / simulare / execuție / cercetare experimentală, obiectul supus cercetării fiind o microturbină Pelton.

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 de înaltă cădere și debite mici.

Capitolul 2 prezintă obiectivele tezei de doctorat.

Capitolul 3 investighează principalii parametri ai turbinelor Pelton și prezintă grafice respectiv exprimări matematice ale acestora, obținuți prin prelucrarea statistică a parametrilor turbinelor existente, cu aplicabilitate la proiectarea acestor turbine.

Capitolul 4 descrie succint aplicația „PeltonDesign”, elaborată în limbajul de programare Python, concepută pentru proiectarea rotoarelor Pelton, care oferă următoarele rezultate: calculul parametrilor rotorului, calculul geometriei cupei, a secțiunilor transversale și longitudinale, exportul tuturor mărimilor calculate către Microsoft Excel și crearea fișierelor de date pentru generarea geometriei cupei și a rotorului în SolidWorks. Utilizând această aplicație, s-au proiectat 2 variante de rotoare Pelton cu diametrul caracteristic $D=400$ mm, rotorul V1 cu 21 de cupe respectiv rotorul V2 cu 19 cupe. Geometria cupei rotorului V2 a fost scalată cu factorul 21/19 pe direcțiile X, Y și Z, menținând același diametru caracteristic. Pentru aceste rotoare, au fost proiectate 3 variante de injectoare (diuză și ac injector) cu diametrul de ieșire de $\Phi 13,3$ mm, $\Phi 14,8$ mm și $\Phi 16,3$ mm. Capitolul se finalizează prin descrierea constructiv funcțională a ansamblului și a componentelor microturbinei, care se vor constitui într-un stand experimental pentru încercarea rotoarelor Pelton proiectate.

Capitolul 5 se concentrează pe simularea numerică a curgerii jetului liber, utilizând modulul Flow Simulation, integrat în SolidWorks, obiectivele fiind de a calcula caracteristica de debit respectiv caracteristica de forță a injectorului, pentru injectoarele cu diametrele de ieșire ale diuzei : $d=13,3$ mm, $d=14,8$ mm, $d=16,3$ mm. De asemenea, se prezintă rezultatele calculului de rezistență pentru cupa rotorului Pelton, utilizând modulul Simulation integrat în SolidWorks.

Capitolul 6 prezintă aspecte referitoare la prototiparea rapidă a unor componente ale microturbinei. Dintre componentele microturbinei, s-au executat prin tehnologia de prototipare rapidă componentele cu geometrie mai complexă, respectiv: etanșările mobile, două variante de rotor și trei variante de injectoare, compuse din trei diuze și trei ace injectoare, cu diametrele de ieșire ale diuzei : $d=13,3$ mm, $d=14,8$ mm, $d=16,3$ mm.

Capitolul 7 se refera la rezultatele cercetărilor experimentale efectuate asupra microturbinei Pelton, obținute în urma încadrării microturbinei în standul de cercetări microturbine al firmei S.C. Hydro-Engineering S.A. Reșița.

Capitolul 8 prezintă concluzii finale, contribuții personale, direcții viitoare de cercetare și diseminarea rezultatelor.

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



Cercetări teoretice și experimentale privind microturbine de înaltă cădere și debite mici

Teza se întinde pe 153 pagini și conține: 240 figuri (inclusiv poze), 36 tabele, 60 relații și 100 referințe bibliografice.

Doresc să-mi exprim pe această cale, profunda mea recunoștință conducătorului științific, domnului prof. dr. ing. Dorian Nedelcu, pentru orientarea și îndrumarea în munca de cercetare și pentru analiza cu înalt profesionalism a conținutului lucrării.

De asemenea, doresc să mulțumesc doamnei rector prof. dr. ing. Doina Frunzăverde, pentru suportul și condițiile oferite pe durata derulării activităților de doctorat.

Un cuvânt de mulțumire adresez domnului prof. dr. ing. Constantin Viorel Câmpian, manager general al centrului de cercetare Centrul de Cercetari în Hidraulică, Automatizări și Procese Termice din Reșița (CCHAPT), pentru asigurarea din resursele centrului, cu tehnica necesară efectuării măsurărilor.

Mulțumesc domnilor : prof. dr. ing. Ilare Bordeasu și prof. dr. ing. Mircea Bărglăzan, din cadrul Universității “Politehnica” din Timișoara, care m-au onorat acceptând să facă parte din comisia de doctorat.

Adresez mulțumiri colegilor de la Facultatea de Mecanică și Ingineria Materialelor care au participat la examenele și referatele susținute, aducând observații și sugestii utile în vederea îmbunătățirii conținutului tezei: domnului prof. dr. ing. Constantin Viorel Câmpian, domnului prof. dr. ing. Gilbert-Rainer Gillich, domnului conf. Călin Micloșină.

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 Universitatea „Eftimie Murgu” care au fost alături de mine și m-au ajutat să finalizez teza de doctorat: domnului prof. dr. ing. Gheorghe Liuba din cadrul centrului CCHAPT, domnului ing. Nedelea Valentin, dr. ing. Mitulețu Cornel, șef de lucrări dr. ing. Vasile Cojocar, asist. dr. ing. Nedeloni Marian Dumitru, cercetătorilor drd. ing. Cosmin Dumbrovă respectiv drd. ing. Adrian Cuzmoș, precum și tehnicianului Nicolae Trulea.

Mulțumesc de asemenea domnului dr. ing. Silviu-Dan Avram pentru ajutorul acordat la execuția componentelor microturbinei Pelton.

Un cuvânt de mulțumire adresez domnului director Adrian Preda, pentru acceptul de a efectua cercetările experimentale pe standul S.C. Hydro Engineering S.A. Reșița. Mulțumesc de asemenea domnului ing. Adrian Hopotă, de la S.C. Hydro Engineering S.A. Reșița, de a căror colaborare și competență am beneficiat pe parcursul elaborării tezei. De asemenea , mulțumesc d-lui sing. Cervenka Dietmar pentru colaborarea acordată pe durata experimentărilor.

În final , aduc mulțumiri familiei mele , pentru înțelegerea și sprijinul acordat pe întreg parcursul elaborării acestei teze de doctorat.

Reșița, 2013

Drd. ing. Avasiloaie Raoul Cristian

CUPRINS

Listă figuri	6
Listă tabele	14
Listă notații	16
Cap. 1 STADIUL ACTUAL PRIVIND REALIZĂRILE DIN DOMENIUL MICROTURBINELOR DE ÎNALTĂ CĂDERE ȘI DEBITE MICI	18
1.1 Generalități	18
1.2 Utilizarea surselor regenerabile de energie	18
1.3 Energia electrică obținută în hidrocentrale	18
1.4 Noțiuni despre turbinele hidraulice de tip Pelton	23
1.5 Realizări în domeniul turbinelor și microturbinelor Pelton moderne	27
Cap. 2 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	34
Cap. 3 MĂRIMI CARACTERISTICE ALE TURBINELOR PELTON	35
3.1 Parametrii principali ai turbinelor Pelton	35
3.2 Domeniul de funcționare al turbinelor Pelton	45
3.3 Forma și dimensiunile principale ale cupei Pelton	48
3.4 Forma și dimensiunile principale ale injectorului	49
3.5 Caracteristicile de debit și de forță ale injectorului	51
3.6 Concluzii	52
Cap.4 PROIECTAREA CONSTRUCTIVĂ A MICROTURBINEI PELTON ȘI A UNOR VARIANTE DE ROTOARE, DIUZE ȘI ACE INJECTOARE	53
4.1 Aplicația “PeltonDesign” pentru proiectarea de rotoare Pelton	53
4.2 Proiectarea a două variante de rotoare Pelton	58
4.3 Proiectare variante de injectoare $\Phi 13,3$, $\Phi 14,8$, $\Phi 16,3$ mm	61
4.4 Descrierea constructiv funcțională a componentelor microturbinei	63
4.5 Concluzii	70
Cap. 5 SIMULAREA NUMERICĂ A CURGERII SI CALCULE DE REZISTENȚĂ A ELEMENTELOR COMPONENTE ALE MICROTURBINEI PELTON	71
5.1 Introducere	71
5.2 Simularea numerică a curgerii jetului liber	71
5.3 Calcularea caracteristicilor de debit/forță a injectorului $\Phi 16,3$ mm	75
5.4 Calcularea caracteristicilor de debit/forță a injectorului $\Phi 14,8$ mm	82
5.5 Calcularea caracteristicilor de debit/forță a injectorului $\Phi 13,3$ mm	89
5.6 Calcularea distribuției vitezei axiale și a presiunii pentru injectorul $\Phi 16,3$ mm	96
5.7 Calculul de rezistență a cupei rotorului Pelton	106
5.8 Concluzii	108
Cap. 6 PROTOTIPAREA RAPIDĂ A COMPONENTELOR MICROTURBINEI	109
6.1 Introducere	109
6.2 Echipamentul de prototipare rapidă	109



*Cercetări teoretice și experimentale privind microturbine
de înaltă cădere și debite mici*

6.3 Prototiparea rapidă a rotorului V1	110
6.4 Prototiparea rapidă a rotorului V2	114
6.5 Prototiparea rapidă a acelor injectoare, diuzelor și etanșărilor mobile	117
6.5 Concluzii	121
Cap. 7 CERCETARI EXPERIMENTALE PE MICROTURBINA PELTON	122
7.1 Descrierea standului și a aparaturii de măsură	122
7.2 Descrierea metodologiei de măsură și a relațiilor de calcul	126
7.3 Rezultate experimentale	129
7.4 Concluzii	138
Cap. 8 CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR	140
8.1 Concluzii finale și contribuții personale	140
8.2 Direcții viitoare de cercetare	143
8.3 Diseminarea rezultatelor	143
BIBLIOGRAFIE	145
ANEXĂ – ansamblul microturbinei, în format A3 color	153

LISTĂ FIGURI

Figura	Denumire	Pag.
1.1	Metodele de producere a energiei electrice	19
1.2	Sursele de obținere a energiei electrice la nivel mondial	20
1.3	Sistemul energetic	22
1.4	Schema unei amenajări hidroenergetice	23
1.5	Schemă cu derivația realizată de conducta forțată	24
1.6	Schemă cu derivația realizată de canalul de aducțiune	24
1.7	Schema unei microhidrocentrale de joasă cădere realizată prin derivare	24
1.8	Schema unei microhidrocentrale tip baraj	24
1.9	Roata Pelton originală	26
1.10	Imagini ale unei mori ciutură	26
1.11	Hidrocentrala Grebla	26
1.12	Centrala Crăiniceș	26
1.13	Dimensiunile principale ale rotorului turbinei Pelton	28
1.14	14 Imagini corespunzătoare articolelor consemnate în tabelul 1.9	32
1.15	Microturbine cu rotor Pelton experimentate de diverși autori	33
3.1	Dependența raportului D_1/d_o funcție de cădere $D_1/d_o=f(H)$	38
3.2	Dependența turației unitare funcție de cădere $n_{11}=f(H)$	38
3.3	Dependența debitului unitar funcție de cădere $Q_{11}=f(H)$	38
3.4	Dependența turației specifice funcție de cădere $n_s=f(H)$	39
3.5	Dependența numărului de palete funcție de cădere $Z=f(H)$	39
3.6	Dependența numărului de palete funcție de raportul D_1/d_o $Z=f(D_1/d_o)$	39
3.7	Dependența numărului de palete funcție de turația specifică $Z=f(n_s)$	40
3.8	Dependența debitului unitar optim funcție de raportul d_o/D_1 $Q_{11\ opt}=f(d_o/D_1)$	41
3.9	Dependența turației specifice optime funcție de raportul d_o/D_1 $n_{s\ opt}=f(d_o/D_1)$	41
3.10	Diagrama de selecție a numărului de injectoare „i”	44
3.11	Diagrama universală a unei turbine Pelton	44
3.12	Domeniul de funcționare al turbinelor standard	45
3.13	Domeniul de funcționare al turbinelor standard	46
3.14	Cote principale ale turbinelor Ganz Holding	46
3.15	Domeniul de funcționare al turbinelor cu acțiune după Georgescu	47
3.16	Domeniul de funcționare al microturbinelor după Paish	47
3.17	Elementele cupei Pelton	48
3.18	Dimensiuni principale ale cupei Pelton	48

Figura	Denumire	Pag.
3.19	Dimensiuni caracteristice ale cupei Pelton după [59]	48
3.20	Profil injector cu grad mediu de compresiune ($\gamma = 80^\circ$, $\alpha = 54^\circ$)	50
3.21	Profil injector cu grad mic de compresiune ($\gamma = 60^\circ$, $\alpha = 45^\circ$)	50
3.22	Profil injector - varianta 1	50
3.23	Profil injector - varianta 2	50
3.24	Profil injector - varianta 3	51
3.25	Caracteristica de forță	51
3.26	Caracteristica de debit a injectorului	51
4.1	Mărimi caracteristice ale cupei	54
4.2	Vedere 3D a cupei Pelton	54
4.3	Muchia de ieșire și conturul exterior al cupei	54
4.4	Profilarea $Z_{si}=f(X)$ și $Z_{se}=f(X)$ a suprafeței interioare/exterioare a cupei Pelton pentru secțiunile A, G, B	54
4.5	Profilarea $Z_{se}=f(Y)$ a suprafeței exterioare a cupei Pelton	55
4.6	Profilarea $Z_{si}=f(Y)$ a suprafeței interioare a cupei Pelton	55
4.7	Fereastra principală a aplicației „PeltonDesign”	56
4.8	Fereastra „Rotire 3D” a aplicației „PeltonDesign”	56
4.9	Secțiune transversală S1 prin cupă	57
4.10	Secțiune transversală S2 prin cupă	57
4.11	Secțiune transversală S3 prin cupă	57
4.12	Secțiune transversală S4 prin cupă	57
4.13	Secțiune transversală S5 prin cupă	57
4.14	Secțiune longitudinală A prin cupă	57
4.15	Secțiune longitudinală B prin cupă	57
4.16	Secțiune longitudinală G prin cupă	57
4.17	Geometria 3D a rotorului V1 cu 21 cupe	58
4.18	Geometria 3D a rotorului V2 cu 19 cupe	58
4.19	Profilarea $Z_{si}=f(Y)$ și $Z_{se}=f(Y)$ a cupei Pelton pentru secțiunea S1 a rotoarelor V1 și V2	59
4.20	Profilarea $Z_{si}=f(Y)$ și $Z_{se}=f(Y)$ a cupei Pelton pentru secțiunea S2 a rotoarelor V1 și V2	59
4.21	Profilarea $Z_{si}=f(Y)$ și $Z_{se}=f(Y)$ a cupei Pelton pentru secțiunea S3 a rotoarelor V1 și V2	59
4.22	Profilarea $Z_{si}=f(Y)$ și $Z_{se}=f(Y)$ a cupei Pelton pentru secțiunea S4 a rotoarelor V1 și V2	59
4.23	Profilarea $Z_{si}=f(Y)$ și $Z_{se}=f(Y)$ a cupei Pelton pentru secțiunea S5 a rotoarelor V1 și V2	59

Figura	Denumire	Pag.
	V2	
4.24	Geometria 3D a cupei Pelton	59
4.25	Desen de execuție rotor Pelton	60
4.26	Diuza d=13,3 mm	61
4.27	Diuza d=14,8 mm	61
4.28	Diuza d=16,3 mm	61
4.29	Dimensiuni diuză d=13,3 mm	61
4.30	Dimensiuni diuză d=14,8 mm	61
4.31	Dimensiuni diuză d=16,3 mm	62
4.32	Ac injector d=13,3 mm	62
4.33	Dimensiuni ac injector d=13,3 mm	62
4.34	Ac injector d=14,8 mm	62
4.35	Dimensiuni ac injector d=14,8 mm	62
4.36	Ac injector d=16,3 mm	62
4.37	Dimensiuni ac injector d=16,3 mm	62
4.38	Identificare componente în ansamblul microturbinei Pelton	63
4.39	Ansamblul explodat al microturbinei Pelton	64
4.40	Placă de bază	64
4.41	Carcasă inferioară	65
4.42	Carcasă superioară	66
4.43	Țeavă de legătură	66
4.44	Ștuț de intrare	66
4.45	Inel distanțor g=3 mm	67
4.46	Dimensiuni inel distanțor g=3 mm	67
4.47	Arbore turbină	67
4.48	Lagăr rulmenți	67
4.49	Etanșare mobilă	68
4.50	Ansamblul microturbinei – vedere din față	68
4.51	Ansamblul microturbinei – vedere din spate	69
4.52	Ansamblul microturbinei Pelton prezentată de autor la conferința internațională Think-Hydro.com	69
5.1	Domeniul de analiză și simularea numerică a curgerii	72
5.2	Condițiile de frontieră pentru simularea numerică a curgerii	72
5.3	Suprafețe pe ac injector	73
5.4	Suprafețe interne pe diuză	73
5.5	Traietoriile liniilor de curgere	74

Figura	Denumire	Pag.
5.6	Secțiuni prin distribuția de viteze și presiuni în jet	74
5.7	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=15$ m	76
5.8	Forțe pe injectorul $\Phi 16,3$ la căderea $H=15$ m	76
5.9	Forțe pe diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=15$ m	76
5.10	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=20$ m	77
5.11	Forțe pe injectorul $\Phi 16,3$ la căderea $H=20$ m	77
5.12	Forțe pe diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=20$ m	77
5.13	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=25$ m	78
5.14	Forțe pe injectorul $\Phi 16,3$ la căderea $H=25$ m	78
5.15	Forțe pe diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=25$ m	78
5.16	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=30$ m	79
5.17	Forțe pe injectorul $\Phi 16,3$ la căderea $H=30$ m	79
5.18	Forțe pe diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=30$ m	79
5.19	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=35$ m	80
5.20	Forțe pe injectorul $\Phi 16,3$ la căderea $H=35$ m	80
5.21	Forțe pe diuză $\Phi 16,3$ la căderea $H=35$ m	80
5.22	Comparație caracteristici de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 14,8$ la diferite căderi	81
5.23	Comparație forțe pe injectorul $\Phi 14,8$ la diferite căderi	81
5.24	Comparație forțe pe diuză $\Phi 14,8$ la diferite căderi	81
5.25	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=15$ m	83
5.26	Forțe pe injectorul $\Phi 14,8$ la căderea $H=15$ m	83
5.27	Forțe pe diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=15$ m	83
5.28	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=20$ m	84
5.29	Forțe pe injectorul $\Phi 14,8$ la căderea $H=20$ m	84
5.30	Forțe pe diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=20$ m	84
5.31	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=25$ m	85
5.32	Forțe pe injectorul $\Phi 14,8$ la căderea $H=25$ m	85
5.33	Forțe pe diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=25$ m	85
5.34	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=30$ m	86
5.35	Forțe pe injectorul $\Phi 14,8$ la căderea $H=30$ m	86
5.36	Forțe pe diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=30$ m	86
5.37	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=35$ m	87
5.38	Forțe pe injectorul $\Phi 14,8$ la căderea $H=35$ m	87
5.39	Forțe pe diuză $\Phi 14,8$ la căderea $H=35$ m	87
5.40	Comparație caracteristici de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 14,8$ la diferite căderi	88
5.41	Comparație forțe pe injectorul $\Phi 14,8$ la diferite căderi	88

Figura	Denumire	Pag.
5.42	Comparație forțe pe diuză $\Phi 14,8$ la diferite căderi	88
5.43	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=15$ m	90
5.44	Forțe pe injectorul $\Phi 13,3$ la căderea $H=15$ m	90
5.45	Forțe pe diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=15$ m	90
5.46	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=20$ m	91
5.47	Forțe pe injectorul $\Phi 13,3$ la căderea $H=20$ m	91
5.48	Forțe pe diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=20$ m	91
5.49	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=25$ m	92
5.50	Forțe pe injectorul $\Phi 13,3$ la căderea $H=25$ m	92
5.51	Forțe pe diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=25$ m	92
5.52	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=30$ m	93
5.53	Forțe pe injectorul $\Phi 13,3$ la căderea $H=30$ m	93
5.54	Forțe pe diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=30$ m	93
5.55	Caracteristica de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=35$ m	94
5.56	Forțe pe injectorul $\Phi 13,3$ la căderea $H=35$ m	94
5.57	Forțe pe diuză $\Phi 13,3$ la căderea $H=35$ m	94
5.58	Comparație caracteristici de debit pentru injectorul cu diuză $\Phi 13,3$ la diferite căderi	95
5.59	Comparație forțe pe injectorul $\Phi 13,3$ la diferite căderi	95
5.60	Comparație forțe pe diuză $\Phi 13,3$ la diferite căderi	95
5.61	Poziții de-a lungul jetului liber	96
5.62	Puncte pe înălțimea jetului liber	96
5.63	Distribuția vitezei axiale V pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=3$ mm	101
5.64	Distribuția vitezei axiale V pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=6$ mm	101
5.65	Distribuția vitezei axiale V pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=9$ mm	101
5.66	Distribuția vitezei axiale V pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=12$ mm	102
5.67	Distribuția vitezei axiale V pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=15$ mm	102
5.68	Distribuția vitezei axiale V pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=18$ mm	102
5.69	Distribuția presiunii totale P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=3$ mm	103
5.70	Distribuția presiunii totale P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la	103

Figura	Denumire	Pag.
	cursa injectorului $S=6$ mm	
5.71	Distribuția presiunii totale P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=9$ mm	103
5.72	Distribuția presiunii totale P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=12$ mm	104
5.73	Distribuția presiunii totale P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=15$ mm	104
5.74	Distribuția presiunii totale P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la cursa injectorului $S=18$ mm	104
5.75	Distribuția vitezei axiale în axa jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ la $S=3, 6, 9, 12, 15, 18$ mm	105
5.76	Distribuția presiunii în axa jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ la $S=3, 6, 9, 12, 15, 18$ mm	105
5.77	Proiecția jetului $\Phi 16,3$ mm pe suprafața interioară a cupei	107
5.78	Caracteristici material VeroWhite	107
5.79	Discretizarea cupei Pelton	107
5.80	Fixarea și încărcarea cupei Pelton	107
5.81	Distribuția tensiunilor von Mises în cupa Pelton; $\sigma_{\max}=5$ MPa	107
5.82	Distribuția deplasărilor în cupa Pelton; $\delta_{\max}=0.067$ mm	107
6.1	Imprimanta Objet Desktop 30	110
6.2	Semicupa Pelton	111
6.3	Geometria 3D a cupei Pelton	111
6.4	Secțiuni transversale prin cupa Pelton	111
6.5	Secțiuni longitudinale prin cupa Pelton	111
6.6	Geometria rotorului Pelton V1	111
6.7	Salvarea geometriei rotorului Pelton V1 în format STL (1455222 triunghiuri)	112
6.8	Dispunerea rotorului Pelton V1 pe tava de imprimare	112
6.9	Etapa inițială rotor V1	113
6.10	Etapa intermediară rotor V1	113
6.11	Etapa finală rotor V1	113
6.12	Eliminare material suport rotor V1	113
6.13	WaterJet System Objet	113
6.14	Vedere de sus a rotorului V1	113
6.15	Vedere laterală a rotorului V1	113
6.16	Masa rotorului V1	114
6.17	Vedere de detaliu a rotorului V1	114

Figura	Denumire	Pag.
6.18	Geometria rotorului Pelton V2	114
6.19	Formatul STL al rotorului Pelton V2 (1285098 triunghiuri)	114
6.20	Dispunerea rotorului Pelton V2 pe tava de imprimare	114
6.21	Etapa inițială rotor V2	115
6.22	Etapa intermediară rotor V2	115
6.23	Etapa finală rotor V2	115
6.24	Vedere de sus a rotorului V2	115
6.25	Vedere laterală a rotorului V2	115
6.26	Vedere frontală a rotorului V2	115
6.27	Vedere comparativă a rotoarelor V1 și V2	116
6.28	Geometrie ac injector în format STL	117
6.29	Geometrie diuză în format STL	117
6.30	Geometrie etanșare mobilă în format STL	117
6.31	Dispunerea ace injector, diuze și etanșări mobile pe tava de imprimare - varianta 1	117
6.32	Dispunerea ace injector, diuze și etanșări mobile pe tava de imprimare - varianta 2	117
6.33	Depunerea stratului suport	118
6.34	Depunerea materialului model	118
6.35	Stadiu imprimare cu 6 ore înainte de finalul imprimării	118
6.36	Finalul imprimării după 26h 46 min	118
6.37	Piese înaintea de eliminare material suport	118
6.38	Piese după eliminare material suport	118
6.39	Geometrie diuze de diametre 13,3 / 14,8 / 16,3 mm după prototipare rapidă	120
6.40	Geometrie ace injector după prototipare rapidă	120
6.41	Geometrie etanșări mobile după prototipare rapidă	120
7.1	Schema standului de măsură a microturbinei Pelton	122
7.2	Debitmetru ultrasonic	123
7.3	Tahometru	123
7.4	Manometru - Traductor Wika 0-5 bar	123
7.5	Traductor de forță 0.5 KN + ESAM Traveller 1 Data Acquisition System	123
7.6	Experimentări pe microturbina Pelton echipată cu rotorul varianta V1	124
7.7	Experimentări pe microturbina Pelton echipată cu rotorul varianta V2	125
7.8	Schema de calcul a momentului la arborele turbinei	126
7.9	Pozitie injector S=3 mm	127
7.10	Pozitie injector S=6 mm	127
7.11	Pozitie injector S=9 mm	128
7.12	Pozitie injector S=12 mm	128

Figura	Denumire	Pag.
7.13	Pozitie injector S=15 mm	128
7.14	Pozitie injector S=18 mm	128
7.15	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V1 și diuza $\Phi 13,3$	130
7.16	Diagrama universală pentru rotorul V1 și diuza $\Phi 13,3$	130
7.17	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V1 și diuza $\Phi 14,8$	133
7.18	Diagrama universală pentru rotorul V1 și diuza $\Phi 14,8$	133
7.19	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V1 și diuza $\Phi 16,3$	134
7.20	Diagrama universală pentru rotorul V1 și diuza $\Phi 16,3$	134
7.21	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V2 și diuza $\Phi 14,8$	136
7.22	Diagrama universală pentru rotorul V2 și diuza $\Phi 14,8$	136
7.23	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V2 și diuza $\Phi 16,3$	137
7.24	Diagrama universală pentru rotorul V2 și diuza $\Phi 16,3$	137

LISTĂ TABELE

Tabel	Denumire	Pag.
1.1	Ponderea diferitelor forme de resurse energetice	19
1.2	Consumul mondial de energie electrică pe cap de locuitor	20
1.3	Evoluția consumului de energie electrică (EE) și a puterii instalate (P_i)	21
1.4	Evaluarea potențialului hidroenergetic	21
1.5	Producția de energie electrică din România	22
1.6	Scenariu privind situația energetică din România	22
1.7	Clasificarea hidrocentralelor de mică și foarte mică putere	24
1.8	Parametrii și imagini ale unor Turbine Pelton furnizate de firma Kössler	28
1.9	Articole științifice ce conțin cercetări teoretice și experimentale pe turbină Pelton	31
3.1	Parametrii principali ai turbinelor Pelton	36
3.2	Parametrii principali ai turbinelor Pelton pentru căderile $H=400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600$ m	41
3.3	Clasificarea turbinelor după turația specifică n_s [rot/min]	45
3.4	Delimitarea turbinelor după turația specifică n_s [rot/min]	45
3.5	Mărimi caracteristice ale cupei Pelton	49
3.6	Mărimi caracteristice ale cupei pentru 6 rotoare	49
4.1	Valori optime pentru o serie de 4 rotoare Pelton	53
5.1	Caracteristicile de debit și de forță pentru diametru diuză 16,3 mm	75
5.2	Caracteristicile de debit și de forță pentru diametru diuză 14,8 mm	82
5.3	Caracteristicile de debit și de forță pentru diametru diuză 13,3 mm	89
5.4	Distribuția vitezei axiale V și a presiunii P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la distanța 188 mm	97
5.5	Distribuția vitezei axiale V și a presiunii P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la distanța 208 mm	98
5.6	Distribuția vitezei axiale V și a presiunii P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la distanța 228 mm	99
5.7	Distribuția vitezei axiale V și a presiunii P pe înălțimea jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ mm la distanța 251 mm	100
5.8	Distribuția vitezei axiale și a presiunii în axa jetului liber pentru diuza $\Phi 16,3$ la $S=3$, 6, 9, 12, 15, 18 mm	105
6.1	Parametrii de imprimare a rotoarelor V1 și V2	116
6.2	Proprietăți material Objet VeroWhitePlus FullCure 835	116
6.3	Proprietăți material Objet VeroBlue FullCure 840	117
6.4	Parametrii de imprimare a acelor de injector, diuzelor și etanșărilor mobile	119

Tabel	Denumire	Pag.
6.5	Proprietăți material Objet DurusWhite FullCure430	119
7.1	Parametrii mășurați pe microturbina Pelton	122
7.2	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V1 și diuza $\Phi 13,3$	129
7.3	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V1 și diuza $\Phi 14,8$	131
7.4	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V1 și diuza $\Phi 16,3$	132
7.5	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V2 și diuza $\Phi 14,8$	135
7.6	Intersecții curbe $\eta/\eta_{\max}=f(n_{11})$ cu valori constante de randament pentru rotorul V2 și diuza $\Phi 16,3$	138
8.1	Realizări și contribuții obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza	140

LISTĂ NOTAȚII

Notație	Denumire
E	Energie
P	Putere hidraulică
d_s	Diametrul jetului de apă
Q	Debit de calcul
z, i	Numărul de injectoare
H	Cădere de calcul
n_s	Turație specifică
n_{11}	Turație unitară
Q_{11}	Debit unitar
D, D_1	Diametru caracteristic rotor
d	Diametru diuză injector
d_0	Diametru jet
Z	Număr de palete rotor
n	Turația rotorului
η_h	Randamentul hidraulic
β_1	Unghiul muchiei de intrare
β_2	Unghiul format cu tangenta la muchia de ieșire
h	Adâncimea maximă a paletei pe suprafața interioară
S	Cursa injectorului
d_t	Diametrul tijei
d	Diametrul maxim al injectorului
ρ	Densitatea apei
g	Accelerația gravitațională
F_{ax}	Forța axială totală
$F_{ax \text{ tijă}}$	Forța axială pe tijă
$F_{ax \text{ diuză}}$	Forța axială pe diuză
$n_{s \text{ opt}}$	Turație specifică optimă
g, M	Grosimea peretelui cupei
B	Lățimea cupei
b	Lățimea decupării la intrare pe cupă
L	Lungimea cupei
n	Lungimea muchiei de intrare
h	Adâncimea cupei

Notăție	Denumire
V	Viteza jetului
θ_2	Unghiul de la ieșirea din cupă
P_{abs}	Puterea absorbită de turbină
ω	Viteză unghiulară
M	Momentul la arborele turbinei
η	Randament turbină
P_u	Puterea utilă la arborele turbinei

Cap. 1 STADIUL ACTUAL PRIVIND DOMENIUL TURBINELOR ȘI MICROTURBINELOR DE ÎNALTĂ CĂDERE ȘI DEBITE MICI

1.1 Generalități

În mediul în care trăim, pentru diferite procese necesare vieții este nevoie de energie. Omenirea trebuie să știe cum să folosească această energie.

Astfel, din vremuri străvechi, omul a început să folosească potențialul energetic al resurselor naturale, potențial înmagazinat în combustibili fosili, solizi, lichizi și gazoși, în deplasări de aer și căderi de apă [15].

La un moment dat, aceste surse naturale de energie se vor epuiza, iar generația umană prezentă ar trebui să valorifice resurselor regenerabile de energie.

1.2 Utilizarea surselor regenerabile de energie

Energia regenerabilă se referă la forme de energie produse prin transferul energetic al energiei rezultate din procese naturale regenerabile [12]. Sursele regenerabile de energie (SRE) cel mai probabil vor înlocui sursele neregenerabile, care se află într-o continuă scădere.

În literatura de specialitate [41], [17], [18], [30], [44], [59], [69] se regăsesc clasificate următoarele tipuri principale de energie: energia solară, **energia hidraulică**, energia eoliană, energia geotermală, energia oceanului planetar, energia nucleară și biomasa.

În momentul de față, utilizarea surselor regenerabile de energie este abordată din 2 puncte de vedere [92]: ca suplinitoare a surselor clasice de energie și având efecte negative mai reduse asupra mediului înconjurător.

1.3 Energia electrică obținută în hidrocentrale

În mileniul III, omenirea depinde în mare parte de utilizarea energiei electrice, în ce privește satisfacerea nevoilor acesteia.

Producerea energiei electrice se poate face prin metode clasice (de ex. centrale hidroelectrice), cât și prin metode neconvenționale (de ex. convertoare fotovoltaice) [28].

Conform cu [62], centralele hidroelectrice (**CHE**) sau hidrocentralele presupun ansamble de construcții și instalații, în care energia hidraulică este transformată în energie electrică sau energia cinetică a apei este transformată în energie mecanică cu ajutorul unei turbine hidraulice și apoi în energie electrică cu ajutorul unui generator electric sincron sau asincron.

Producerea energiei electrice din sursele clasice și neconvenționale, descrise anterior, este în momentul de față, permanent stimulată de creșterea de energie și în mod special de energia electrică, astfel, putându-se rezolva în mod eficient soluțiile constructive legate de transportul și distribuția energiei electrice [73].

În figura 1.1, se prezintă metodele de producere a energiei electrice:

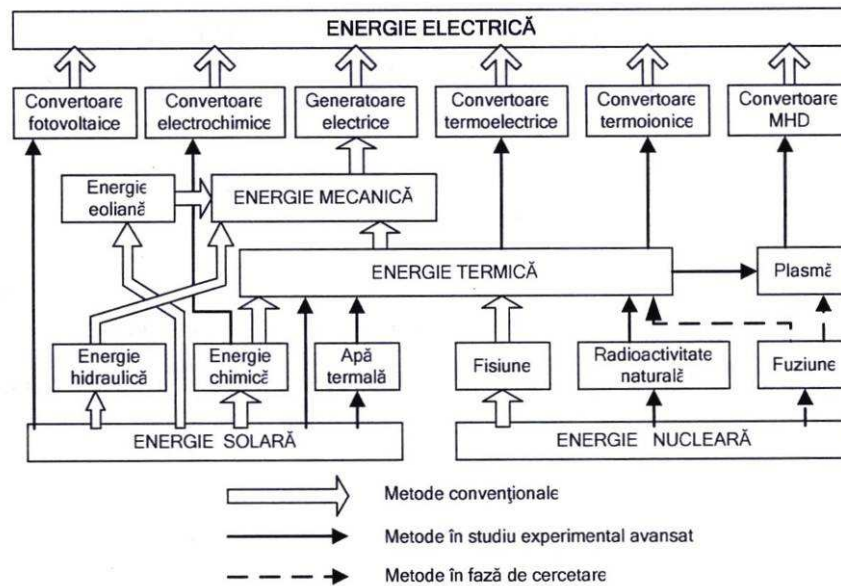


Fig. 1.1. Metodele de producere a energiei electrice [62]

Conform referinței bibliografice [9], omul produce astăzi multă energie, însă o produce insuficient, astfel o mare problemă ce trebuie rezolvată la ora actuală este îmbunătățirea randamentului metodelor de producere a energiei.

În ceea ce privește ponderea diferitelor forme de resurse energetice în balanța producerii energiei mondiale, Consiliul Energetic Mondial [73] oferă următoarele date care sunt descrise în tabelul 1.1:

Tabel. 1.1. Ponderea diferitelor forme de resurse energetice 10⁹ [tpe]¹

Resurse Energetice	Datele din 1990	Scenariul de referință pentru 2020	Scenariul creșterii economice 2020	Scenariul cu prioritate ecologică 2020
Cărbune	2,3 (26%)	3,2 (24%)	4,8 (28%)	2,1 (19%)
Petrol	2,8 (32%)	3,7 (28%)	4,6 (27%)	2,7 (24%)
Gaze	1,7 (19%)	2,8 (21%)	3,5 (20%)	2,3 (21%)
E. nucleară	0,4 (5%)	0,8 (6%)	1,0 (6%)	0,7 (6%)
Energie hidro	0,5 (6%)	1,0 (%)	1,2 (7%)	0,9 (8%)
Noi resurse	0,2 (2%)	0,5 (4%)	0,8 (5%)	1,5 (13%)

¹ tpe (tona de petrol echivalent); 1 tpe = 44,8 · 10⁹ [Joule]

La nivel mondial, conform datelor din referințele [94], se prezintă prin graficul din figura 1.2., statistici privind sursele de obținere a energiei electrice:

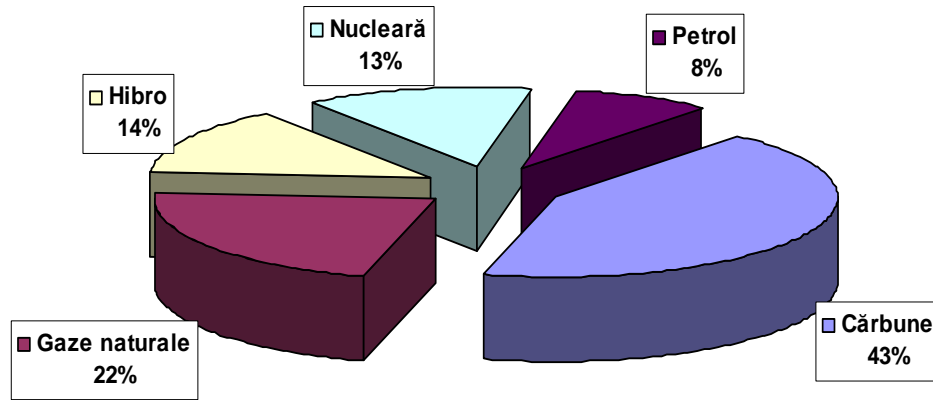


Fig. 1.2. Sursele de obținere a energiei electrice la nivel mondial

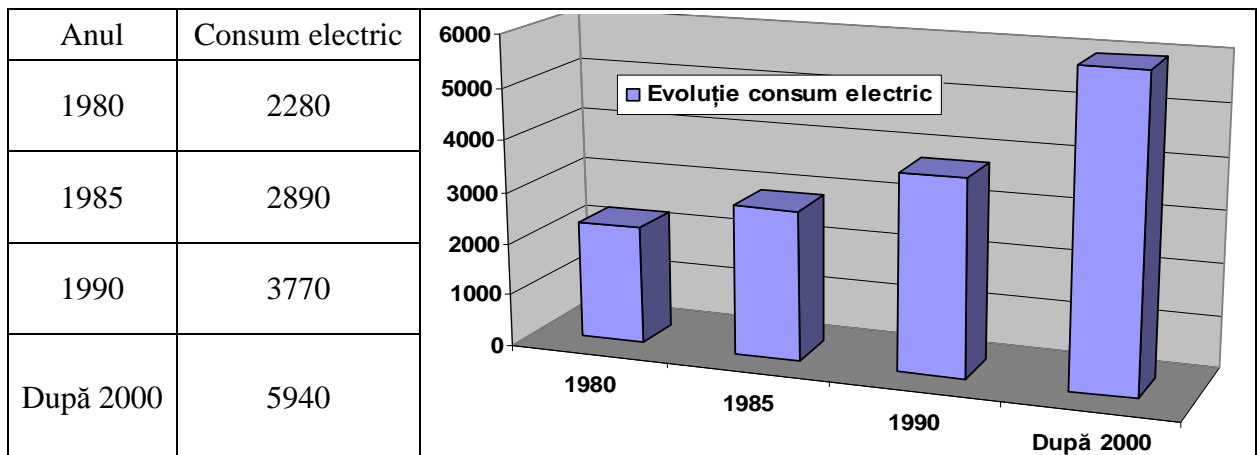
Comisia Națională de Prognoză, relevă că, în anul 2020, producția de energie hidroelectrică și eoliană va ajunge la 1,48 milioane tpe [93].

În anul 2012, aceasta a fost de 1,593 milioane tpe, iar în 2013 poate ajunge până la valoare de 1,65 milioane tpe.

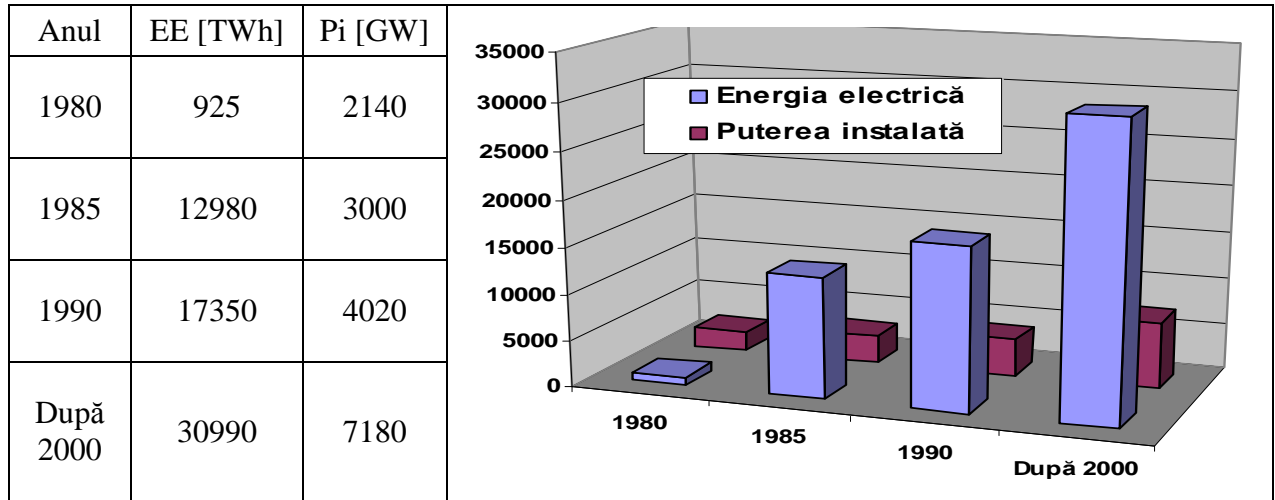
Cu privire la consumul de energie electrică, cât și la potențialul hidroenergetic existent, conform cu ref. [73] se prezintă în continuare următoarele:

- consumul mondial de energie electrică pe cap de locuitor (tabelul 1.2.);
- evoluția consumului de energie electrică (EE) și a puterii instalate (Pi) pe plan mondial (tabelul 1.3.);
- evaluarea potențialului hidroenergetic (tabelul 1.4.) al principalelor țări europene.

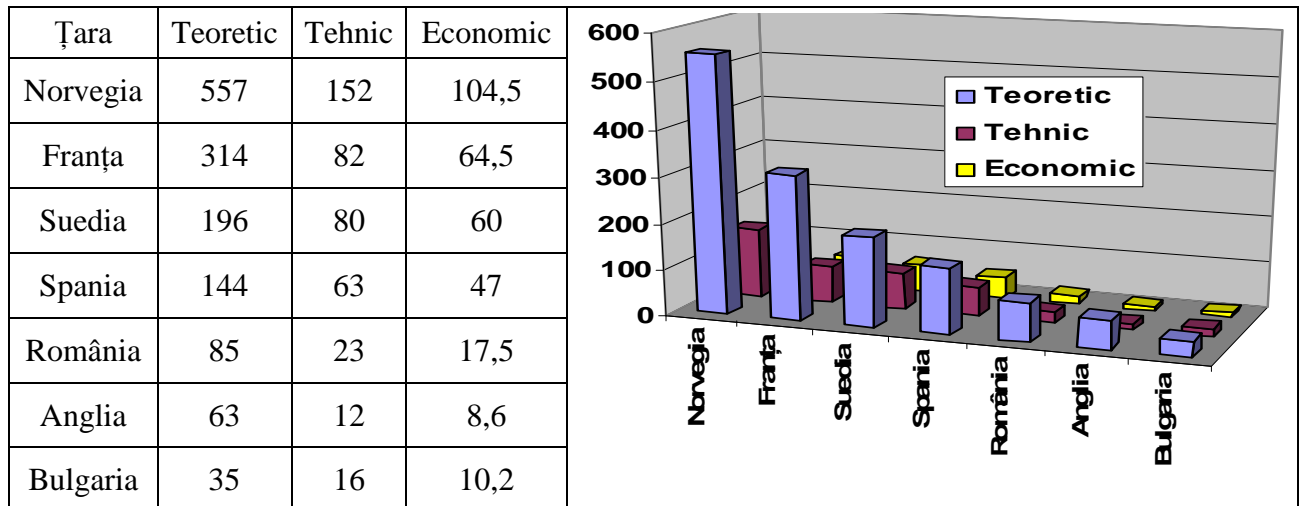
Tabel. 1.2. Consumul mondial de energie electrică pe cap de locuitor [kWh/loc]



Tab. 1.3. Evoluția consumului de energie electrică (EE) și a puterii instalate (Pi)



Tab. 1.4. Evaluarea potențialului hidroenergetic [TWh/an]



În țara noastră, se merge pe linia amenajării atât a centralelor hidroelectrice mari, cât și a microhidrocentralelor, astfel încât, după anul 2000 s-a dorit să se valorifice integral potențialul hidroenergetic [72].

Sistemul Energetic Național (SEN) este un sistem pentru producerea și distribuirea curentului electric și este format din totalitatea centralelor electrice și a rețelelor de distribuție interconectate de pe teritoriul țării [61].

Prin intermediul SEN-ului (din care fac parte principalii producători de energie: S.C. Termoelectrica S.A., S.C. Hidroelectrică S.A., S.C. Nuclearelectrică S.A., S.C. Electrică S.A., și C.N. Transelectrică S.A.), energia electrică este consumată de către clasele A, B, C și D de consumatori [28].

Pentru transportul și distribuția energiei electrice prin rețele electrice la acești consumatori, potrivit cu [74] se prezintă în figura 1.3. schema sistemului energetic.

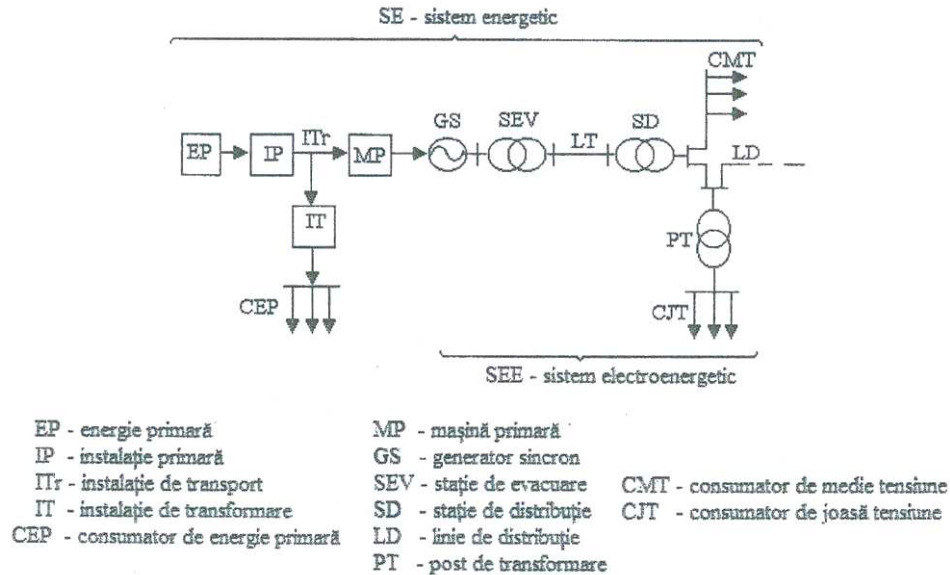


Fig. 1.3. Sistemul energetic

În continuare, în tabelul 1.5., conform cu [96] se prezintă producția de energie electrică din România în perioada 2005-2010, după sursa de energie.

Tabel. 1.5. Producția de energie electrică din România [TWh]

Anul	Cărbune	Hidrocarburi	Nucleară	Hidro	Eolian	Total producție
2005	23,5	10,3	5,5	20,2	-	59,7
2006	26,9	11,5	5,6	18,3	-	62,4
2007	26,7	11	7,7	15,9	-	61,3
2008	27,5	8,9	11,2	17,1	-	64,7
2009	22,9	7,1	11,7	15,7	-	57,6
2010	21,7	6,6	11,6	20,4	0,2	60,7

Un scenariu privind situația energetică în cazul valorificării integrale a potențialul hidroenergetic se prezintă în tabelul 1.6., conform referinței bibliografice [19]:

Tabel. 1.6. Scenariu privind situația energetică din România

Sursa de energie	Pondere în producția totală [%]	Producția realizabilă [GWh/an]	Cost pe unitate [LEI/MWh]	Costul anual al energiei produse [10 ⁵ lei/an]
Hidroelectrică	50,2	31628	65	2056,82
Termoelectrică	31,79	20032	~200	4006,40
Atomoelectrică	18,01	11340	130	1474,20
Total	100	63000	-	7536,42

1.4 Noțiuni despre turbinele hidraulice de tip Pelton

Hydrocentralele utilizează ca sursă primară energia hidraulică a căderilor de apă și transformă energia hidraulică în energie electrică care este transmisă la stațiile de transformare în rețelele electrice de înaltă și medie tensiune [74].

Căderile de apă utilizate pot fi naturale sau artificiale. Cantitatea de apă Q parcurgând distanța L între 2 puncte A și B ale cursului apei, puncte situate la înălțimile h_A și h_B măsurate față de același reper și având vitezele v_A și v_B , dezvoltă o energie hidraulică totală E_{AB} compusă din cea potențială și cea cinetică [73].

Pentru fiecare punct se exprimă energia totală:

$$E_A = Q \cdot g \cdot h_A + \frac{Q \cdot v_A^2}{2} = Q \cdot g \left(h_A + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} \right) \text{ [J]} \quad (1.1)$$

$$E_B = Q \cdot g \cdot h_B + \frac{Q \cdot v_B^2}{2} = Q \cdot g \left(h_B + \frac{v_B^2}{2 \cdot g} \right) \text{ [J]} \quad (1.2)$$

Notându-se $h = h_A - h_B$, se obține din relațiile (1.1) și (1.2) energia hidraulică totală dintre cele 2 puncte, respectiv puterea hidraulică:

$$E_{AB} = Q \cdot g \cdot \left(h + \frac{v_A^2 - v_B^2}{2 \cdot g} \right) \text{ [J]} \quad (1.3)$$

$$P_{AB} = \frac{g \cdot \rho \cdot Q \cdot h}{1000} = 9,81 \cdot Q \cdot h \text{ [kW]} \quad (1.4)$$

unde s-a considerat $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, iar cu Q este debitul de apă exprimat în m^3/s .

Energia electrică produsă anual de masa de apă Q_{an} măsurată în tone va fi:

$$E = 7860 \cdot 9,81 \cdot Q \cdot h \cdot \eta_{tot} \quad (1.5)$$

unde randamentul total (η_{tot}) al CHE este determinat de randamentul mașinii hidraulice $\eta_t = 85 \div 95\%$, calculat ca produs între randamentul generatorului electric $\eta_g = 95 \div 98\%$ și randamentul hidraulic al turbinei $\eta_h = 90 \div 95\%$.

O amenajare hidroenergetică conform cu referința bibliografică [63] (figura 1.4), poate fi compusă din următoarele elemente constructive [88], [1]: baraj, lac de acumulare, canal de aducțiune casa vanelor, conducta forțată, sala mașinilor, turbina, generatorul, transformatorul ridicător de tensiune, stația de conexiuni și serviciile interne necesare desfășurării activităților în condiții normale, cum ar fi iluminarea, căldura, ș.a.

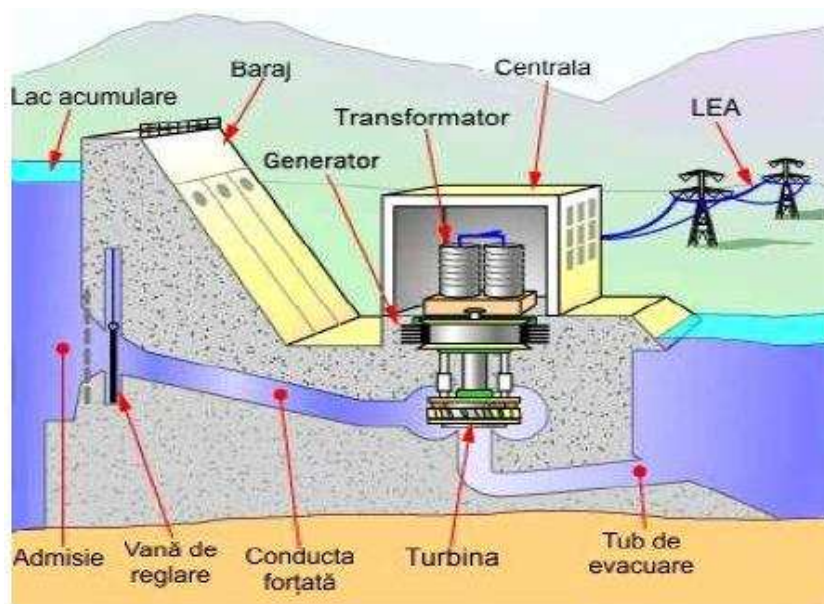


Fig. 1.4. Schema unei amenajări hidroenergetice

Se prezintă și alte tipuri de amenajări [71] pentru microhidrocentrale de cădere medie și mare (figurile 1.5 și 1.6), cât și pentru microhidrocentrale de joasă cădere (figurile 1.7 și 1.8):

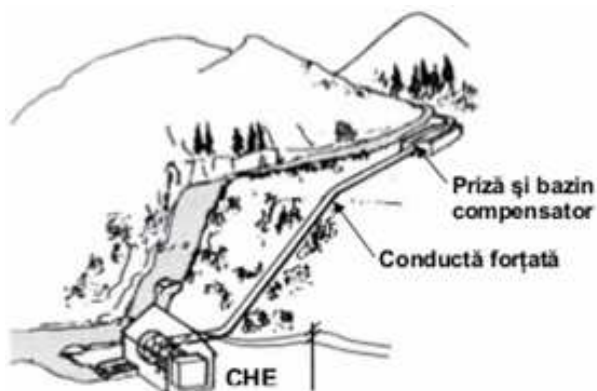


Fig. 1.5. Schemă cu derivația realizată de conducta forțată



Fig. 1.6. Schemă cu derivația realizată de canalul de aducțiune

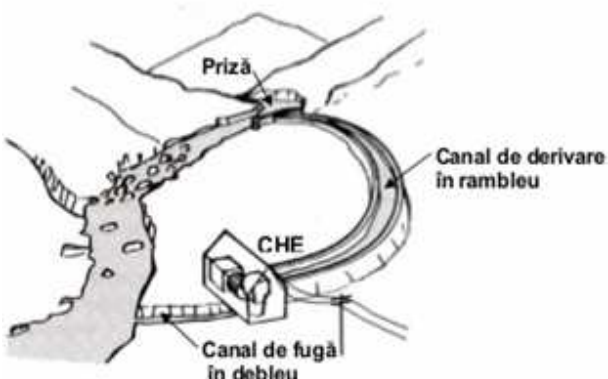


Fig. 1.7. Schemă unei microhidrocentrale de joasă cădere realizată prin derivare

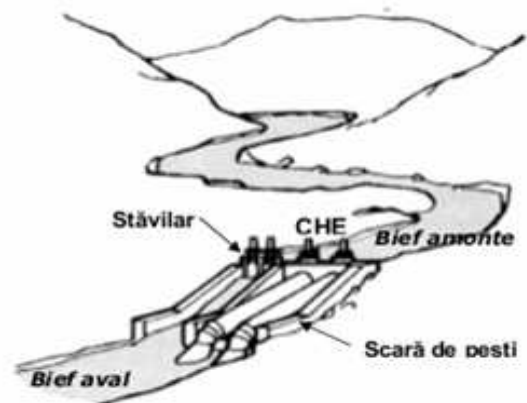


Fig. 1.8. Schemă unei microhidrocentrale tip baraj

O clasificarea a hidrocentralelor cu o putere instalată redusă, care funcționează în interiorul amenajărilor hidroenergetice, nu este încă standardizată [63], [64], însă cea mai vehiculată clasificare a acestora realizată în funcție de putere hidraulică, debit și diametrul turbinei este prezentată în **tabelul 1.7**.

Tabel. 1.7. Clasificarea hidrocentralelor de mică și foarte mică putere

Denumirea	Puterea tipică	Debitul Q	Diametrul (rotorului) turbinei D
Pico	<10 kW	<0,05 m ³ /s	<0,20 m
Micro	<100 kW	<0,40 m ³ /s	<0,30 m
Mini	100÷1.000 kW	0,40÷12,80 m ³ /s	0,30÷0,80 m
Mică	1÷50 MW	>12,80 m ³ /s	>0,80 m

Asemenea hidrocentrale sunt în general realizate pe cursul apei (fără baraj). De exemplu, în categoria pico se încadrează și așa-numitele centrale hidro artisanale (CHA), adică centrale unicat, produse în mod artizanal, în care energia electrică produsă este utilizată exclusiv pentru propria gospodărie.

În hidrocentrale funcționează turbinele hidraulice, care se pot defini ca acele mașini care transformă energia hidraulică în energie mecanică, această transformare realizându-se printr-o piesă care se rotește, piesa prevăzută cu palete sau cupe denumită rotor [4], [66], [13], [23].

Clasificarea turbinelor hidraulice se poate face după mai multe criterii [37], [83]:

- După modul în care are loc schimbul de energie în mașină: **cu acțiune** și cu reacțiune;
- După poziția arborelui: turbine cu arbore vertical, orizontal sau înclinat;
- După rapiditatea turbinei: turbine lente, normale și rapide;
- În funcție de domeniul de căderi: turbine de joasă, medie sau înaltă cădere.

Cele mai des folosite turbinele hidraulice sunt [3], [16], [36], [55]: turbine hidraulice de tip Kaplan, de tip Francis, de tip **Pelton**, bulb și Banki (turbine cu dublu flux sau cu flux transversal [70], [63]).

Potrivit cu referința bibliografică [39], turbinele cu acțiune au vâna de apă la presiune atmosferică și întreaga cădere se transformă în energie cinetică. Aceste tipuri vechi de turbine au fost cunoscute ca turbine Girard, Zuppinger, Pelton, inventate în sec. XIX. Singurele turbine moderne sunt turbinele Pelton.

Așadar, în anul 1880, inginerul californian Lester Allan **Pelton** [75], după ce a vizitat uzinele Escher Wyss, a brevetat în SUA o turbină asemănătoare cu Zuppinger, care s-a numit turbina Pelton. Se menționează că printre soluțiile constructive ale roții hidraulice realizate de-a

lungul timpului, există o construcție hidromecanică deosebită utilizată pe teritoriul României, care este roata cu făcaie sau ciutura.

Se prezintă în **figura 1.9** o imagine a roții Pelton originale, în **figura 1.10** se prezintă imagini ale morii cu ciutură sau roata cu făcaie, iar în **figurile 1.11 și 12** se prezintă hidrocentrala Grebla după [77] respectiv centrala Crăinicel după [80], unde s-au utilizat primele turbine Pelton.

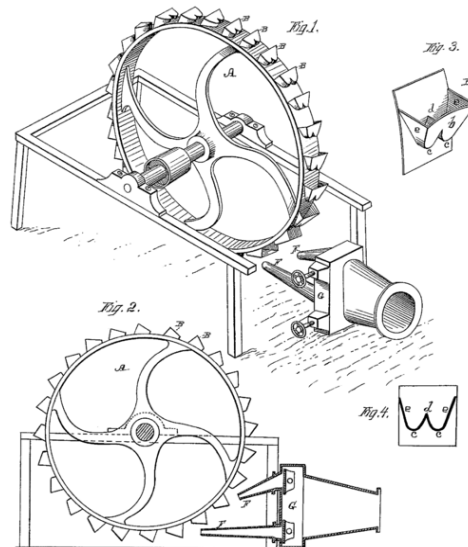


Fig. 1.9 Roata Pelton originală



Vedere a)



Vedere b)



Vedere c)

Fig. 1.10 Imagini ale unei morii ciutură după [76]

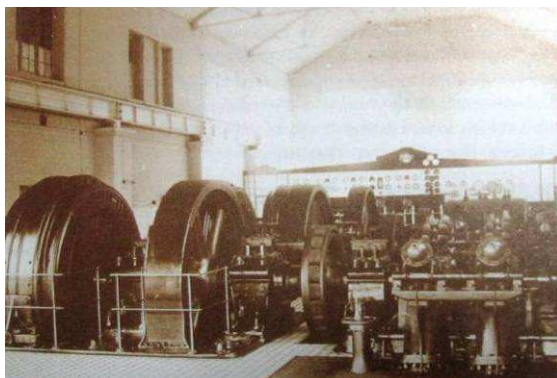


Fig. 1.11 Hidrocentrala Grebla

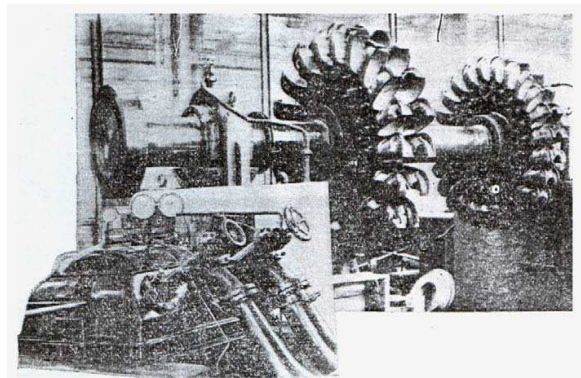


Fig. 1.12 Centrala Crăinicel

Alte hidrocentrale echipate cu turbine Pelton din țara noastră [85] se află la Dobrești, Sadu, Moroieni, Lotru și Văliug. În lume hidrocentrale echipate cu turbine Pelton de mare putere sunt următoarele [39]: Sharawathi (India), cu 8 turbine Pelton cu putere instalată de 105 MW și căderea de 439 m; Kemano-Kitimat (Canada), cu 3 turbine Pelton cu putere instalată de 110 MW și căderea de 757 m; Roseland-Bathie (Franța), cu 6 turbine Pelton cu putere instalată de 83 MW și căderea de 1200 m; Reisseck (Austria), cu 2 turbine Pelton cu putere instalată de 22,8 MW și căderea de 1771,3 m, care este cea mai mare cădere din lume.

1.5 Realizări în domeniul turbinelor și microturbinelor Pelton moderne

Turbinele Pelton moderne transformă energia hidraulică în energie stereomecanică, rotorul cu cupele aferente fiind sediul acestei transformări. Aceste turbine hidraulice au ca domeniu de utilizare zona căderilor mari și a debitelor mici (caracteristici specifice zonelor montate), realizându-se randamente de 90-92% [21].

În mod obișnuit, turbinele Pelton se realizează cu unul sau două injectoare (turbine cu ax orizontal), dar și cu 4 sau 6 injectoare (turbine cu ax vertical pentru o mai bună evacuare a apei din turbină) [74]. În ce privește facilitarea operațiilor de montaj și revizii, partea superioară a carcasei se demontează [40].

Conform cu [38], turbina Pelton se compune din următoarele părți principale:

- **Rotorul turbinei** (este partea mobilă care se rotește sub acțiunea apei; turbina va funcționa cu un randament bun numai dacă cupele vor avea forma cea mai potrivită, ele trebuind să primească în plin toată vâna de apă care le lovește);
- Arborele turbinei (pentru un hidroagregat (HA) orizontal, acesta se verifică la solicitarea de încovoiere și torsiune, iar pentru un HA vertical, arborele turbinei se verifică la solicitarea de întindere și torsiune);
- Cuplajul arbore turbină-arbore generator;
- Injector (este organul de reglare a debitului turbinei);
- Deflector (deviază jetul de apă, când se dorește oprirea turbinei);
- Injector de frânare;
- Carcasa turbinei;
- Lagăr axial.
- Etanșări

În ce privește rotorul turbinei Pelton, se descriu în **figura 1.13** după [81], principale dimensiunile care au următoarele notații:

- D – diametrul pe care acționează jetul de apă;
- z – numărul de cupe;
- d – diametrul diuzei;
- d₀ – diametrul jetului;
- B – lățimea cupei.

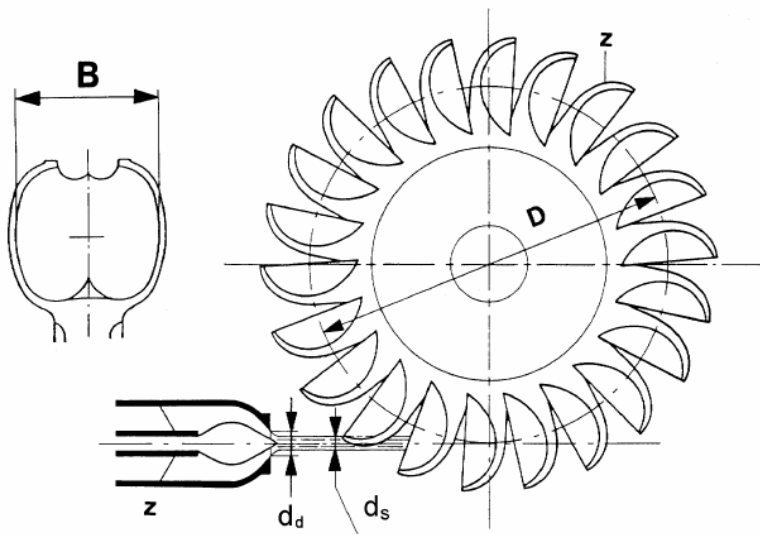


Fig. 1.13 Dimensiunile principale ale rotorului turbinei Pelton

Diametrul jetului de apă este dat de relația următoare:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{z \cdot \pi \cdot v_1}} \quad (1.6)$$

unde: Q – debitul [m³/s]; respectiv: z - numărul de injectoare.

Lățimea cupei este dată de relațiile următoare:

$$3.1 > \frac{B}{d_s} \geq 3.4 \quad (1.7)$$

B = 3,1 · d ₀	1	injector	
B = 3,2 · d ₀	2	injectoare	
B = 3,3 · d ₀	4 ÷ 5	injectoare	(1.8)
B > 3,3 · d ₀	6	injectoare	




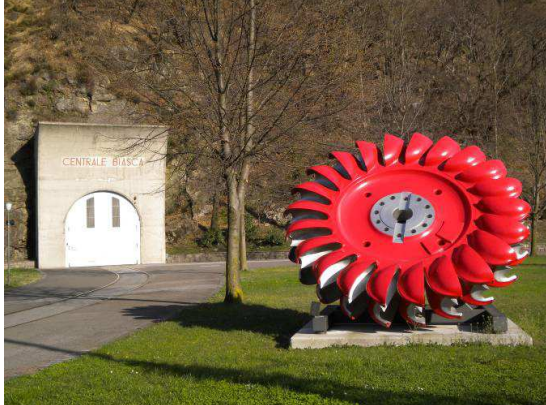


Diametrul D este dat de următoarele relații:

$$D = (10 \div 18) \cdot d_0 \quad (1.9)$$



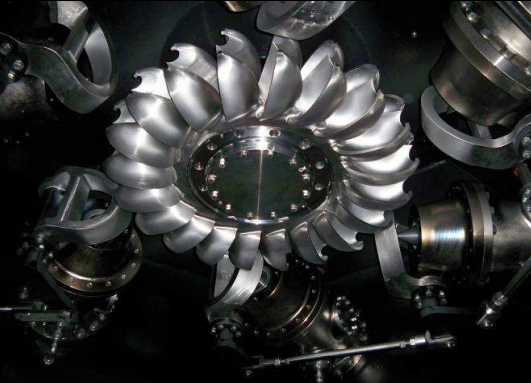



$$\begin{aligned} D < 9,5 \cdot d_0 & \text{ pentru căderi mici de apă} \\ D > 15 \cdot d_0 & \text{ pentru căderi înalte de apă} \end{aligned} \quad (1.10)$$

În continuare se doresc a fi consemnate prin imagini (turbine de tip orizontal și vertical) și parametrii caracteristici mai multe turbine Pelton conform cu referința bibliografică [90], așa cum se arată în **tabelul 1.8**.

Tabel. 1.8. Parametri și imagini ale unor Turbine Pelton furnizate de firma Kössler

Tip turbină	Putere [kW]	Cădere [m]	Turație [m^{-1}]	Anul	Locație
PH1c-580/170	251	210	1000	2007	RUANDA
					
PH1c-700/160	1489	711	1500	2010	ELVEȚIA
					
PH1c-1400/185	3546	1147	1000	2009	TURCIA
					
PV4C-680/170	1451	275	1000	2011	ALBANIA

Tabel. 1.8. Parametri și imagini ale unor Turbine Pelton furnizate de firma Kössler

Tip turbină	Putere [kW]	Cădere [m]	Turație [m^{-1}]	Anul	Locație		
		PV6I980/300	4734	214,79	600	2010	AUSTRIA
		PV4c-640/20	744	141	750	2005	GRECIA
							

În ceea ce privește cercetarea fundamentală (științifică) și aplicativă a turbinelor Pelton, se vor consemna în **tabelul 1.9** și în **figura 1.14 a) – o)** rezultate obținute din literatura de specialitate. Aceste cercetări s-au axat de cele mai multe ori pe:

- proiectare geometrie cupe și rotor [86];
- simulare prin metoda elementului finit a tensiunii și deformațiilor [7];
- simulare jet/ejector(ac, diuză și servomotor)/deflector [34], [24], [29], [42];
- utilizare metode privind dinamica computerizată a fluidelor (C.F.D) [87];

- îmbunătățirea rezistenței materialelor la oboseală, la coroziune și împotriva fenomenului de cavitație, prin caracteristici mecanice superioare și sudabilitate mai bună [89].

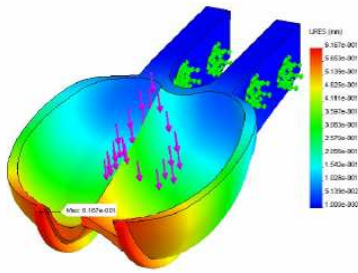
Ca și rezultate ale acestor cercetări, se pot evidenția următoarele:

- metodele moderne de proiectare ale turbinelor hidraulice reprezintă o combinație a metodele analitice cu cele computerizate;
- investigarea transferului energetic ce are loc în cupele rotorului turbinelor Pelton reprezintă îmbunătățiri ale funcționării acestor turbine hidraulice;
- optimizarea geometriei formelor paletelor (cupelor), rotoarelor și injectoarelor care să permită o bună funcționare a turbinelor hidraulice, cât și a hidrocentralelor.

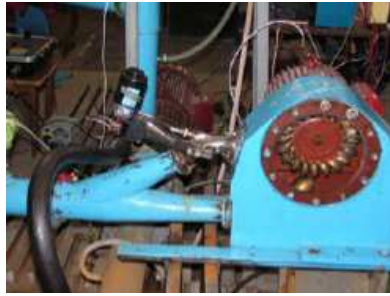
Tabel. 1.9. Articole științifice ce conțin cercetări teoretice și experimentale pe turbină Pelton

Nr. crt.	Scop cercetare experimentală	Autori / Cercetători	Referință bibliografică	An cercetare /publicare	Imaginea sugestivă
1	Simulare tensiune VonMises și deplasare a unei cupe Pelton	Nedelcu, D., ș.a.	[54]	2008	Fig. 1.14 a)
2	Determinare experimentală a caracteristice dinamice prin semnal sinusoidal și determinarea variației în timp a parametrilor turbinei	Barglazan, M., Catanase, A.,	[6]	2007	Fig. 1.14 b)
3	Modelarea parametrilor unei turbine Pelton prin Matlab Simulink	Nasir, B. A.,	[46]	2013	Fig. 1.14 c)
4	Simulare jet a unei turbine cu 6 injectoare prin CFD	Muggli, F., ș.a.	[45]	2003	Fig. 1.14 d)
5	Captarea de imagini a jetului asupra unui rotor Pelton	Matthias, H.-B., ș.a.	[43]	1997	Fig. 1.14 e)
6	Cercetări prin simulare și experimentale privind redimensionarea unui rotor Pelton	Vesely, J., Varner, M.,	[82]	-	Fig. 1.14 f)
7	Achiziție de date cu ajutorul unui microcontroler și prin LabVIEW	Gonzalez, E. Y. G., ș.a.	[84]	-	Fig. 1.14 g)
8	Simularea unui rotor Pelton de tip vertical cu 19 cupe și 4 injectoare	Xiao, Y. X., ș.a.	[78]	2012	Fig. 1.14 h)
9	Simularea 3D a jetului de apă asupra modificării geometriei cupelor	Solemslie, B. W.,	[68]	2012	Fig. 1.14 i)
10	Simulare numerică a jetului de apă	Patel, K., ș.a.	[60]	2010	Fig. 1.14 j)
11	Simulare numerică a jetului de apă pentru diferite tipuri de injectoare	Jošt, D., ș.a.	[33]	2010	Fig. 1.14 k)
12	Proiectarea 3D a geometriei unei cupe Pelton în zona centrală	Yadav, S.,	[79]	2011	Fig. 1.14 l)
13	Proiectare instalație experimentală	Catanase, A., ș.a.	[11]	2004	Fig. 1.14 m)
14	Simulare MEF și MEFr	Sadlo, F., ș.a.	[67]	2004	Fig. 1.14 n)
15	Cercetări asupra unei forme geometrice a unei cupe Pelton	Brekke, H.,	[10]	2010	Fig. 1.14 o)

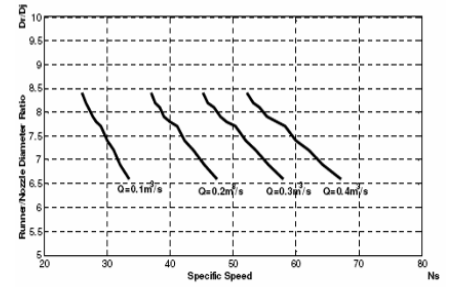
Cercetări teoretice și experimentale privind microturbine de înaltă cădere și debite mici



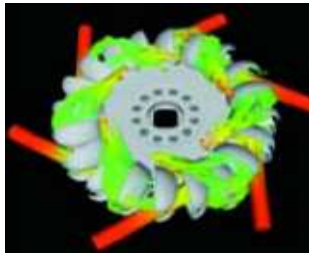
Imaginea a)



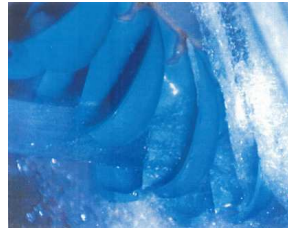
Imaginea b)



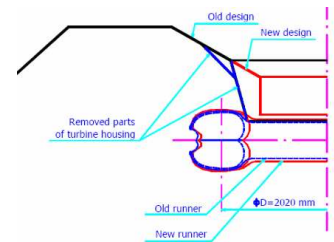
Imaginea c)



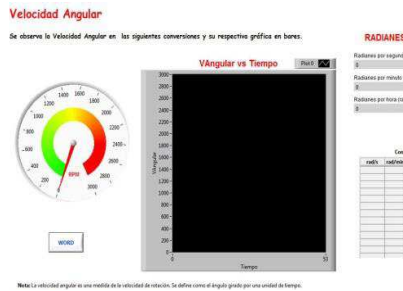
Imaginea d)



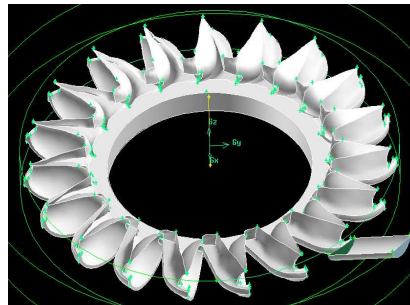
Imaginea e)



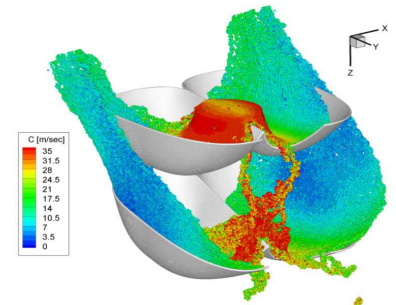
Imaginea f)



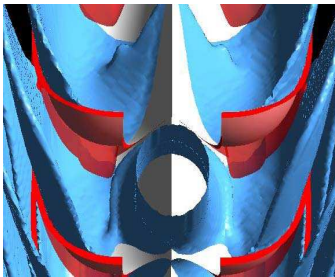
Imaginea g)



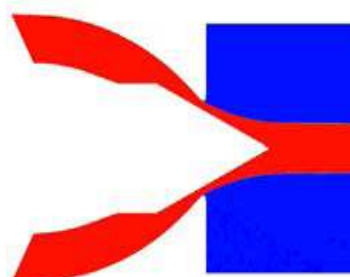
Imaginea h)



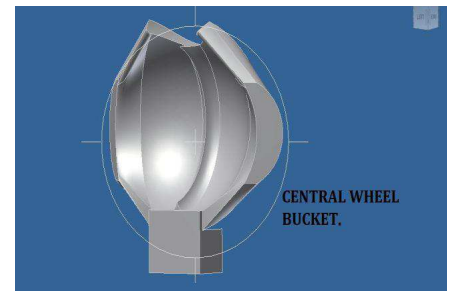
Imaginea i)



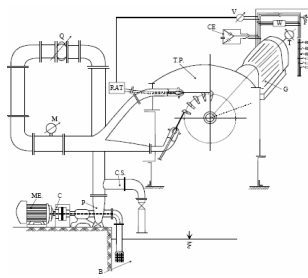
Imaginea j)



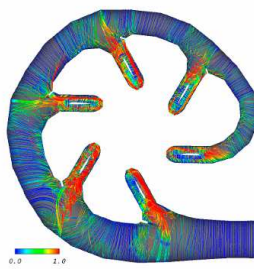
Imaginea k)



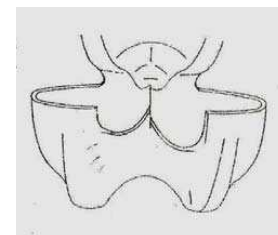
Imaginea l)



Imaginea m)



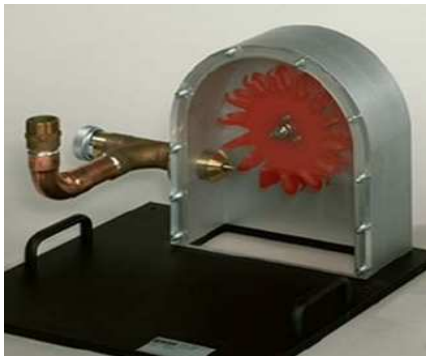
Imaginea n)



Imaginea o)

Fig. 1.14 Imagini corespunzătoare articolelor consemnate în tabelul 1.9

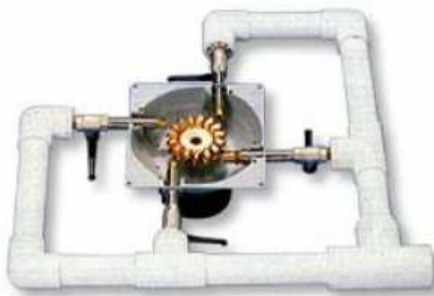
În cadrul Universității „Eftimie Murgu” din Reșița și a centrului de cercetare CCHAPT [95], există în dotare un ștand experimental (figura 1.15 [97]) destinat efectuării unor lucrări de laborator, ștand din componența căruia face parte un bazin special, care a servit la încercarea parțială a microturbinei Pelton cu rotoare generate prin prototipare rapidă [51], [52], [53]. Pe această miniturbină Pelton s-au întocmit încercări experimentale pe 2 tipuri de rotoare (cu număr de cupe diferite) și la turații diferite, obținându-se generare de electricitate. La finele acestui capitol se prezintă în figura 1.15 și alte variante constructive de microturbine echipate cu rotor Pelton.



Imagine după [98] a)



Imagine după [99] b)



Imagine după [Ste1] c)



Imagine după [100] d)



Imagine după [14] e)



Imagine după [91] f)

Fig. 1.15 Microturbine cu rotor Pelton experimentate de diverși autori

Cap. 2 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivul general al prezentei teze este investigarea experimentală a unei microturbine Pelton de înaltă cădere și debite mici, prin parcurgerea unui ciclu complet de proiectare constructiv-funcțională / simulare / execuție / cercetare experimentală. Rezultatele tezei vor concretiza prin:

- rezultate experimentale pentru rotoarele și injectoarele proiectate în cadrul tezei, care vor putea fi utilizate la proiectarea microturbinelor Pelton;
- prototipul fizic al microturbinei, care va putea fi utilizat și în viitor la cercetări experimentale pe alte variante de geometrii ale rotoarelor și injectoarelor, 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 turbinelor de înaltă cădere și debite mici;
- investigarea mărimilor caracteristice ale turbinelor de înaltă cădere și debite mici și prelucrarea statistică a acestora în vederea generării unor relații matematice utilizabile în proiectare la alegerea orientativă a principalilor parametri ai turbinelor Pelton;
- concepția unei aplicații informatice de calcul a geometriei cupelor Pelton;
- proiectare constructivă microturbina Pelton;
- proiectare constructivă de variante de rotoare și injectoare;
- simularea numerică a curgerii și calcule de rezistență a unor componente ale microturbinei;
- execuția componentelor microturbinei;
- încadrarea microturbinei în ștandul experimental;
- cercetări experimentale derulate pe variante de rotoare respectiv injectoare.

Cercetările experimentale vor fi efectuate pe ștandul 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. 8 CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.
DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR**

8.1 Concluzii finale și contribuții personale

Teza de doctorat s-a axat pe studiul, proiectarea, execuția și cercetarea experimentală pe o microturbină Pelton, destinată căderilor ridicate și debitelor mici. Rezultatele acesteia constau în:

- rezultate teoretice (aplicație de proiectare rotoare Pelton, rezultate măsurători, rezultate simulări numerice, rezultate calcule de rezistență) care pot fi utilizate la proiectarea de noi geometrii de rotoare și injectoare;
- prototipul fizic al microturbinei, care poate fi utilizat în viitoare cercetări experimentale, ca material didactic sau ca material publicitar la expoziții, simpozioane sau conferințe.

Proiectarea prototipurilor industriale de turbine sau microturbine se bazează pe măsurătorile pe modele de turbine, motiv pentru care fiecare firmă furnizoare de turbine are un patrimoniu de modele încercate experimental. Dimensionarea prototipurilor industriale se bazează pe diagramele universale determinate experimental pe modele, iar garanțiile parametrilor oferiți se verifică de asemenea pe model în prezența beneficiarilor. În acest sens, pe lângă prototipul executat în cadrul tezei, care poate fi utilizat în viitor la măsurarea altor geometrii de rotoare, cea mai valoroasă contribuție a tezei este dată de cele 5 diagrame universale, care pot fi utilizate la proiectarea de prototipuri industriale de microturbine Pelton.

Generarea geometriei celor 2 variante de rotoare Pelton prin prototipare rapidă și utilizarea acestora la experimentări este o altă noutate a tezei, deoarece confirmă posibilitatea generării geometriei rotoarelor într-un timp incomparabil mai redus în raport cu tehnologia clasică, măbind astfel numărul de variante de rotoare posibil de încercat experimental.

Tabelul 8.1 sintetizează realizările și contribuțiile obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza:

Tabel 8.1

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 turbinelor de înaltă cădere și debite mici.	Sintetizarea rezultatelor actuale asupra turbinelor de înaltă cădere și debite mici.	• Parcurgerea bibliografică a unui număr de 100 referințe bibliografice.

Tabel 8.1

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

Obiectiv teză	Realizări obținute în cadrul tezei	Contribuții personale
Investigarea mărimilor caracteristice ale turbinelor de înaltă cădere și debite mici și prelucrarea statistică a acestora în vederea generării unor relații matematice utilizabile în proiectare la alegerea orientativă a principalilor parametri ai turbinelor Pelton.	Prelucrarea statistică a parametrilor turbinelor realizate (tabel 3.1).	<ul style="list-style-type: none"> • Reprezentarea grafică a dependenței mărimilor caracteristice pentru turbine de înaltă cădere și debite mici (graficele 3.1 ÷ 3.7, 3.8, 3.9). • Exprimarea analitică a dependențelor expresiile matematice, pentru valorile minimale, medii respectiv maxime, sub formă exponențială sau polinomială de gradul 2 (expresiile 3.13 ÷ 3.35). • Calcularea parametrilor principali ai turbinelor Pelton (tabel 3.2) pentru căderile H=400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 m, calculați prin relațiile 3.3, 3.9, 3.13÷3.35. • Aceste contribuții au aplicare imediată la proiectarea turbinelor Pelton.
Concepția unei aplicații informatice de calcul a geometriei cupelor Pelton.		<ul style="list-style-type: none"> • S-a elaborat aplicația de proiectare a rotoarelor Pelton „PeltonDesign”, elaborată în limbajul de programare Python. • Aplicația are aplicare imediată la proiectarea turbinelor Pelton.
Proiectare constructivă microturbina Pelton.	<ul style="list-style-type: none"> • Proiectul de execuție al microturbinei. • Desene de execuție a componentelor și ansamblului 	<ul style="list-style-type: none"> • S-a elaborat proiectul de execuție al microturbinei, care include inclusiv partea de măsurare a forței.

Tabel 8.1

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

Obiectiv teză	Realizări obținute în cadrul tezei	Contribuții personale
	microturbinei.	
Proiectare constructivă de variante de rotoare și injectoare.	<ul style="list-style-type: none"> • Desene de execuție a 2 variante de rotoare. • Desene de execuție a 3 variante de injectoare. 	<ul style="list-style-type: none"> • S-au proiectat 2 variante de rotoare, cu 21 respectiv 19 cupe. • S-au proiectat 3 variante de injectoare, cu diametrele diuzei $\Phi 13,3$ mm, $\Phi 14,8$ mm și $\Phi 16,3$ mm.
Simularea numerică a curgerii și calcule de rezistență a unor componente ale microturbinei.	<ul style="list-style-type: none"> • Simularea numerică a curgerii jetului liber. • Calcul de rezistență pe cupa Pelton. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcul caracteristica de debit a injectorului prin simulare numerică. • Calcul caracteristica de forță a injectorului prin simulare numerică. • Calcul solicitărilor în cupa Pelton prin simulare numerică. • Etapele de calcul pot fi aplicate la calcularea teoretică a caracteristicilor și a solicitărilor pentru orice altă geometrie de injector sau rotor.
Execuția componentelor microturbinei.	• Prototip fizic microturbină.	• Execuție componente prototip prin procedee clasice și prototipare rapidă.
Încadrarea microturbinei în ștandul experimental.	<ul style="list-style-type: none"> • Cercetări experimentale pe ștandul S.C. Hydro-Engineering S.A. Reșița. • Participare la măsurători, efectuate pe 2 variante de rotoare și 3 variante de injectoare. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rezultate experimentale pe microturbina Pelton, concretizate prin 5 diagrame universale cu aplicare imediată la proiectarea turbinelor Pelton.
Cercetări experimentale derulate pe variante de rotoare respectiv injectoare.		

8.2 Direcții viitoare de cercetare

Direcțiile viitoare de cercetare sunt următoarele:

- ✓ proiectarea și prototiparea rapidă a unor noi rotoare cu geometrie și număr de palete diferit;
- ✓ proiectarea și prototiparea rapidă a unor noi geometrii de injectoare (diuze și ac injector);
- ✓ proiectarea și realizarea unei carcase cu dimensiuni mai mari și cu peretele din spate înclinat, pentru a asigura evacuarea mai bună a apei turbinate;
- ✓ înlocuirea alternatorului cu un motor de curent continuu;
- ✓ cercetări experimentale pe noile geometrii ale rotorului, injectoarelor și carcasei.

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 cărora am expus activitatea și rezultatele studiilor doctorale, au rezultat un număr de 9 lucrări publicate reviste (3 indexate CNCSIS categoria B, 5 BDI, și 1 la o conferință internațională) în proceedings-uri sau în reviste după cum urmează:

1. Nedelcu D., Ianici D., Nedeloni M. D., Daia D., Pop F. M., Avasiloaie R. C., *The Aerodynamic Force Calculus for a Plate Immersed in a Uniform Air Stream Using SolidWorks Flow Simulation Module*, Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Finite Differences-Finite Elements-Finite Volumes-Boundary Elements (F-and-B '11), pag. 98÷103, ISBN 978-960-474-298-1, Paris, 28-30.04.2011, (BDI).
2. Nedelcu D., Ianici D., Nedeloni M. D., Daia D., Pop F. M., Avasiloaie R. C., *The Hydrodynamic Characteristics Calculus for Isolated Profile Go428 using Solidworks Flow Simulation Module*, Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Finite Differences-Finite Elements-Finite Volumes-Boundary Elements (F-and-B '11), pag. 92÷97, ISBN 978-960-474-298-1, Paris, 28-30.04.2011, (BDI).
3. Nedelcu D., Ianici D., Nedeloni M. D., Daia D., Pop F. M., Avasiloaie R. C., *Calculul forței aerodinamice și distribuției de presiuni pentru un coș vertical*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, an XI, vol. 20, pag. 269÷276, ISSN 2067-7138, București, 2011 (indexată CNCSIS categoria B).

4. 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).
5. 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).
6. 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).
7. 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).
8. Nedelcu D., Rajic A., Florea D., Avasiloaie R. C., *The Reverse Engineering of a Spring Support using the Noomeo Optinum 3D scanner and the Rapidform XOR3 software*, ANALELE UNIVERSITĂȚII “EFTIMIE MURGU”, an XX, nr. 1, ISSN: 1453-7397 (BDI).
9. Hopotă A., Nedelcu D., Avasiloaie R. C., *The Pelton runner design methodology*, 2nd edition of the THINK-HYDRO, International Conference, November 13-15, 2013, Resita, Romania.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ancușa, V., *Mecanica fluidelor și mașini hidraulice – Volumul II*, 1980.
- [2] Anton, I., *Turbine hidraulice*, Editura Facla, Timișoara, 1979.
- [3] Anton L.E., Baya A., *Mașini și echipamente hidromecanice*, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2001.
- [4] Anton, V., Popoviciu, M., Fitero, I., *Hidraulică și mașini hidraulice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
- [5] Bărglăzan, A. - *Mașini hidraulice*, Editura Institutului Politehnic Timișoara, 1951.
- [6] Barglazan, M., Catanase, A., *Dynamic identification of hydraulic turbines of Pelton type*, Proceedings of the 5th IASME / WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics, Athens, Greece, 25-27 August, 2007.
- [7] Bărglăzan, M., *Turbine hidraulice și transmisii hidrodinamice*, Editura Politehnica, Timișoara, 2001.
- [8] Berce, P., Balc, N., Ancau, M., ș.a. - *Fabricarea rapidă a prototipurilor*, Editura Tehnică, București, 2000.
- [9] Boldea, I., *Conversia directă a energiei – Producerea directă a energiei electrice*, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara, 1977.
- [10] Brekke, H., *Performance and safety of hydraulic turbines*, The 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Timișoara, Romania, 20-24 September, 2010.
- [11] Catanase, A., Bărglăzan, M., Hora, C., *Numerical simulation of a free jet in Pelton Turbine*, Scientific Bulletin of the “Politehnica” University of Timisoara, Transaction on Mechanics - Proceedings of The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics “HMM 2004”, Tom 49 (63), Special Issue, ISSN 1224-6077, Timișoara, 21-22 Octombrie 2004.
- [12] 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.
- [13] Ciobanu, B., *Turbomașini hidraulice – Partea I Hidrogeneratoare*, Iași, 2008.
- [14] Climescu, O.L., *Modelarea și optimizarea unui mecanism planetar cu lanț utilizabil ca amplificator de turație în micro-hidrocentrale*, Teză de doctorat, Universitatea Transilvania din Brașov, Septembrie, 2012.

- [15] Câmpian V. C., *Curs general de turbopompe*, Editura Eftimie Murgu, ISBN 973-99416-8-0, Reșița, 2000.
- [16] Câmpian V. C., *Turbine hidraulice de mică putere și microturbine. Principii de funcționare. Soluții constructive*, Editura Orizonturi Universitare, ISBN 973-638-036-X, Timișoara, 2003.
- [17] 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.
- [18] Deac C., Marina A.M., Biriș I., *Valorificarea resurselor eoliene în România*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XI, vol. 20, pag. 139÷146, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2011.
- [19] Dordea, T., ș.a., *Memoriu protest privind vânzarea, prin listare la Bursă, a unor active din patrimoniul deținut de S.C. Hidroelectrică S.A. – proprietate a Poporului Român*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, volumul 23, pag. XXIV÷XXIX, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2013.
- [20] Chiselev, P., *Îndreptar pentru calcule hidraulice* (traducere din limba rusă), Vol. 1, Editura Energetică de Stat, 1953.
- [21] Edel, I. U., *Pelton Hydraulic Turbines* (traducere din limba rusă), Editura Masghiz, Moscova, 1963.
- [22] Exarhu, M., *Turbine hidraulice și turbotransmisii*, Institutul Politehnic București, 1983.
- [23] Exarhu, M., *Mașini și instalații hidraulice și pneumatice*, Editura Andor Tipo, ISBN 973-0-04409-0, București, 2006.
- [24] Fiereder, R., Riemann, S., Schilling, R., *Numerical and experimental investigation of the 3D free surface flow in a model Pelton turbine*, The 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Timișoara, Romania, 20-24 September, 2010.
- [25] Ganz Holding, *Hydro Turbines*, Ganz Energetics Ltd, <http://ganz-holding.hu/en/index.html>.
- [26] Georgescu, A.M., Georgescu, S.C., *Hidraulica rețelelor de conducte și mașini hidraulice*, Editura Printech, București, 2007.
- [27] Gilkes. G., *Low cost Pelton turbine design and testing*, Report Number:

H/03/00074/REP, URN 03/1246, Gilbert Gilkes & Gordon Ltd., 2003.

[28] Gillich N., Piroi I., *Producerea, transportul și distribuția energiei electrice*, Editura Eftimie Murgu, ISBN 978-973-1906-39-3, Reșița, 2009.

[29] Grama, I., Arsenie, D., Mandrescu, G., *Specification for obtaining minimum dimensions of the Pelton water wheel, when the debit and fall of water head are given*, Scientific Bulletin of the “Politehnica” University of Timisoara, Transaction on Mechanics - Proceedings of The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics “HMM 2004”, Tom 49 (63), Special Issue, ISSN 1224-6077, Timișoara, 21-22 Octombrie 2004.

[30] Gurzău D.I., Nechita A., Biriș 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.

[31] Hopota A., Neda T., Megheleş O., *Compact micro-hydro-aggregates for storage plants exploiting the secondary hydraulic potential*, Proceedings of the 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics – HMH 2004, Timișoara.

[32] Hopota A., Grando I., *Microhidroagregate cu puteri până la 5 KW cu funcționare în sistem izolat*, THINK-HYDRO Conference, Reșița, 2011.

[33] Jošt, D., Mežnar, P., Lipej, A., *Numerical prediction of Pelton turbine efficiency*, The 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Timișoara, Romania, 20-24 September, 2010.

[34] Keck, H., Sick, M., *Thirty years of numerical flow simulation in hydraulic Turbomachines*, Acta Mech 201, pag. 211–229, 2008.

[35] Kjolle, A., *Hydropower in Norway. Mechanical Equipment*, Trondheim, 2001.

[36] Kovalev, N.N., *Turbine hidraulice. Construcții și probleme de proiectare*, Editura Mașinostroenie, Leningrad, 1971.

[37] Lăcătușu V., Exarhu M., *Turbine Hidraulice*, Societatea Comercială de Formare a Energeticienilor din România („FORMENERG” – S.A.), 2005.

[38] 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.

[39] Lăcătușu V., Paveliu I., *Exploatarea echipamentelor și instalațiilor mecanice din*

centralele hidroelectrice (Turbina Pelton), Societatea Comercială de Formare a Energeticienilor din România („FORMENERG” – S.A.), 2008.

[40] Lăcătușu V., Paveliu I., *Evenimente mecanice de exploatare în CHE și modul lor de gestionare*, Societatea Comercială de Formare a Energeticienilor din România („FORMENERG” – S.A.), 2009.

[41] 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.

[42] Matthias, H.B., Promper O., *Numerical simulation of the free surface flow in Pelton Turbines*, Scientific Bulletin of the “Politehnica” University of Timisoara, Transaction on Mechanics - Proceedings of The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics “HMM 2004”, Tom 49 (63), Special Issue, ISSN 1224-6077, Timișoara, 21-22 Octombrie 2004.

[43] Matthias, H.-B., Prost, J., Rossegger, C., *Investigation of the Flow in Pelton Turbines and the Influence of the Casing*, International Journal of Rotating Machinery, Vol. 3, No. 4, pag. 239-247, 1997.

[44] 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.

[45] Muggli, F., Zhang, Z., Innotec, S., *On the Way Towards the Fully Simulated Pelton Turbine*, SULZER TECHNICAL REVIEW 1/2003.

[46] Nasir, B. A., *Design of high efficiency Pelton Turbine for Microhydropower Plant*, International Journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET), ISSN 0976 – 6553 (Online), Volume 4, Issue 1, January- February 2013.

[47] Nedelcu, D., Pop, F.M., Cojocaru, V., Hopota, A., *Prototiparea rapida a unui rotor Pelton*, A XII-a Conferinta Nationala multidisciplinara-cu participare internationala „Profesorul Dorin PAVEL-Fondatorul hidroenergeticii romanesti” 1-2 iunie 2012, Sebeș, An XII Vol. 21/2012, ISSN 2067-7138.

[48] Nedelcu Dorian – *Proiectare și simulare numerica cu SOLIDWORKS*, Editura Eurostampa, Timisoara, ISBN 978-606-569-276-3, 2011.

- [49] Nedelcu Dorian – *Voice Commands of a 2D Graph*, Annual symposium of the Institute of Solid Mechanics SISOM 2010, Bucharest, May 27-28,, 2010.
- [50] Nedelcu Dorian – *Proiectarea asistată de calculator prin Microstation*, Editura Eurostampa Timișoara, ISBN 973-8244-03-X, 2001.
- [51] Nedelcu, D., Avasiloaie, R., Florea, D., *Aplicarea ingineriei inverse pentru reconstrucția unui rotor*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE”, An XIII, Vol. 23, ISSN 2067-7138, București, 2013.
- [52] 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.
- [53] Nedelcu, D., Rajic, A., Florea, D., Avasiloaie, R., *The Reverse Engineering of a Spring Support using the Noomeo Optinum 3D Scanner and the Rapidform XOR3 Software*, ANALELE UNIVERSITĂȚII “EFTIMIE MURGU” REȘIȚA, ANUL XX, NR. 1, ISSN 1453 – 7397, 2013.
- [54] Nedelcu, D., Câmpian, C.V., Pădurean, I., *Stress and Deformations on Pelton Blade Turbine calculated by Finite Elements Method*, Scientific Bulletin of the “Politehnica” University of Timisoara, Transaction on Mechanics - The International Conference on Hydraulic Machinery and Equipments “HME 2008”, Tom 53 (67), Special Issue, ISSN 1224-6077, Timișoara, 16-17 Octombrie 2008.
- [55] Nicolae, Gh., Sulugiu, M., *Hidraulica – Note de curs*, Instittul de Marină “Mircea cel Bătrân”, Constanța, 1985.
- [56] *Objet, Materials Data Sheets, Material Simulating Standard Plastics.*
- [57] Paish, O., *Small hydro power: technology and current status*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6 (2002) 537–556.
- [58] Pavel, D., *Mașini hidraulice*, Vol. 1, Editura Energetică de Stat, 1954.
- [59] Pavlov D., Mircea L., Sălciuanu C.L., *Utilizarea energiei vântului în România*, ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ, an XI, vol. 20, pag. 147÷152, Editura AGIR, ISSN 2067-7138, București, 2011.
- [60] Patel, K., Patel, B., Yadav, M., Foggia, T., *Development of Pelton turbine using numerical simulation*, The 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems,



*Cercetări teoretice și experimentale privind microturbine
de înaltă cădere și debite mici*

Timișoara, Romania, 20-24 September, 2010.

[61] Piroi I., *Utilizarea energiei electrice*, Editura Eftimie Murgu, ISBN 978-973-1906-27-0, Reșița, 2009.

[62] Piroi I., Cziple F., Pomoja F., *Conversia energiei regenerabile a apei, pământului și a deșeurilor organice*, Colecția ORIZONTURI TEHNICE, Editura Eftimie Murgu, ISBN 978-973-1906-86-7, Reșița, 2010.

[63] 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

[64] Popovociu M. O., Bordeășu I., *Necesitatea valorificării micropotențialului hidraulic în România*, Buletinul AGIR – Energii alternative, nr.3, ISSN-L 1224-7928, pag. 62÷68, iulie-septembrie, 2007.

[65] Payne, J., *Beginning Python. Using Python 2.6 and 3.1*, Wiley Publishing Inc., ISBN 978-0-470-41463-7, 2010.

[66] Robescu D., Naianu B.P., *Pompe, ventilatoare, suflante și compresoare*, Editura AISTEDA, București, 2002.

[67] Sadlo, F., Peikert, R., Parkinson, E., *Vorticity Based Flow Analysis and Visualization for Pelton Turbine Design Optimization*, Appeared in the Proceedings of IEEE Visualization, 2004.

[68] Solemslie, B. W., Dahlhaug, O. G., *A reference Pelton turbine design*, The 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Beijing, China 19 – 23 August, 2012.

[69] 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.

[70] Stroiță D.C., *Identificarea dinamică a turbinelor cu dublu flux*, Teză de doctorat, Timișoara, ISSN 1842-4937, ISBN 978-973-625-902-9, 2009.

[71] Stematiu, D., *Amenajări hidroenergetice*, Editura CONSPRESS, București, 2008.

[72] Ursu I., Mercea V., Groșanu L., Mircioiu C., Văсарu G., *Investigații în domeniul energiei – Volumul I*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1982.

[73] Velicescu, C., *Ingineria sistemelor de producere și distribuție a energiei electrice*, Ediție revizuită, Editura Politehnica, Timișoara, 2005.

- [74] Vințan, M., *Producerea, transportul și distribuția energiei electrice*, Editura Matrix Rom, București, 2009.
- [75] White, F. M., *Fluid Mechanics*, University of Rhode Island, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering.
- [76] Wollmann, V., *Patrimoniul preindustrial și industrial în România – Volumul III*, Editura Honterus, ISBN 978-973-1725-85-7, Sibiu, 2012.
- [77] Wollmann, V., *Patrimoniul preindustrial și industrial în România – Volumul I*, Editura Honterus, ISBN 978-973-1725-66-6, Sibiu, 2010.
- [78] Xiao, Y. X., Cui, T., Wang, Z. W., Yan, Z. G., *Numerical simulation of unsteady free surface flow and dynamic performance for a Pelton turbine*, The 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Beijing, China, 19 – 23 August, 2012.
- [79] Yadav, S., *Some Aspects of Performance Improvement of Pelton Wheel Turbine with Reengineered Blade and Auxiliary Attachments*, International Journal of Scientific & Engineering Research, ISSN 2229-5518, Volume 2, Issue 9, September, 2011.
- [80] *** Academician Prof. dr. doc. ing. Anton, I., *Istoricul dezvoltării turbinelor hidraulice din România*, Prelegere invitată la a 11-a Conferință Națională a Cercetării Științifice din Învățământul Superior, Timișoara, 7 mai 2009.
- [81] *** Design of Pelton turbines.
- [82] *** Veselý, J., Varner, M., A Case Study of Upgrading of 62.5MW Pelton Turbine.
- [83] *** Brekke, M. H., IEA Technical Report – Small Hydro-Mechanical Equipment, Trondheim, Norway, 2000.
- [84] *** Gonzalez, E. Y. G., Martínez, S. H., Gamez, A. M., *Measuring system for Pelton Turbine*.
- [85] *** Raportul științific și tehnic (RST) în extenso, *Harta micropotențialului hidroenergetic al României – Abordări complexe tehnicoeconomice*, Etapa IV, Universitatea din București, 2011.
- [86] *** Technological Leadership, *Pelton turbine design of Gilgel Gibe II*, The author, Reiner Mack, nis Voith Siemens Hydro's Product Responsible for Pelton turbines.
- [87] *** Barstad, L. F., *CFD Analysis of a Pelton Turbine*, Norwegian University of Science and Technology, June 2012.



*Cercetări teoretice și experimentale privind microturbine
de înaltă cădere și debite mici*

- [88] *** Kjølle, A., *Hydropower in Norway - Mechanical Equipment*, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, December, 2001.
- [89] *** HAP - *Best Practice Catalog, Pelton Turbine*, MESA ASSOCIATES, INC. and OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, Revision 1.0, 12/06/2011.
- [90] *** *Pelton Turbines*, Kössler Gesellschaft m.b.H., Wasserkraftanlagen, Hauptstraße 122-124, St. Georgen.
- [91] *** Appendix 6: Choosing the Right Turbine.
- [92] *** *Universul Ingineresc*, Anul XXIV, Nr. 12 (538), ISSN 1223-0294, București, Editura AGIR, 2013.
- [93] *** *Universul Ingineresc*, Anul XXIII, Nr. 15 (517), ISSN 1223-0294, București, Editura AGIR, 2012.
- [94] *** Colleen, S., *Renewable Energy – Science Education Manual*, Horizon Fuel Cell Technologies, 2009.
- [95] www.cchapt.ro
- [96] www.hidroelectrica.ro
- [97] <http://www.armfield.co.uk>
- [98] <http://www.erneuener-plus.at/turbinenbau.html>
- [99] <http://www.der-wasserwirt.at/index.php?id=78>
- [100] <http://files.harc.edu/Documents/EBS/CEDP/HydropowerPart2.pdf>