



Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013  
**Investește în oameni!**

**Proiect InnoRESEARCH - POSDRU/159/1.5/S/132395**

*Burse doctorale și postdoctorale în sprijinul inovării și competitivității în cercetare*

**UNIVERSITATEA EFTIMIE MURGU DIN REȘIȚA**  
**Facultatea de Inginerie și Management**  
 Departamentul de Mecanică și Ingineria Materialelor

Nr. Decizie Senat 300 din 30.07.2015

# TEZĂ DE DOCTORAT

*Contribuții privind perfecționarea metodelor de măsurare experimentală și prelucrarea rezultatelor pe ștandul de încercări modele turbine hidraulice*

*Contributions regarding the improving of experimental measurement methods and processing the results on the test rig for hydraulic turbine models*

**Autor: ing. Adelina Ghican (Bostan)**

**Conducători de doctorat: Prof. univ.dr.ing. Dorian Nedelcu**

**Prof. univ.dr.ing. Constantin Viorel Câmpian**

## COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof. univ.dr.ing. Doina Frunzăverde	de la	Universitatea "Eftimie Murgu" din Reșița
Conducători de doctorat	Prof. univ.dr.ing. Dorian Nedelcu	de la	Universitatea "Eftimie Murgu" din Reșița
	Prof. univ.dr.ing. Constantin Viorel Câmpian	de la	Universitatea "Eftimie Murgu" din Reșița
Referent	Prof. univ.dr.ing. Ilare Bordeășu	de la	Universitatea "Politehnică" din Timișoara
Referent	Prof. univ.dr.ing. Liviu Ioan Vaida	de la	Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Referent	Prof. univ.dr.ing. Gilbert Rainer Gillich	de la	Universitatea "Eftimie Murgu" din Reșița

Reșița

## PREFAȚĂ

Prezenta teză de doctorat intitulată “*Contribuții privind perfecționarea metodelor de măsurare experimentală și prelucrarea rezultatelor în ștandul de încercări modele turbine hidraulice*” constituie o sinteză a activității de cercetare teoretică și experimentală realizată de către autor, referitor la concepția unei aplicații specializate în generarea caracteristicilor energetice ale tuturor modelelor de turbine hidraulice: Pelton, Francis, Kaplan, pe baza măsurătorilor pe modele în ștandul de încercări, având drept scop obiectivizarea procesului de trasare a acestor caracteristici. Aplicația se va valida prin calcularea/trasarea grafică a caracteristicilor universale pentru mai multe variante de rotoare de tip Pelton, Francis, Kaplan, respectiv a mai multor variante de caracteristici de exploatare, plecând de la date experimentale obținute în ștand.

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

**Capitolul 1** prezintă principalele trei tipuri de turbine hidraulice (Pelton, Francis și Kaplan) împreună cu parametrii specifici ai acestora și sintetizează stadiul actual al laboratoarelor specializate în măsurători pe modele de turbine pentru determinarea caracteristicilor energo-cavitaționale și verificarea garanțiilor. Rolul unui ștand de încercări este de a reproduce în similitudine geometrică totală fenomenele fizice care au loc într-o turbină industrială. În acest capitol sunt prezentate pentru fiecare ștand schema, caracteristicile, metodologie de măsură, relații de calcul și preciziile de măsură.

**Capitolul 2** ilustrează obiectivele tezei de doctorat.

**Capitolul 3** abordează problematica importanței caracteristicii universale în domeniul construcțiilor de turbine hidraulice. În cadrul acestui capitol sunt ilustrate metodele de calcul a elementelor de curgere ale turbinei, care permit determinarea pe cale teoretică a traseului optim de curgere, dar și calitățile cavitaționale necesare la căderea și debitele date. Etapa următoare presupune testarea modelelor calculate în laborator și stabilirea formelor optime ale părții de curgere a turbinei proiectate. Capitolul continua cu prezentarea caracteristicilor universale pentru turbine cu simplu reglaj (Pelton, Francis) și cu dublu reglaj (Kaplan, Bulb) obținute pe baza valorilor rezultate din încercările pe model. Caracteristica universală a modelului de turbină încercat permite determinarea caracteristicii de exploatare a turbinei prototip pe baza unor relații de similitudine între model și prototip.

**Capitolul 4** este axat pe modul de achiziție a datelor experimentale obținute pentru modelele de turbine hidraulice încercate, precum și pe relațiile utilizate pentru prelucrarea acestor date. Acest capitol debutează cu descrierea aparatului utilizat, în ștandul de încercări, pentru achiziția datelor experimentale a modelului de turbină încercat și continuă cu prezentarea relațiilor de calcul a parametrilor necesari la trasarea caracteristicii universale, pe baza căreia se trag concluzii asupra funcționării tipului de turbină încercat.

**Capitolul 5** prezintă aplicația **HydroHillChart – Modulul Pelton**, care permite calculul caracteristicii universale pentru modele de turbine hidraulice de tip Pelton, prin prelucrarea datelor măsurate pe ștand. Aplicația generează caracteristica universală pentru modele de turbine Pelton și oferă instrumentele necesare utilizării acesteia în proiectarea turbinelor de tip Pelton: vizualizarea grafică a dependențelor funcționale, intersecții în caracteristica universală, generarea de rezultate numerice și exportul acestora în programe uzuale: Excel, Word, PDF. Validarea modulului Pelton al aplicației a fost făcută prin trasarea caracteristicilor universale pentru patru modele de rotoare Pelton, a căror date de intrare au fost preluate din literatura de specialitate, ca puncte discrete din

caracteristica existentă. Caracteristica universală existentă a fost comparată cu cea calculată de aplicația **HydroHillChart – Modulul Pelton**.

**Capitolul 6** prezintă aplicația **HydroHillChart – Modulul Francis**, destinată calculului caracteristicii universale pentru modele de turbine hidraulice de tip Francis. Aplicația permite calculul caracteristicii universale pentru două variante de seturi de date de intrare, în funcție de mărimea pe baza căreia s-au efectuat măsurătorile  $a_o = \text{const.}$  sau  $n_{11} = \text{const.}$ . Cele două caracteristici obținute pentru același set de date de intrare se compară prin suprapunerea grafică a isoliniilor, rezultând o diferență nesemnificativă a acestora astfel fiind validați algoritmi de interpolare utilizați. Modulul Francis oferă un set de instrumente pentru vizualizarea grafică a dependențelor funcționale specifice unei turbine Francis: calculul caracteristicii universale, a curbelor/punctelor de intersecție cu  $n_{11}/Q_{11}$ , exportul rezultatelor în programe uzuale: Excel, Word, PDF. În continuare sunt calculate caracteristicile universale pentru patru modele de rotoare de tip Francis utilizând aplicația **HydroHillChart – Modulul Francis**. Această aplicație permite vizualizarea independentă a curbelor de interpolare  $\eta = f(n_{11})$  și  $Q_{11} = f(n_{11})$  pentru fiecare deschidere  $a_o = \text{const.}$  a aparatului director, a diagramei ce conține curbele de interpolare la toate deschiderile aparatului director, a curbelor  $\eta = f(a_o)$  și  $\eta = f(Q_{11})$  dar și a punctelor de intersecție obținute pentru o valoare constantă a turației dublu unitare  $n_{11}$ .

**Capitolul 7** prezintă aplicația **HydroHillChart – Modulul Kaplan** care permite calculul caracteristicii universale pentru modele de turbine hidraulice de tip Kaplan. Pentru turbinele cu dublu reglaj (Kaplan), încercările se bazează pe modificarea unghiului  $\varphi$  al paletelor rotorului, respectiv a poziției paletelor aparatului director, ceea ce modifică deschiderea  $a_o$ . Aplicația oferă posibilitatea vizualizării grafice a datelor de intrare precum și calcularea/vizualizarea caracteristicilor elicoidale pentru fiecare poziție " $\varphi$ " a paletelor rotorului, obținându-se în final caracteristica universală pentru modelul de rotor Kaplan încercat. Validarea modulului Kaplan al aplicației a fost făcută prin trasarea caracteristicii universale pentru un model de rotor Kaplan.

**Capitolul 8** prezintă aplicația **HydroHillChart – Modulul DEX** care permite calculul caracteristicii de exploatare a turbinei prototip. Caracteristica de exploatare este documentul de referință utilizat în exploatarea turbinei prototip și se obține din caracteristica universală prin transpunere pe baza unor relații de similitudine între model și prototip. În cadrul acestui capitol sunt prezentate calculul caracteristicii de exploatare a prototipului, pe baza punctelor măsurate în laborator pe model, metodologia și relațiile de transpunere de la model la prototip precum și interfața modulului DEX. În următoarea etapă, cu ajutorul modulului DEX, s-au calculat trei caracteristici de exploatare, pentru trei obiective industriale simbolizate O1, O2, O3, plecând de la datele măsurate pe același model, exemplificând astfel capabilitățile aplicației. Astfel, s-a realizat o comparație a celor trei caracteristici, din care a rezultat posibilitatea turbinei prototip de a funcționa în diferite domenii de căderi și puteri, pentru diferite diametre și turații.

**Capitolul 9** prezintă concluzii finale și contribuții personale, direcții viitoare de cercetare și diseminarea rezultatelor.

Teza se încheie cu **Bibliografie**.

Teza se întinde pe 202 pagini și conține: 313 figuri (inclusiv poze), 23 tabele, 87 relații și 101 referințe bibliografice.

Turbinele hidraulice moderne, diferite mult constructiv de predecesoarele lor, constituie echipamentul hidroenergetic de bază al amenajărilor hidroenergetice.

Laboratorul de Cercetări Mașini Hidraulice din Reșița a fost înființat în anul 1971. Dezvoltarea continuă a bazei tehnico-materiale din cadrul Laboratorului de Cercetări Mașini Hidraulice - Reșița, precum și organizarea întregii activități de cercetare în domeniu mi-au permis

orientarea activității spre prelucrarea superioară a datelor achiziționate în timpul măsurărilor pe modele în ștandul de garanții al laboratorului.

Prezenta teză a rezultat ca urmare a cunoștințelor dobândite pe băncile facultății din Reșița și din experiența dobândită în decursul celor 5 ani de activitate în domeniu, experiență obținută prin cercetările teoretice și experimentale pe care le-am efectuat asupra mașinilor hidraulice în special în prelucrarea datelor experimentale pentru trasarea "caracteristicii universale" pe tipuri de modele de turbine hidraulice (Pelton, Francis și Kaplan).

Un cuvânt special de mulțumire doresc să adresez domnilor profesori prof. univ. dr. ing. Dorian NEDELUCU și prof. univ. dr. ing. Constantin Viorel CÂMPIAN care, în calitatea dumnealor de conducătorii științifici, pentru sugestiile de o înaltă competență profesională și științifică, pentru îndrumarea și ajutorul acordat în toate fazele realizării acestei lucrări.

Pentru realizările obținute, concretizate prin prezenta teză de doctorat, autoarea rămâne profund recunoscătoare tuturor profesorilor săi din cadrul Universității "Eftimie Murgu" din Reșița care au participat la examenele și referatele susținute, prin sugestiile utile în vederea îmbunătățirii conținutului tezei: prof. univ. dr. ing. Dorian NEDELUCU, prof. univ. dr. ing. Constantin Viorel CÂMPIAN, prof. univ. dr. ing. Gilbert-Rainer GILLICH, conf. univ. dr. ing. Călin Micloșină, dar nu în ultimul rând și domnilor prof. univ. dr. ing. Ilare BORDEAȘU de la Universitatea "Politehnică" din Timișoara și prof. univ. dr. ing. Liviu Ioan VAIDA de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

Mulțumesc conducerii și colegilor din cadrul S.C. HYDRO-ENGINEERING S.A. Reșița și în mod special conducerii Laboratorului de Cercetări Mașini Hidraulice pentru bunăvoința și sprijinul pe care l-au acordat tuturor solicitărilor mele referitoare la finalizarea acestei teze și în mod deosebit domnului ing. Ioan HOȚA, director Cercetare - Dezvoltare, ing. Adrian Teofil HOPOTĂ, șef laborator și domnei Maria Corina BUȘEA pentru suportul tehnic oferit pe parcursul elaborării tezei.

Exprim pe această cale mulțumirile mele conducerii Universității "Eftimie Murgu" din Reșița, doamnei rector prof. univ. dr. ing. Doina FRUNZĂVERDE și Centrului de Elaborare și Management al Proiectelor de Dezvoltare Instituțională POSDRU din cadrul Universității "Politehnică" din București, pentru suportul acordat pe parcursul studiilor doctorale.

*Rezultatele prezentate în teza de doctorat au fost obținute cu sprijinul Ministerului Fondurilor Europene prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, Contract nr. POSDRU/159/1.5/S/132395, program desfășurat sub egida Universității „Politehnică” din București în cooperare cu Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița.*

În final, dar nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei mele pentru înțelegerea și sprijinul care mi le-au acordat pe întreg parcursul elaborării tezei de doctorat și doresc să-i asigur că mi-au oferit cel mai important sprijin, motiv pentru care țin să le adresez tuturor cele mai calde sentimente de iubire, considerație și respect.

Reșița, 2015

Drd. ing. Adelina GHICAN (BOSTAN)

## CUPRINS

Prefață.....	2
Listă figuri .....	8
Listă tabele .....	16
Listă notații .....	17
<b>Cap. 1 STADIUL ACTUAL AL LABORATOARELOR SPECIALIZATE ÎN MĂSURĂTORI PE MODELE DE TURBINE HIDRAULICE.....</b>	<b>20</b>
1.1 Generalități .....	20
1.2 Turbine hidraulice și parametrii caracteristici ai acestora .....	20
1.2.1 Turbina hidraulică de tip Pelton .....	21
1.2.2 Turbina hidraulică de tip Francis .....	23
1.2.3 Turbina hidraulică de tip Kaplan .....	24
1.3 Laboratorul de încercări, pe modele de turbine hidraulice, SULZER din Zurich (Elveția) .....	26
1.4 Laboratorul Institutului de Mașini Hidraulice și Mecanica Fluidelor Lausanne (Elveția) .....	27
1.5 Ștandul de încercări modele de turbie cu reacțiune a Institutului de Cercetare din Gratz (Austria) .....	30
1.6 Ștandul de încercări modele de turbie cu reacțiune al firmei MCE (VOEST) din Linz (Austria) .....	33
1.7 Ștandul de încercări modele de garanție al Direcției de Cercetare al S.C. HydroEngineering S.A. din Reșița (România) .....	35
1.8 Ștandul de încercări de randamente și cavitație a turbinelor Kaplan și bulb, Kvaerner Hydro din Trollhatan (Suedia) .....	39
1.9 Stațiunea universală de încercări modele de turbine hidraulice RIVA CALZONI din Milano (Italia) .....	40
1.10 Ștandul de încercări modele de joasă presiune al firmei CKD Blansko din Cehia .....	42
1.11 Ștandul de încercări modele turbine de joasă cădere și debite mari TOSHIBA din Tokyo (Japonia) .....	44
1.12 Ștandul de încercări MITSUBISHI din Tokyo (Japonia) .....	46
1.13 Ștandul de încercări FUJI pentru modele de medie cădere .....	47
1.14 Ștandul de încercări LMZ (Leningradsky Metallichesky Zavod) .....	50
1.15 Ștandul de încercări pe modele de turbine al firmei Turboinstitut din Ljublijana (Slovenia) .....	53
1.16 Similitudinea turbinelor hidraulice .....	55
1.17 Turbinele tip .....	57
1.18 Efectul de scară .....	58
1.19 Concluzii .....	59
<b>Cap. 2 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT .....</b>	<b>60</b>
<b>Cap. 3 CURBE CARACTERISTICE ENERGETICE ȘI CAVITAȚIONALE REZULTATE DIN ÎNCERCĂRILE PE MODEL .....</b>	<b>61</b>
3.1 Generalități .....	61

<b>3.2 Caracteristicile universale ale turbinelor .....</b>	<b>64</b>
3.2.1 Caracteristica universală a turbinelor cu simplu reglaj .....	68
3.2.2 Caracteristica universală a turbinelor cu dublu reglaj .....	72
<b>3.3 Concluzii .....</b>	<b>74</b>
<b>Cap. 4 ACHIZIȚIA ȘI PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE LA ÎNCERCĂRI PE MODEL .....</b>	<b>75</b>
<b>4.1 Generalități .....</b>	<b>75</b>
<b>4.2 Stand de încercări pe modele de turbine hidraulice .....</b>	<b>75</b>
<b>4.3 Determinarea caracteristicilor energetice pentru o turbină de tip Pelton .....</b>	<b>79</b>
<b>4.4 Determinarea caracteristicilor energetice pentru o turbină de tip Francis .....</b>	<b>84</b>
<b>4.5 Determinarea caracteristicilor energetice pentru o turbină de tip Kaplan .....</b>	<b>87</b>
<b>4.6 Concluzii .....</b>	<b>93</b>
<b>Cap. 5 CALCUL DIAGRAMĂ UNIVERSALĂ PENTRU TURBINELE DE TIP PELTON .....</b>	<b>94</b>
<b>5.1 Generalități .....</b>	<b>94</b>
<b>5.2 Modulul Pelton. Prezentare generală .....</b>	<b>95</b>
5.2.1 Bara de instrumente a modulului Pelton .....	96
5.2.2 Bara de instrumente pentru grafice .....	97
5.2.3 Crearea unei noi baze de date pentru măsurători .....	97
5.2.4 Deschiderea unei baze de date pentru măsurători.....	97
5.2.5 Informații despre baza de date.....	97
5.2.6 Vizualizarea grafică a măsurătorilor primare.....	98
5.2.7 Calcularea caracteristicii universale pentru rotoare Pelton.....	98
5.2.8 Intersecții în caracteristica universală a rotoarelor Pelton.....	101
5.2.9 Exportul datelor în Excel.....	102
<b>5.3 Calculul caracteristicilor universale pentru modele de rotoare Pelton utilizând aplicația HydroHillChart - Modulul Pelton .....</b>	<b>104</b>
5.3.1 Calcularea caracteristicii universale pentru rotorul V2-16.3 .....	104
5.3.2 Calcularea caracteristicii universale pentru rotorul K461 .....	110
5.3.3 Calcularea caracteristicii universale pentru rotorul K560 .....	115
5.3.4 Calcularea caracteristicii universale pentru rotorul K600/461 .....	119
<b>5.4 Concluzii .....</b>	<b>124</b>
<b>Cap. 6 CALCUL DIAGRAMĂ UNIVERSALĂ PENTRU TURBINELE DE TIP FRANCIS .....</b>	<b>125</b>
<b>6.1 Generalități .....</b>	<b>125</b>
<b>6.2 Modulul Francis. Prezentare generală.....</b>	<b>125</b>
6.2.1 Bara de instrumente a modulului Francis .....	127
6.2.2 Vizualizarea grafică a măsurătorilor primare.....	127
6.2.3 Calcularea și trasarea caracteristicii universale pentru rotoare Francis.....	130
6.2.4 Comparatie caracteristici universale .....	133
6.2.5 Exportul datelor în Excel.....	133
<b>6.3 Calculul caracteristicilor universale pentru modele de rotoare Francis utilizând aplicația HydroHillChart - Modulul Francis .....</b>	<b>135</b>
6.3.1 Calcularea caracteristicii universale pentru rotorul RO75-702 .....	135
6.3.2 Calcularea caracteristicii universale pentru rotorul F316.5 .....	142
6.3.3 Calcularea caracteristicii universale pentru rotorul RO140 .....	148

6.3.4	Calcularea caracteristicii universale pentru rotorul RO115 .....	153
<b>6.4</b>	<b>Concluzii .....</b>	<b>158</b>
<b>Cap. 7</b>	<b>CALCUL DIAGRAMĂ UNIVERSALĂ PENTRU TURBINELE DE TIP KAPLAN .....</b>	<b>159</b>
7.1	Generalități .....	159
7.2	Modulul Kaplan. Prezentare generală.....	159
7.2.1	Bara de instrumente a modulului Kaplan .....	166
7.2.2	Vizualizarea grafică a măsurătorilor primare la $n_{11}=\text{const.}$ .....	167
7.2.3	Vizualizarea grafică a măsurătorilor primare la $\varphi =\text{const.}$ .....	169
7.2.4	Vizualizarea grafică a măsurătorilor primare la $n_{11}/\varphi =\text{const.}$ .....	171
7.2.5	Trasarea înfășurătoarei.....	173
7.2.6	Calcularea caracteristicii elicoidale/universale pentru un rotor Kaplan .....	176
<b>7.3</b>	<b>Concluzii .....</b>	<b>179</b>
<b>Cap. 8</b>	<b>CARACTERISTICA DE EXPLOATARE .....</b>	<b>180</b>
8.1	Generalități .....	180
8.2	Transpunerea parametrilor de la model la prototip .....	180
8.3	Interfața modulului DEX .....	182
8.4	Măsurători primare pe model.....	184
8.5	Parametrii obiectivelor industriale .....	188
8.6	Concluzii .....	191
<b>Cap. 9</b>	<b>CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR .....</b>	<b>192</b>
9.1	Concluzii generale și contribuții personale .....	192
9.2	Direcții viitoare de cercetare .....	194
9.3	Diseminarea rezultatelor.....	194
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>197</b>	

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Ancușa, V., “*Mecanica fluidelor și mașini hidraulice*”, Curs litografiat, IPTV, Timișoara, 1980.
- [2] Angot, A., “*Complemente de matematici pentru inginerii din electrotehnică și telecomunicații*”, Editură Tehnică, București, 1965.
- [3] Anton, I., “*Energetic and cavitation scale-up effects in hydraulic turbines*”, Editura Orizonturi Universitare, ISBN 973-8391-25-3, Timișoara, 2002.
- [4] Anton I., Aghel A., Preda I., “*Influența numărului de palete asupra caracteristicilor de cavitație la turbinele axiale*”, Conferința ”Comunicările Conferinței de mașini hidraulice”, Timișoara, 1964.
- [5] Anton L.E., Baya A., ”*Mecanica fluidelor, mașini hidraulice și acționări*”, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2002.
- [6] Anton, I., “*Turbine hidraulice*”, Editura Facla, Timișoara, 1979.
- [7] Anton, I., “*Cavitația - Vol. I*”, Editura Academiei, București, 1984.
- [8] Anton, I., “*Cavitația - Vol.2*”, Editura Academiei, București, 1985.
- [9] Anton, I., Câmpian, V., Carte, I., “*Hidrodinamica turbinelor bulb și a turbinelor -pompe bulb*”, Editura Tehnică, București, 1988.
- [10] Anton, I., Tămaș, M., Baya, A., “*Analiza pierderilor hidraulice în rotorii mașinii hidraulice reversibile*”, Protocol CCSITEH, Reșița, 1983.
- [11] Anton, I., Tămaș, M., Baya, A., “*Calculul pierderilor hidraulice în turbinele radiale și radial-axiale cu aplicații la optimizarea diagramei univernale*”, Protocol CCSITEH, Reșița, 1985.
- [12] Anton, I., Tămaș, M., Baya, A., “*Studiul influenței parametrilor geometrici și hidrodinamici asupra bilanțului energetic la turbinele radiale*”, Protocol CCSITEH, Reșița, 1984.
- [13] Avasiloaie Raoul, *Cercetări teoretice și experimentale privind microturbine de înaltă cădere și debite mici*, Teză de doctorat, Universitatea Eftimie Murgu din Reșița, Noiembrie, 2013.
- [14] Băran Gh., “*Cavitație și eroziune cavitațională*”, Editura Tehnică, ISBN 973-31-2058-8, București, 2001.

- [15] Baya, A., “*Studiul pierderilor hidraulice în turbinele radiale tip Francis, cu aplicație la turbinele de foarte înaltă cădere, care echipează CHE Bradul Râul Mare Retezat*”, Teză de doctorat, IPTV, Timișoara, 1993.
- [16] Baya, A., Tămaș, M., “*Determinarea prin calcul a diagramei universale la turbinele hidraulice tip Francis*”, Conferința de mașini hidraulice și hidrodinamică Vol.2, Timișoara, 1985.
- [17] Baya, A., Tămaș, M., “*Influența unor parametrii geometrici și funcționali asupra caracteristicilor energetice ale turbinelor radiale tip Francis*”, Conferința de mașini hidraulice și hidrodinamică Vol.2, Timișoara, 1985.
- [18] Bădărău Rodica, “*Probleme de hidrodinamică, rețele de conducte, canale și mașini hidraulice*”, ediția a 2-a revizuită și completată, Timișoara, 2013.
- [19] Benjamin, V.R., “*Interactive Applications using Matplotlib*”, Packt Publishing, ISBN: 1783988843, 2015.
- [20] Beu, A.T., “*Analiză numerică în TurboPascal*”, Editura MicroInformatica, ISBN 973-95718-5-9, Cluj-Napoca, 1992.
- [21] Brekke, H., “*Choice of equipment for hyro*”, Trondheim, Norway, 2005.
- [22] Câmpian C.V. , “*Performanțele turbinelor vechi și re tehnologizate de la hidrocentrala Porțile de Fier I*”, Editura “Eftimie Murgu” , ISBN 973-99005-3-4, Reșița, 1999.
- [23] Chorin, A., Marsden, J.E., “*A Mathematical Introduction to Fluid Mechanics*”, Library of Congress Cataloging in Publication Data, 2000.
- [24] Corneliu Berbente, Sorin Mitran, Silviu, Zancu, “*Metode Numerice*”, Editura Tehnică, ISBN 973-31-1135-X, București, 1998.
- [25] Cuzmoș Gheorghe Adrian, “*Contribuții la determinarea performanțelor turbinelor cu dublu reglaj prin probe index*”, Teză de doctorat, Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița, 2013.
- [26] Devert Alexandre , “*Matplotlib Plotting Cookbook*”, Packt Publishing, ISBN 978-1-84951-326-5, Birmingham , 2014.
- [27] Dixon, S.L., “*Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*”, Butterworth Heinemann, 1998.
- [28] Edel Iu.U., “*Turbine hidraulice Pelton. Teorie, cercetare, calcule (traducere din limba rusă)*”, Editura Masghiz, Moscova, 1963.
- [29] ESHA, “*Guide on how to develop a small hydropower plant*”, 2004.

- [30] Führer, C., Solem J. E., Verdier O., "Computing with Python - An Introduction to Python for Science and Engineering". Pearson, 2014.
- [31] Ghican (Bostan) A., Nedelcu D., Peris-Bendu F., "Calculul caracteristicilor universale pentru modele de rotoare Pelton utilizând aplicația HydroHillChart - Modulul Pelton", Analele UEMR, ANUL XXII, NR.1, 2015, ISSN 1453 - 7397.
- [32] Grein H., "The Wyss Hydraulic Test Beds. Sulzer Escher Wyss", Zurich Switzerland.
- [33] Guriev V.P., "Încercarea mașinilor hidraulice", Editura "Energetică de Stat", București, 1955.
- [34] Holmes, M.H., "Introduction to Numerical Methods in Differential Equations", Ed. Springer, Troy, 2000.
- [35] Hunter, J. D., "Matplotlib. A 2D graphics environment", Computing In Science & Engineering, Volume 9, Number 3, 2007.
- [36] Ida, T., "Analysis of scale effects on performance characteristics of hydraulic turbines", Journal of hydraulic research, Vol.27, 1989.
- [37] Jorde, K., Sommer, F., "Lectures in Hydropower Systems", UNESCO - IHE, Delft, 2008.
- [38] Julieta Florea, "Mecanica fluidelor și mașini hidropneumatice", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [cpp] [39] Kovalev N. N., "Turbine hidraulice. Construcții și probleme de proiectare", Editura Mașinostroenie, Leningrad, 1971.
- [40] Kreith, F., Berger, S.A., "Fluid Mechanics", Ed. Frank Kreith, Boca Raton CRC Press LLC, 1999.
- [41] Langtangen H., P., "A Primer on Scientific Programming with Python", ISBN: 3642024742, Springer, 2009.
- [42] Lawrence, S., "Hydropower", Leeds School of Business, University of Colorado Boulder, 2007.
- [43] Lejeune, A., Topliceanu, I., "Energies renouvelables et cogeneration pour le developpment durable en Afrique", Universite de Liege, Faculty of Science Applied, EREC, 2002.
- [44] Luis Pedro Coelho, Willi Richert, "
- [45] Mihai Exarhu, "Turbine hidraulice și turbotransmisii", Institutul Politehnic București, 1983.
- [46] Mike Ohlson de Fine , " Python 2.6 Graphics Cookbook", Packt Publishing, ISBN 978-1-849513-84-5, Birmingham , 2010.
- [47] Mosonyi, E., "Water power development", Akademia Budapest, 1991.

- [48] Muntean S. – “*Analiza numerică a curgerii în turbinele hidraulice Francis*”, Editura Orizonturi Universitare, ISBN 978-973-638-355-7, Timișoara, 2008.
- [49] Muntean S.– “*Metode numerice pentru determinarea câmpurilor tridimensionale din rotoarele turbinelor Francis*”, Teză de doctorat, Timișoara, 2002.
- [50] Nakayama, Y., Boucher, R.F., “*Introduction to Fluid Mechanics*”, Butterworth Heinemann, Oxford, 1999.
- [51] Nedelcu D., Ghican (Bostan) A., Peris-Bendu F., “*HydroHillChart – Modulul Francis. Aplicație pentru calculul caracteristicii universale a turbinelor hidraulice de tip Francis*” Analele UEMR, ANUL XXII, NR.1, 2015, ISSN 1453 - 7397.
- [52] Nedelcu D., Ghican (Bostan) A., Peris-Bendu F., “*HydroHillChart – Modulul Pelton. Aplicație pentru calculul caracteristicii universale a turbinelor hidraulice de tip Pelton*”, Analele UEMR, ANUL XXII, NR.1, 2015, ISSN 1453 - 7397.
- [53] Oliphant, T. E., “*Python for scientific computing*”, Computing in Science & Engineering, Volume 9, 2007.
- [54] Owens, M., “*The Definitive guide to SQLite*”, Apress, 2006.
- [55] Perez, F., Granger. B. E., “*IPython. A system for interactive scientific computing*”, Computing in Science & Engineering, Volume 9, 2007.
- [56] Pozrikidis, C., “*Fluid dynamics. Theory, Computation and Numerical Simulation.*”, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [57] Preda I., Aghel A. – “*Studiul comparativ al caracteristicilor energetice și de cavitație al unui rotor de turbină axială*”, Buletinul Științific și Tehnic al IPT Seria 2, 1963.
- [58] Rappin, N., Dunn, R., “*wxPython in Action*”, Manning Publications Co., 2006.
- [59] Rohatgi Ankit, “*WebPlotDigitizer. Web based tool to extract data from plots, images, and maps.*”, 2015
- [60] Rougier, N.P., Droettboom, M., Bourne, P.E., “*Ten Simple Rules for Better Figures*”, Featured in PLOS Collections, 2014.
- [61] Rumșiski, L.Z., “*Prelucrarea matematică a datelor experimentale*”, Editură Tehnică, București, 1974.
- [62] Saha Amit, “*Doing Math with Python*”, ISBN: 978-1-59327-640-9, 2015.
- [63] Sandro Tosi, “*Matplotlib for Python Developers*”, Packt Publishing, ISBN 978-1-847197-90-0, Birmingham , 2009.
- [64] Shavelev D.S., “*Echipament hidroenergetic și auxiliar de la centralele hidroelectrice*”, Volumul 1, Editura Energoizdat, Moscova, 1988.

- [65] Stematiu Dan, "Amenajări hidroenergetice", Editura Conspress, București, 2008.
- [66] Tămaș, M., Baya, A., "Turbine și turbostransmisii. Îndrumător de laborator", IPTV, Timișoara, 1983.
- [67] Tănașă C., "Flow-Feedback pentru reducerea fluctuațiilor de presiune în difuzorul conic al turbinelor hidraulice", Teză de doctorat, Timișoara, 2011.
- [68] Vilker D.S., "Laborator practicum pe ghidromehanike", Editura "Fizmatghiz", 1959.
- [69] Voia I., "Roata de apă – primul motor", Editura Orizonturi Universitare, ISBN 978-973-638-332-8, Timișoara, 2007.
- [70] White, F. M., "Fluid Mechanics". McGraw-Hill, 2nd edition, 1986.
- [71] Worthing A.G., Geffner J., "Prelucrarea datelor experimentale", Editura Tehnică, București, 1959.
- [72] \*\*\*\*\* - *ASTRO Turbine Test Stand. Research Institute*, Graz, Austria, Edition December, 1994.
- [73] \*\*\*\*\* - *CKD Blansko, Hydraulic Laboratory*, Blansko, Czech Republic.
- [74] \*\*\*\*\* - *FUJI Hydraulic Turbine and Generator*, Tokyo, Japan.
- [75] \*\*\*\*\* - *GUANGZHOU model acceptance tests*, Institut de Machines Hydrauliques et de Mecanique de Fluides (IMHEF), Lausanne, Elvetia, Switzerland.
- [76] \*\*\*\*\* - *Kvaerner Hydro, Hydraulic Turbine Laboratory*, Trollhattan, Sweden.
- [77] \*\*\*\*\* - *Mitsubishi Water Turbines and Pump Turbines*, Tokyo, Japan.
- [78] \*\*\*\*\* - Presentation for FUJI test rig.
- [79] \*\*\*\*\* - Presentation HydroNet 2011.
- [80] \*\*\*\*\* - Prospect pentru Laboratorul Institutului de Mașini Hidraulice și Mecanica Fluidelor Lausanne (Elveția).
- [81] \*\*\*\*\* - Prospect pentru Ștandul de încercări al firmei CKD Blansko, Cehia.
- [82] \*\*\*\*\* - Prospect pentru Ștandul de încercări al firmei Turboinstitut din Ljubljana.
- [83] \*\*\*\*\* - Prospect pentru Ștandul de încercări al S.C. HYDRO-ENGINEERING S.A.
- [84] \*\*\*\*\* - Prospect pentru Ștandul de încercări Fuji.
- [85] \*\*\*\*\* - Prospect pentru Ștandul de încercări Kvaerner Hydro din Trollhattan
- [86] \*\*\*\*\* - Prospect pentru Ștandul de încercări LMZ.
- [87] \*\*\*\*\* - Prospect pentru Ștandul de încercări Mitsubishi.
- [89] \*\*\*\*\* - *Puesto de ensayo de Turbinas Bombas*, VOEST, Linz, Austria.
- [90] \*\*\*\*\* - *RIVA Calzoni, Hydraulic Machine Laboratory*, Milano, Italia.

- [91] \*\*\*\*\* - *Tehniceskoe predlojenie na postavku gidroturbinnogo agregata. No. 7 GES Djerdap I*, Sankt Petersburg, Russia , 1995.
- [92] \*\*\*\*\* - *Toshiba Hydraulic Research Laboratory*, Tokyo, Japan.
- [93] \*\*\*\*\* - *U.C.M. Reșița S.A. – Research Laboratory. Guarantee Test Station*, Reșița, România.
- [94] \*\*\*\*\* - *Performance conversion method for hydraulic turbines and pumps*, JSME S008, 1989.
- [95] [www.andritz.com](http://www.andritz.com)
- [96] [www.astroe.at](http://www.astroe.at)
- [97] [www.cchapt.ro/oferta/HydroHillChart.html](http://www.cchapt.ro/oferta/HydroHillChart.html).
- [98] [www.turboinstitut.si](http://www.turboinstitut.si)
- [99] <http://en.wikipedia.org/Rainpower>.
- [100] <http://lmh.epfl.ch>
- [101] <http://www.toshiba.co.jp>