

REZUMATUL

tezei de abilitare

STUDIUL FUNCȚIONĂRII MAȘINILOR ȘI SISTEMELOR HIDRAULICE ÎN REGIMURI PERMANENTE ȘI TRANZITORII

Teza de abilitare prezintă realizările științifice ale autoarei în domeniul Ingineriei energetice, realizate după obținerea titlului de doctor în anul 2011, precum și perspectivele de dezvoltare a carierei didactice și de cercetare în cadrul Universității POLITEHNICA din București.

Prima parte a tezei este o *introducere* în care se evidențiază încadrarea cercetărilor și a rezultatelor obținute în patru direcții principale: regimuri de curgere tranzitorii în mediu bifazic în conducte sub presiune, curgeri permanente și tranzitorii în amenajări hidroenergetice, analiza parametrilor reali de funcționare in situ a mașinilor hidraulice, sistem inovativ pentru reducerea impactului funcționării turbinelor hidraulice asupra mediului. Rezultatele prezentate au la bază activitatea desfășurată în cadrul laboratorului didactic și de cercetare din Departamentul de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului, Facultatea de Energetică *Laboratorul de Echipamente hidroenergetice "Dorin Pavel"*, și participarea la 8 de proiecte de cercetare (1 director de proiect, 1 responsabil din partea UPB și 6 responsabil proiecte în industrie). De asemenea, se prezintă cele 10 lucrări considerate relevante pentru domeniul de studii doctorale în care se solicită abilitarea.

Capitolul 1 prezintă rezultatele cercetărilor realizate în domeniul curgerilor tranzitorii bifazice în conducte sub presiune, care au fost obținute progresiv, în mai multe etape. În prima fază s-a realizat analiza experimentală și modelarea presiunii maxime care apare în curgerea tranzitorie bifazică, apoi simularea numerică 2D a curgerii tranzitorii bifazice, cu și fără evacuarea aerului și simularea numerică 3D a curgerii tranzitorii bifazice și influența interacțiunii fluid – structură. Într-o ultima etapă a cercetărilor s-a realizat optimizarea calcului numeric printr-un model numeric combinat 1D-3D pentru investigarea efectelor aerului asupra presiunii în timpul umplerii rapide a conductelor. Contribuțiile importante în acest domeniu sunt publicațiile în jurnale indexate ISI, cea mai importantă fiind în *Journal of Hydraulic Research*, categoria Q1 în 2019, *Numerical investigation of entrapped air pockets on pressure surges and flow structure in a pipe* (autori: .Reza Maddahian, Michel J. Cervantes, Diana Maria Bucur) și premiată de UEFISCDI la Competiția 2019 - Premiarea Rezultatelor Cercetării PNCD III/P1/1.1. -Dezvoltarea sistemului național de cercetare dezvoltare.

Capitolul 2 se referă la rezultatele obținute în cadrul stagiului post-doctoral și a trei proiecte de cercetare în industrie, în calitate de responsabil. Studiile au fost realizate pentru a se putea asigura funcționarea la parametrii optimi a centralelor hidroelectrice din amenajări de referință ale sistemului hidroenergetic (Amenajarea Bistrița aval, CHE Dobrești și CHE Stejaru). Au fost analizate atât regimurile permanente de curgere cât și cele tranzitorii determinate de variațiile care apar în funcționarea mașinilor hidraulice, cum ar fi pornirile, opririle, variațiile de sarcină și aruncările de sarcină. Tot în cadrul acestui capitol, legat de regimurile de curgere tranzitorii sunt prezentate contribuțiile aduse la îmbunătățirea metodei standardizate presiune-timp (IEC60041) de determinare a debitului turbinelor hidraulice: utilizarea unui factor de frecare variabil, modificarea limitei superioare de integrare și utilizarea algoritmilor genetici în evaluarea debitului folosind presiunea măsurată într-o singură secțiune.

Utilizarea turbinelor hidraulice pe domenii extinse și uzura mecanică suplimentară cauzată de creșterea numărului de cicluri de pornire-oprire a agregatelor, au ca efect apariția unor

solicitări care nu au fost considerate la momentul proiectării (8-10 porniri-opriri pe zi în loc de 3-4). Aceste solicitări afectează toate tipurile de turbine, cu toate echipamentele de reglare aferente. În timp, datorită uzurii mecanice, pot apărea vibrații în exploatare, fisuri ale elementelor componente, comportament dinamic schimbat. Astfel, cheltuielile cu producerea energiei pot crește prin costurile suplimentare cauzate de reparații sau chiar prin reducerea duratei de viață a instalațiilor. În acest context, determinarea parametrilor reali de funcționare a hidrogreatelor este extrem de necesară pentru evaluarea stării acestora și pentru asigurarea unei exploatare optime, pentru stabilirea valorilor parametrilor funcționali în situația re tehnologizărilor sau pentru verificarea parametrilor garantați după punerea în funcțiune sau repararea acestora. Rezultatele cercetărilor experimentale in situ referitoare la determinarea parametrilor reali de funcționare a hidrogreatelor sunt prezentate în **Capitolul 3** pentru cele trei tipuri principale de turbine hidraulice: Kaplan, Francis și Pelton. Dincolo de eforturile pentru prelucrarea datelor și evaluarea parametrilor, toate aceste activități au presupus organizarea și coordonarea unor echipe de lucru numeroase, cu pregătire interdisciplinară, care să asigure măsurarea mărimilor de proces în diverse puncte ale centralei, de cele mai multe ori răspândite pe distanțe de zeci sau chiar sute de metri.

Consecințele utilizării energiei hidraulice asupra mediului trebuie studiate și evaluate cu atenție. Menținerea calității apei este un obiectiv major din punct de vedere al dezvoltării ecologice, economice și durabile, dar și o condiție atunci când apa este folosită pentru producerea de energie electrică. Oxigenul dizolvat din apă reprezintă un parametru principal care contribuie la conservarea și dezvoltarea habitatului acvatic. În **Capitolul 4** sunt prezentate rezultatele cercetărilor realizate în calitate de responsabil de proiect din partea UPB al grantului câștigat prin competiție națională *Sistem inovativ de aerare a apei turbinate în vederea menținerii condițiilor necesare vieții acvatice (ECOTURB, 88/2014)* în care, în colaborare cu ICPE – CA și Tehnoinstrument, a fost proiectat, executat și testat unui nou sistem de injecție a aerului în aspiratorul turbinelor care să conducă la maximizarea cantității de oxigen dizolvat transferat din aerul injectat în apa turbinată, cu un consum minim de energie și cu un efect benefic maxim asupra mediului acvatic. Realizarea remarcabilă în cadrul acestor cercetări este demonstratorul instalației de aerare patentat prin Brevetul de invenție internațional *Water aeration system for hydraulic turbines* (WO2019059793-A1, Derwent Primary Accession Number: 2018-15985M, No 036765), și premiat cu Medalie de aur la European Exhibition of Creativity and Innovation, EURO INVENT10-th Edition, *Aeration system of water passing through hydraulic turbines* (2018), cu Medalie de argint la Salon International des Inventions Genève GINVENTIONS, pour l'invention *Système d'aération de l'eau passant par les turbines hydrauliques* (2018) și cu Diploma „*Inventateur 2018 pour l'avenir de L'Europe*”, pour l'invention *Système d'aération de l'eau pour les turbines hydrauliques*, acordată de Europe France Inventateurs și Federation Francaise des Inventeurs (2018)

În **Capitolul 5** sunt prezentate evoluția și direcțiile de dezvoltare a carierei profesionale, academice și științifice în contextul realizărilor științifice semnificative și de actualitate referitoare la *Funcționarea mașinilor și sistemelor hidraulice*, realizări încadrate în domeniul de doctorat *Inginerie Energetică*, precum și capacitatea de a: coordona un laborator – Laboratorul de Echipamente hidroenergetice ”Dorin Pavel”; forma o echipă de cercetare, încadra studenți și colegi în activitatea de cercetare, organiza și gestiona activități didactice în cadrul facultății; explica și facilita învățarea și cercetarea prin mijloace moderne (Moodle, MsTeams); lucra în colaborare cu alte echipe de cercetare din țară și din străinătate, colaborare concretizată prin proiecte derulate în comun și prin publicații în jurnale de prestigiu.

Dezvoltarea carierei în perioada post-abilitare include coordonarea tezelor de doctorat în domeniul Ingineriei Energetice cu teme privind analiza numerică și experimentală a funcționării mașinilor și instalațiilor hidraulice, îmbunătățirea modelelor numerice de simulare a curgerii, a proiectării mașinilor hidraulice și optimizarea utilizării acestora în contextul menținerii condițiilor calității apei și a unui impact minim asupra mediului.

ABSTRACT

of the habilitation thesis

STUDY OF THE HYDRAULIC MACHINERY AND SYSTEMS OPERATION IN STEADY AND TRANSIENT REGIMES

The habilitation thesis presents the scientific achievements of the author in the field of Energy Engineering, after obtaining the doctorate in 2011, as well as the perspectives of teaching and research career development at the POLITEHNICA University of Bucharest.

The first part of the thesis is an introduction that highlights the research and results obtained in four main directions: transient flow regimes in two-phase flow in pressurized pipes, permanent and transient flows in hydropower sites, analysis of in site real parameters operation of hydraulic machines, innovative system for reducing the impact of the operation of hydraulic turbines on the environment. The results presented are based on the activity carried out in the teaching and research laboratory of the Department of Hydraulics, Hydraulic Machinery and Environmental Engineering, Faculty of Energy Laboratory of Hydropower Equipment "Dorin Pavel", and participation in 8 research projects (1 project director, 1 responsible from UPB and 6 responsible for projects in industry). Also, the 10 research papers considered relevant for the field of doctoral studies in which the habilitation is requested are presented.

Chapter 1 presents the results of research conducted in the field of two phase transient flows in pressurized pipes, which were obtained progressively, in several stages. First, the experimental analysis and modeling of the maximum pressure that occurs in two-phase transient flow was performed, then 2D numerical simulation of biphasic transient flow, with and without air evacuation and 3D numerical simulation of biphasic transient flow and the influence of fluid-structure interaction were performed. In a final stage of research, the numerical calculation was optimized by a combined 1D-3D numerical model to investigate the effects of air on pressure during rapid filling of pipes. Important contributions in this field are publications in ISI indexed journals, the most important being in the Journal of Hydraulic Research, category Q1 in 2019, *Numerical investigation of entrapped air pockets on pressure surges and flow structure in a pipe* (authors: Reza Maddahian, Michel J. Cervantes, Diana Maria Bucur) and awarded by UEFISCDI at the 2019 Competition - Awarding the PNCD Research Results III / P1 / 1.1. - Development of the national research and development system.

Chapter 2 refers to the results obtained during the post-doctoral internship and three research projects in industry, as responsible. The studies were carried out in order to determine the operation at optimal parameters of the hydroelectric power plants (HPP), analyzing the flow in the hydraulic systems (open channels or headrace and penstock) of the hydropower plants (Bistrița downstream hydropower site, Dobrești HPP and Stejaru HPP). Both the permanent and transient flow regimes determined by the variations that occur in the operation of hydraulic machines, such as starts, stops, load variations and load shedding, were analyzed. Also in this chapter, related to the transient flow regimes are presented the contributions to the improvement of the standardized pressure-time method (IEC60041) for determining the flow of hydraulic turbines, by: the use of a variable friction factor, modification of the upper limit of integration and the use of genetic algorithms for flow evaluation using the pressure measured in a single section.

The use of hydraulic turbines over large areas and the additional mechanical wear caused by the increased number of start-stop cycles of the machines, have the effect of supplementary stresses that were not considered at the time of design (8-10 start-stops per day instead of 3 -4).

These stresses affect all types of turbines, with all related control equipment. Over time, due to mechanical wear, vibrations may occur in operation, cracks in the components, or change in dynamic behavior. Thus, energy production costs may increase through additional costs caused by repairs or even by reducing the life of installations. In this context, the determination of the actual operating parameters of hydraulic machines is extremely necessary to assess their parameters and to ensure optimal operation, to establish the values of functional parameters in the case of upgrades or to verify the guaranteed parameters after commissioning or maintenance procedures. The results of in site experimental research on the determination of the actual operating parameters of hydroregulates are presented in **Chapter 3** for three main types of turbines: Kaplan, Francis and Pelton. Beyond the efforts for data processing and evaluation of parameters, all these activities involved the organization and coordination of large number of team members, with interdisciplinary training, to ensure the measurement of process parameters placed in the entire hydro site, most often spread over distances of tens or even hundreds of meters.

The consequences of the use of hydraulic energy on the environment must be carefully studied and evaluated. Maintaining water quality is a major goal in terms of ecological, economic and sustainable development, but also is a condition when water is used to produce electricity. Dissolved oxygen in water is a major parameter that contributes to the conservation and development of aquatic habitat. **Chapter 4** presents the results of research carried out as project manager by UPB of the grant won through national competition *Innovative turbine water aeration system in order to maintain the necessary conditions for aquatic life* (ECOTURB, 88/2014) in which, in collaboration with ICPE - CA and Tehnoinstrument, was designed, manufactured and tested a new system for injecting air into the turbine draft tube, to maximize the amount of dissolved oxygen transferred from the injected air into the turbined water, with minimal energy consumption and a maximum benefit on the aquatic environment. The remarkable achievement in this research is the demonstrator of the aeration installation patented by the *International Patent Water aeration system for hydraulic turbines* (WO2019059793-A1, Derwent Primary Accession Number: 2018-15985M, No 036765), and awarded with the Gold Medal at the European Exhibition of Creativity and Innovation, EURO INVENT10-th Edition, *Aeration system of water passing through hydraulic turbines* (2018), with Silver medal at the International Exhibition of Inventions Geneva GINVENTIONS, for the invention *Water aeration system passing through the hydraulic turbines* (2018) and with the Diploma "Inventor 2018 for the future of Europe", for the invention *Water aeration system for hydraulic turbines*, awarded by Europe France Inventateurs and French Federation of Inventors (2018)

Chapter 5 presents the evolution and goals of professional, academic and scientific career development in the context of significant and current scientific achievements related to the operation of hydraulic machines and systems, achievements in the field of Energy Engineering doctoral studies, as well as the ability to: coordinate a laboratory the "Dorin Pavel" Hydropower Equipment Laboratory; form a research team, employ students and colleagues in research activities; organize and manage teaching activities; explain and facilitate learning and research through modern instruments (Moodle, MsTeams); work in collaboration with other national and international research teams, collaboration materialized through common projects and publications in relevant journals.

The career development in the post-habilitation period will include the coordination of doctoral theses in the field of Energy Engineering with topics about numerical and experimental analysis of the operation of hydraulic machines and systems, improving numerical flow simulation models, designing hydraulic machines and optimizing their use in the context of maintaining the water quality and achieving a reduced impact on the environment.