

REZUMATUL

tezei de abilitare

UTILIZAREA SUSTENABILĂ A MAȘINILOR ȘI INSTALAȚIILOR HIDRAULICE

Teza de abilitare prezintă realizările științifice ale autoarei în domeniul *Ingineriei Energetice*, realizate după obținerea titlului de doctor în anul 2010, precum și perspectivele de dezvoltare a carierei didactice și de cercetare în cadrul Universității POLITEHNICA din București.

Prima parte a tezei este o **Introducere** care evidențiază cercetările și rezultatele obținute în două direcții principale: *metode de analiză a curgerii în mașinile și instalațiile hidraulice* și *evaluarea performanțelor mașinilor și instalațiilor hidraulice*. Rezultatele prezentate se bazează pe participarea la 5 proiecte de cercetare, dintre care 1 proiect post-doctoral, 1 proiect ca responsabil din partea UPB, 2 proiecte ca membru în echipa UPB și 1 proiect în industrie ca membru al echipei UPB. De asemenea, sunt prezentate cele 10 lucrări de cercetare considerate relevante pentru domeniul de studii doctorale în care se solicită abilitarea.

În **Capitolul 1** sunt prezentate rezultatele cercetărilor efectuate în domeniul metodelor de analiză a curgerii în mașini și instalații hidraulice în timpul stagiului postdoctoral și a unui grant intern UPB, în calitate de responsabil. Cercetările au avut ca scop îmbunătățirea metodei standardizate de măsurare a debitelor, metoda presiune-timp [IEC 60041]. Îmbunătățirile aduse metodei de determinare a debitului au fost realizate în prima fază prin luarea în considerare a oscilațiilor de presiune reziduală care apar după închiderea vanei, a instabilității curgerii în modelarea pierderilor de sarcină și testarea metodei în afara limitelor domeniului de aplicare a acesteia. Studiile au arătat îmbunătățire a preciziei de măsurare a metodei cu până la 0,5% în comparație cu metoda standard. În plus, a fost dezvoltată o metodă care include influența compresibilității lichidului și a deformării pereților conductei. Metoda s-a dovedit a fi avantajoasă în cazurile în care au existat oscilații mari ale presiunii. Utilizarea unui factor de frecare variabil în locul unuia cu valoare constantă a condus, de asemenea, la îmbunătățirea preciziei metodei. În plus, pentru analiza sensibilității metodei presiune-timp s-a utilizat o metodă sistematică de evaluare a legăturii dintre cauză și efect (Design of experiments, DOE). Pentru studiile menționate, au fost utilizate atât valori obținute prin simulare numerică, cât și valori experimentale obținute în laborator și in situ. Cele mai recente studii s-au referit la unul dintre principalele dezavantaje ale metodei, respectiv întreruperea completă a curgerii. Acest aspect a fost abordat recent de Cervantes et al. 2022, și Dunca et al. 2022. A fost luată în considerare o reformulare a metodei standardizate presiune-timp, ceea ce a făcut posibilă aplicarea acesteia în orice domeniu de variație a debitului. Metoda reformulată a fost validată pe baza datelor simulate numeric. Rezultatele au fost promițătoare, eroarea medie relativă între valorile debitelor obținute cu metoda reformulată și valoarea debitului de referință fiind sub 1 %. Rezultatele remarcabile obținute pentru îmbunătățirea metodei presiune-timp au fost publicate în trei articole de jurnal indexate ISI: Cervantes M.J., **Dunca G.**, Mulu B., Jonsson P.P., *Reformulation of the pressure-time method for application without flow rate cut-off, Measurement*, Journal of the International Measurement Confederation, vol. 188, 2022, WOS:000763521300005 - ISI journal, **Q1/2022, Dunca, G**; Bucur, D M; Cervantes, M J.; Popa, R, *Discharge evaluation from pressure measurements by a genetic algorithm based method*, Flow measurement and Instrumentation, Vol. 45, pag. 49-55, WOS:000362604900006 - ISI journal, **Q2/2015 și Dunca, G**; Iovanel, RG; Bucur, DM; Cervantes, MJ; *On the Use of the Water Hammer Equations with Time Dependent Friction during a Valve Closure, for Discharge Estimation*, Journal of Applied Fluid Mechanics, Volume: 9 Issue: 5 Pages: 2427-2434 Part: 2, WOS:0003834141400007 - ISI journal, **Q3/2016**.

În **Capitolul 2** sunt prezentate rezultatele obținute în cadrul a trei proiecte de cercetare, dintre care unul în industrie. Studiile au fost efectuate în scopul evaluării performanțelor

mașinilor și instalațiilor hidraulice. În prima parte a capitolului a fost analizat conceptul *prietenos cu mediul* ca o condiție pentru realizarea proiectelor hidroenergetice. În contextul dezvoltării durabile, degradarea ecologică a râurilor cauzată de realizarea unei hidrocentrale ar putea fi redusă dacă se implementează sisteme de aerare a apei turbinate. În cadrul unui proiect de cercetare desfășurat în perioada 2014-2017, UPB împreună cu ICPE-CA și Tehnoinstrument a dezvoltat și realizat un dispozitiv inovator de aerare non-invaziv. Rolul dispozitivului este de a aera apa în timpul curgerii prin turbinele hidraulice. Caracterul inovator al acestui dispozitiv de aerare constă în următoarele aspecte: dispersia aerului se realizează cu o suprafață optimă de contact gaz-lichid, zona de introducere a aerului este optimizată în funcție de regimul de curgere din aspiratorul turbinei pentru a asigura un timp mai mare de retenție a bulelor de aer în apă, designul dispozitivului permite o instalare și o întreținere ușoară și rapidă. Principala diferență dintre dispozitivul realizat și cele existente constă în capacitatea sa de a crea o aerare neinvazivă și dispersată, cu un consum redus de energie. Impactul implementării acestui dispozitiv de aerare inovator asupra performanțelor turbinei a fost evaluat în totalitate și arată viabilitatea tehnică și economică a utilizării sale în exploatarea industrială a turbinelor hidraulice. Elementele de noutate tehnică rezultate în urma activității realizate în cadrul acestui proiect au fost valorificate sub forma unui brevet de invenție internațional: Bunea F., Ciocan G.D., Nedelcu A, Bucur D.M., **Dunca G.**, Codescu S., *Water aeration system for the hydraulic turbines (Sistem de aerare a apei pentru turbinele hidraulice)*, Brevet eurasiatic nr. 036765/17.12.2020 B1.

A doua parte a Capitolului 2 prezintă rezultatele analizei experimentale a funcționării simultane, în regimuri tranzitorii, a unei centrale hidroelectrice de mare cădere și a unei stații de pompare cu acumulare, într-o schemă hidraulică interconectată. Studiul a fost necesar în contextul modificării pieței de energie datorită conectării la Sistemul Energetic Național a resurselor regenerabile de energie, ceea ce conduce la cerințe suplimentare pentru stabilizarea rețelelor electrice cu ajutorul energiei hidroelectrice. Analiza a fost necesară pentru a determina pulsațiile de presiune care apar în timpul regimurilor tranzitorii, pentru a asigura funcționarea fără riscuri a sistemelor hidraulice. Studiul experimental realizat pentru diferite regimuri de funcționare a mașinilor hidraulice (turbine și pompe): porniri, opriri ale pompelor și aruncări de sarcină. Au fost înregistrați simultan parametrii de funcționare atât în stația de pompare și cât și în centrala hidroelectrică. Rezultatele au fost prezentate în cadrul 27th IAHR Symposium of Hydraulic Machinery and Systems (IAHR 2014), Montreal Canada, și publicate în lucrarea *Simultaneous transient operation of a high head hydro power plant and a storage pumping station in the same hydraulic scheme*, Bucur D.M., **Dunca G.**, Cervantes MJ, Călinoiu C., Isbășoiu E.C. - indexată ISI. Ultima parte a capitolului 2 prezintă rezultatele obținute în cele mai recente studii cu privire la un nou sistem de producere a energiei, hidrocinetice, dezvoltat pentru cursuri de apă de cădere foarte mică în cadrul unui proiect de cercetare din perioada 2020-2022. În contextul creșterii gradului de utilizare a surselor de energie regenerabilă, turbinele hidrocinetice reprezintă soluții atractive și nepoluante. Generarea de energie electrică doar din energia cinetică a apei apare, de asemenea, ca o posibilă soluție pentru utilizarea în aplicații cu putere redusă, cum ar fi în zonele naturale protejate sau în comunitățile izolate din întreaga lume. Cercetarea prezentată se referă la două prototipuri de turbine hidrocinetice cu geometrii diferite ale rotoarelor.. Prototipurile de turbine hidrocinetice au fost testate într-un stand experimental în circuit închis, conceput special pentru testarea turbinelor cinetice la scară redusă. Rezultatele au fost prezentate în cadrul 31st IAHR Symposium of Hydraulic Machinery and Systems (IAHR 2022), Trondheim Norvegia, și publicate în lucrarea *Experimental investigation of small axial hydro-kinetic turbines*, Bucur D.M., **Dunca G.**, Bunea F., Chihaia R.A., Grecu I.S., Mitruț R. - indexată BDI.

Capitolul 3 prezintă evoluția și obiectivele de dezvoltare a carierei profesionale, academice și științifice în contextul realizărilor științifice semnificative și actuale legate de utilizarea sustenabilă a mașinilor și instalațiilor hidraulice, precum și capacitatea de a forma o echipă de cercetare, de a implica studenți și colegi în activitățile de cercetare; de a organiza și

gestiona activități didactice; de a explica și facilita învățarea și cercetarea prin instrumente moderne (Moodle, MsTeams); de a lucra în colaborare cu alte echipe de cercetare naționale și internaționale, colaborare materializată prin proiecte comune și publicații în reviste relevante.

Dezvoltarea carierei în perioada post-habilitare va 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, optimizarea utilizării mașinilor hidraulice în contextul menținerii calității apei și realizării unui impact redus asupra mediului.

ABSTRACT

of the habilitation thesis

SUSTAINABLE USE OF HYDRAULIC MACHINERY AND INSTALLATIONS

The present habilitation thesis comprises the scientific achievements of the author in the field of *Energy Engineering*, after obtaining the doctorate degree in 2010, as well as the perspectives in the 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 two main directions: *analysis methods of the flow in hydraulic machinery and installations*, and *performance assessment of hydraulic machinery and installations*. The results presented are based on the participation in 5 research projects, from which 1 post-doctoral project, 1 project director for UPB grant, 2 team member from UPB, and 1 team member for project 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 *analysis methods of the flow in hydraulic machinery and installation* during the post-doctoral internship and one internal UPB grant, as responsible. The researches focused on improving the precision of a standard method for flow rate measurements, the pressure-time method [IEC 60041]. The improvements of the flow rate determination method were carried out first by considering the residual pressure oscillations that appear after the valve closure, the flow unsteadiness in the formulation of pressure loss evaluation and testing the method outside its limits. The studies showed improved accuracy of the method up to 0.5% compared to the standard method. Furthermore, a method including the liquid compressibility and the pipe walls deformability was developed. The method proved to be advantageous in cases of large pressure oscillations. Using an unsteady friction factor instead of a constant one improved the method's accuracy. Further, in order to gather information on pressure-time method, its sensitivity was analysed using Design of Experiments (DOE). For the mentioned studies, numerical, laboratory and on-site measurements were used. The latest studies referred to one of the main drawbacks of the method, the complete cut-off of the flow rate. This aspect was newly addressed by Cervantes et al 2022, and Dunca et al 2022. A reformulation of the method was considered, making it applicable to any case of load variation. The reformulated method was validated against numerical data. The results were promising, as the relative mean difference between the flow rates obtained from the reference sensor and the reformulated method were below 1%. The most remarkable results obtained for pressure-time method improvements were published three ISI indexed journals: Cervantes M.J., **Dunca G.**, Mulu B., Jonsson P.P., *Reformulation of the pressure-time method for application without flow rate cut-off*, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, vol. 188, 2022, WOS:000763521300005 – ISI journal, **Q1/2022**), **Dunca, G**; Bucur, D M; Cervantes, M J.; Popa, R, *Discharge evaluation from pressure measurements by a genetic algorithm based method*, Flow measurement and Instrumentation, Vol. 45, pag. 49-55, WOS:000362604900006 – ISI journal, **Q2/2015** and **Dunca, G**; Iovanel, RG; Bucur, DM; Cervantes, MJ; *On the Use of the Water Hammer Equations with Time Dependent Friction during a Valve Closure, for Discharge Estimation*, Journal of Applied Fluid Mechanics, Volume: 9 Issue: 5 Pages: 2427-2434 Part: 2, WOS:000383414000007 - ISI journal, **Q3/2016**.

Chapter 2 refers to the results obtained during three research projects, from which one in industry. The studies were carried out in order to *asses the performance of hydraulic machinery and installations*. First, the environmentally friendly concept is analysed as a condition for the development of hydro projects. In the context of sustainable development, the ecological degradation of rivers caused by the implementation of a hydropower plant could be reduced if

aeration systems are implemented. During a research project carried out between 2014 and 2017 an innovative non-intrusive aeration device was developed and tested by UPB together with ICPE-CA and Tehnoinstrument. The aim of the device was to aerate the water during the transit through the hydraulic turbines. The innovative character of this aeration device consists in the following aspects: the dispersion of the air is performed with an optimal gas-liquid contact area, the location of the air injection is optimized compared to the draft tube flow behavior to insure a longer retention time of the bubbles in water and the design of the device allows an easy and fast installation and maintenance. The main difference between the present device and the existing ones relies in its ability to create a non-invasive and disperse aeration with low energy consumption. The implementation impact of this innovative aeration device on turbine performance was fully assessed and showed the technical and economic viability of its use in industrial operation of hydraulic turbines. An international patent resulted from this research: Bunea F., Ciocan G.D., Nedelcu A, Bucur D.M., **Dunca G.**, Codescu S., *Water aeration system for the hydraulic turbines*, Eurasian Patent no. 036765/17.12.2020 B1.

The second part of Chapter 2 presents the experimental analysis of the simultaneous operation during transient regimes of a high head hydro power plant and a storage pumping station, in an interconnected hydraulic scheme. The study was useful in the context of energy market changing with the introduction of renewable power resources, leading to an increased need for electrical grids stabilization using hydropower. The analysis was necessary in order to determine undesired pressure pulsations during transient operations, in order to assure safe operation of the hydraulic power systems. The experimental study considered different operation regimes of the hydraulic machines: starts and stops of pumps, starts and sudden load rejection of turbines. The operation parameters of the pumping station and of the hydropower plant parameters were simultaneously recorded. The results were presented at the 27th IAHR Symposium of Hydraulic Machinery and Systems (IAHR 2014), Montreal Canada, and published in the paper *Simultaneous transient operation of a high head hydro power plant and a storage pumping station in the same hydraulic scheme*, Bucur D.M., **Dunca G.**, Cervantes MJ, Călinoiu C., Isbășoiu E.C – ISI indexed. Finally, the last part of Chapter 2 presents the latest studies regarding a new hydrokinetic power system, developed for ultra low head water streams within a research project during 2020-2022. In the context of increasing the use of renewable energy sources, hydrokinetic turbines represent attractive non-polluting solutions. Generating electricity only from the kinetic energy of water arises also as a possible solution for use in low power applications, like in natural protected areas or in remote communities around the world. The presented research refers to two hydrokinetic turbine prototypes with different runner geometries. The hydrokinetic turbine prototypes were tested in a closed-loop experimental setup, designed for small-scale horizontal or vertical axis kinetic turbines. The results were presented at the 31st IAHR Symposium of Hydraulic Machinery and Systems (IAHR 2022), Trondheim Norway, and published in the paper *Experimental investigation of small axial hydro-kinetic turbines*, Bucur D.M., **Dunca G.**, Bunea F., Chihaia R.A., Grecu I.S., Mitruț R. - BDI indexed.

Chapter 3 presents the evolution and objectives of professional, academic and scientific career development in the context of significant and current scientific achievements related to the *sustainable use of hydraulic machinery and installations*, as well as the ability to form a research team, involve 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 installations, improving numerical flow simulation models, optimizing hydraulic machines use in the context of maintaining the water quality and achieving a reduced impact on the environment.