

RAPORT ȘTIINȚIFIC

i-TURB sistem integrat pentru obținerea celui mai bun echilibru între potențialul ecologic al apei și eficiența turbinei

Etapă 1/2022

Stabilirea caracteristicilor tehnice ale sistemului i-Turb

Coordonator
Director proiect

SC MECANICA-IND 2004 SRL
Ing. IORDĂNESCU Daniel

Partener 1

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie
Electrică ICPE-CA
Dr. ing. BUNEA Florentina

Responsabil proiect P1

Partener 2
Responsabil proiect P2

Universitatea POLITEHNICA din București
Conf. dr. ing. DUNCA Georgiana

Cuprins

1. Rezumat.....	3
2. Introducere.....	4
3. Definirea parametrilor de reglare a sistemului i-Turb și a influenței lor asupra performanțelor energetice și de aerare (A 1.1)	7
3.1. Definirea intrărilor/ieșirilor sistemului de monitorizare și caracteristicile acestora ...	7
3.2. Definirea parametrilor de reglare ai sistemului i-Turb din punctul de vedere al performanțelor procesului de aerare	7
3.3. Definirea parametrilor de reglare ai sistemului i-Turb din punctul de vedere al performanțelor energetice	8
4. Realizarea algoritmului de reglare a procesului de aerare (A 1.2)	10
4.1. Conceperea algoritmului de reglare a procesului de aerare	10
4.2. Testarea algoritmului de reglare	13
5. Diseminarea rezultatelor (A1.3)	15
6. Concluzii	15
7. Bibliografie	16

NOTA:

Claritatea unor imagini este intenționat scăzută pentru a proteja informația.

1. Rezumat

Proiectul are ca scop dezvoltarea și realizarea prototipului unui sistem inteligent de aerare a apei utilizată în turbinele hidraulice (*i-Turb*), cu impact pozitiv atât asupra potențialului ecologic al apei cât și asupra funcționării turbinei hidraulice.

Necesitatea automatizării și dezvoltării unei soluții complete care să integreze dispozitivul de aerare (fig. 1) a rezultat în cadrul unui proiect precedent al echipei de cercetare, în urma testării în situ a acestuia. Fără a fi controlată admisia naturală a aerului în timpul funcționării turbinei, la un anumit regim de funcționare s-a observat scăderea puterii turbinei cu aproximativ 18 %, față de o scădere a puterii turbinei de maxim 1,2 % în timpul injectării controlate cu aer comprimat. Pe de altă parte, la anumite regimuri de funcționare a turbinei s-a remarcat că aerarea are un rol benefic asupra randamentului turbinei. Astfel, dispozitivul de aerare, dacă este comandat în mod *inteligent*, poate fi utilizat nu numai pentru aerare, dar și pentru îmbunătățirea funcționării turbinei la regimuri de sarcină parțială

Etapă 1 a proiectului *Stabilirea caracteristicilor tehnice ale sistemului i-Turb*, este structurată în două activități principale (A1.1 și A1.2) și o activitate de diseminare (A1.3), respectiv realizarea paginii web a proiectului.

Prima activitate (A1.1) este prezentată în **capitolul 3** al raportului științific și descrie corelarea între parametrii de aerare, parametrii de funcționare ai turbinei hidraulice și tipul de aerare (aerare naturală AN sau forțată AF). O unitatea de comanda va activa funcția de aerare doar în situația în care se atinge nivelul un deficit de oxigen dizolvat (măsurat în apa din avalul turbinei hidraulice pe care este montat dispozitivul), respectiv un nivel de oxigen minim impus de utilizator. Algoritmul de reglare automată a procesului de oxigenare se face în funcție de nivelul de presiune din aspiratorul turbinei care comandă tipul de aerare. O schema bloc a conceptului de sistem automatizat de aerare a apei este prezentată în fig 2.

Cea de a doua activitate (A1.2) prevăzută în planul de realizare este descrisă în **capitolul 4** și prezintă algoritmul de reglare a procesului de aerare. Pentru verificarea stabilității algoritmului, s-a elaborat un program test în care variabilele de intrare sunt generate automat în vederea verificării limitelor impuse parametrilor de ieșire. Astfel s-au verificat punctele de funcționare testate în situ, cu diferite fracții de goluri injectate și tipul de aerare ales.

În etapa de raportare prezentă au fost realizați toți indicatorii de rezultat propuși, respectiv:

L1: Raport de cercetare privind corelarea între parametrii de aerare, parametrii de funcționare ai turbinei hidraulice și tipul de aerare,

L2: Algoritm de reglare a procesului de aerare,

L3: Site web.

2. Introducere

Principalul obiectiv al politicii europene în domeniul apei este de a obține o "stare bună" pentru apele subterane și freatice în toate țările UE și de a obține un "potențial ecologic bun" pentru cursurile de apă modificate și artificiale. Conceptul de *prietenos cu mediul* este o preocupare la nivel mondial legată de protecția resurselor de apă și face parte din politicile de mediu [1].

Conceptul de a fi *prietenos cu mediul* a devenit o necesitate pentru continuarea dezvoltării domeniului hidroenergetic. În contextul dezvoltării durabile nu se acceptă degradarea ecologică a râurilor datorită amenajărilor hidroenergetice.

Amenajările hidroenergetice influențează direct sau indirect flora, fauna sau chiar microclimatul zonei în care sunt construite. Aceste amenajări reprezintă principala sursă de energie verde și regenerabilă, dacă sunt luate măsuri de protecția mediului încă de la implementarea amenajărilor hidroenergetice. Diminuarea efectelor produse de dezvoltarea amplasamentelor hidroenergetice este o preocupare principală a autorităților de mediu. Calitatea slabă a apei evacuate de turbinele hidraulice, în mod special când nivelul de oxigen dizolvat din apă este scăzut, poate avea un impact nefavorabil asupra mediului și poate pune în pericol viața acvatică. În cazul barajelor de mare înălțime, cu priza de apă la baza lacului de acumulare, apa ajunsă în turbine este puțin oxigenată și, prin turbinare, cantitatea de oxigen dizolvat continuă să scadă. În cazul lacurilor de acumulare cu volume și adâncimi mari și în special în zonele tropicale, conținutul redus de oxigen dizolvat (OD) din râuri poate ajunge până la 0-2 mg /l, afectând viața acvatică până la 5 km în aval de hidrocentrale [2-6]. Pentru reducerea impactului asupra mediului datorat nivelului scăzut de oxigen dizolvat în apa turbinată, dezvoltarea sistemelor de aerare este esențială.

Principalii furnizori mondiali de energie electrică și constructori de turbine hidraulice din Europa și SUA au început să se preocupe, încă din anul 1950, de aspectele legate de mediu în ceea ce privește exploatarea hidrocentrelor [7, 8]. Cercetările privind sistemele de aerare a apei uzinate de turbinele hidraulice continuă și în prezent datorită importanței pe care aerarea o are asupra ecosistemelor [9-12], dar și datorită reglementărilor internaționale referitoare la calitatea apei. În prezent, în exploatarea centralelor hidroelectrice, se încearcă optimizarea raportului dintre măsurile de îmbunătățire a calității apei și randamentul producerii energiei [9].

În acest context, sistemul inteligent *i-Turb* își propune să asigure un echilibru între potențialul ecologic al apei și randamentul turbinei. Prin acest sistem cantitatea de aer introdusă va fi controlată astfel încât transferul de oxigen dizolvat să se realizeze optim, fără ca randamentul turbinei să fie afectat sensibil. Injectarea necontrolată sau doar cu un control primar on/off a unei cantități de aer în turbină poate reduce randamentul turbinei, produce instabilități în funcționare sau poate fi inefficientă pentru aerare. De aceea introducerea aerului (modul și locul de introducere, cantitatea etc.) este importantă pentru echilibrul dintre randamentul turbinei și factorul ecologic.

Proiectul are ca scop dezvoltarea și realizarea prototipului unui **sistem inteligent** de aerare a apei utilizată în turbinele hidraulice (**i-Turb**), cu impact pozitiv atât asupra potențialului ecologic al apei cât și asupra funcționării turbinei hidraulice. Sistemul inteligent **i-Turb** va reprezenta un echipament al centralei hidroelectrice cu dublu rol: (1) creșterea conținutului de oxigen dizolvat din apa turbinată în centralele hidroelectrice și (2) îmbunătățirea funcționării turbinelor hidraulice prin diminuarea vibrațiilor induse de fluctuațiile de presiune la funcționarea la sarcină parțială.

Obiectivele proiectului sunt:

O1. Realizarea unui sistem inteligent pentru aerarea apei ce tranzitează turbinele hidraulice, care va funcționa în funcție de deficitul de oxigen dizolvat din apa tubinată și de regimul de funcționare a turbinei.

O2. Utilizarea sistemului automatizat pentru aerare în corelație cu monitorizarea parametrilor de funcționare a turbinei (presiune în aspirator, cădere și debit) pentru creșterea randamentului turbinei în regimurile de funcționare la sarcină parțială și pentru reducerea vibrațiilor datorate fluctuațiilor de presiune la ieșirea apei din rotor (în aspirator) la toate regimurile de funcționare pentru creșterea fiabilității turbinei.

O3. Întărirea capacității de inovare a întreprinderii prin realizarea prototipului unui sistem cu potențial de exploatare comercială pe piața internă și internațională.

De-a lungul timpului au fost dezvoltate și testate diferite metode de aerare, cum ar fi injectarea aerului prin: rotor, defletoare montate pe butucul rotorului și în aspirator, bordul de fugă al palelor, inele de distribuție, conul aspiratorului sau combinații ale acestor metode. În funcție de condițiile de funcționare și de metoda de aerare, randamentul energetic a scăzut cu până la 4%. Randamentul turbinelor cu autoventilare este analizată și comparată în literatura de specialitate [7, 13, 14], evidențiindu-se principalii parametri ai aerării: geometria turbinei, cantitatea de aer introdusă, locul admisiei aerului [9, 15] etc. Deși fiecare dintre soluțiile de aerare testate a avut rezultate bune din punctul de vedere al creșterii cantității de oxigen dizolvat, acestea s-au obținut prin introducerea în turbine a unor debite de aer relativ mari, ceea ce, de fapt, a avut un impact negativ asupra randamentului turbinei.

Toate tehnicile de aerare brevetate constau în modificări ale rotorului sau a părților din imediata proximitate, nu utilizează injecția prin bule fine calibrate, și nu au un sistem integrat de control automatizat al acestor soluții. Deși unele dintre tehnicile prezentate mai sus sau regăsite în brevete de invenție [16-20] nu sunt intruzive, implementarea lor în turbine existente implică modificări majore a pieselor existente și nu se pot implementa decât la mașini noi sau la cele la care se face o reabilitare majoră. De exemplu, în [16] aerarea este realizată prin defletoare localizate pe palele rotorului turbinei, în [17] aerarea este realizată printr-o cameră concepută în jurul rotorului, în [18] aerarea este prevăzută prin palele rotorului în partea externă a bordului de fugă etc. La toate aceste soluții cunoscute pentru aerarea apei turbinate, introducerea aerului în turbină nu ține cont de aria interfazică aer-apă și de timpul de contact interfazic, ci se pune accent în special pe cantitatea de aer introdusă în sistemul hidraulic.

Consortiul de parteneri ai acestui proiect a studiat, în cadrul proiectului ECOTURB [21], optimizarea procesului de aerare a apei turbinate și **a dezvoltat un dispozitiv de aerare a apei (dispozitivul ECOTURB)** ce pune accent pe calitatea procesului de aerare (dispersia aerului, timpul de contact aer-apă, căderea de presiune pe dispozitivele de aerare, geometria

și dimensionarea acestora, distribuția mărimii bulelor de gaz din apă, iar după caz s-a calculat eficiența standard a aerării). Dispozitivul ECOTURB reprezintă o componentă esențială dintr-un sistem complex de aerare a apei pentru turbine hidraulice *prietenoase cu mediul*, sistem detaliat într-un brevet internațional, elaborat de membrii echipei de cercetare [22], ca brevet euro-asiatic. Dispozitivul ECOTURB respectă geometria internă a conului aspirator al turbinei pe care este implementat, iar introducerea aerului în circuitul hidraulic se face dispers și neinvaziv, astfel încât curgerea nu este perturbată. Studiul a fost făcut atât numeric (fig.1) cât și experimental în condiții de laborator, iar în ultima fază la scară reală prin realizarea unui model demonstrator (fig.2), cu un **nivel de maturitate tehnologică TRL5** [22, 23]. Soluția *i-Turb* folosește dispozitivul de aerare ECOTURB, cu o geometrie ușor de implementat atât pe turbinele existente, cât și pe cele noi, complet neinvazivă și care respectă traseul de curgere a apei din conul aspirator al turbinei.

Necesitatea automatizării și dezvoltării unei soluții complete care să integreze dispozitivul ECOTURB a rezultat în urma testării acestuia. Fără a fi controlată admisia naturală a aerului în timpul funcționării turbinei, la un anumit regim de funcționare s-a observat scăderea puterii turbinei cu aproximativ 18 %, față de o scădere a puterii turbinei de maxim 1,2 % în timpul injectării controlate cu aer comprimat. Pe de altă parte, la anumite regimuri de funcționare a turbinei s-a remarcat că aerarea are un rol benefic asupra randamentului turbinei [24]. Astfel, dispozitivul de aerare, dacă este comandat în mod *intelligent*, poate fi utilizat nu numai pentru aerare, dar și pentru îmbunătățirea funcționării turbinei la regimuri de sarcină parțială.

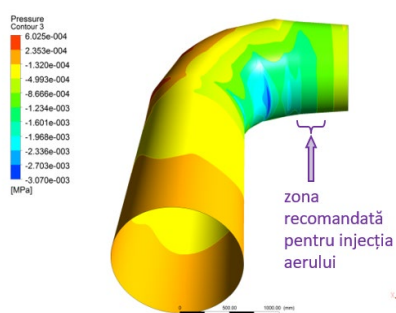


Fig. 1. Distribuția de presiune în plan meridian în aspiratorul unei turbine Francis ($V_{ref} = 3,43$ m/s)



Fig. 2. Dispozitivul de aerare ECOTURB (albastru) în funcțiune pe turbina hidraulică de tip Francis

Având la bază rezultatele cercetărilor efectuate cu dispozitivul de aerare ECOTURB, unde măsurătorile s-au efectuat utilizând manevrarea manuală a vanelor de admisie a aerului în scop exploratoriu și de validare, s-a demonstrat că o **automatizare a comenzii și controlului dispozitivului** este necesară pentru utilizarea eficientă a acestuia.

În workshop-ul de finalizare a proiectului ECOTURB, specialiștii din mediul academic și industrial au apreciat rezultatele și s-a evidențiat necesitatea continuării cercetării la un nivel superior de maturitate tehnologică, în vederea obținerii unei soluții integrate care controleze influența procesului de aerare asupra randamentului turbinei precum și să asigure un consum energetic scăzut sau chiar nul. De aceea, ECOTURB poate deveni, prin dezvoltarea sistemului *i-Turb*, singura soluție de oxigenare a apei cunoscută la nivel internațional, care să contribuie și la creșterea randamentului turbinei, în anumite regimuri critice de funcționare a turbinei.

3. Definirea parametrilor de reglare a sistemului i-Turb și a influenței lor asupra performanțelor energetice și de aerare (A 1.1)

Livrabil L1: Raport de cercetare privind corelarea între parametrii de aerare, parametrii de funcționare ai turbinei hidraulice și tipul de aerare

3.1. Definirea intrărilor/ieșirilor sistemului de monitorizare și caracteristicile acestora

Se are în vedere ca sistemul de aerare să fie comandat printr-o funcție cu obiective multiple: *nivelul de oxigen dizolvat, fluctuațiile de presiune din aspirator și randamentul turbinei*, astfel încât să se obțină o funcționare optimă atât pentru îmbunătățirea calității apei cât și pentru funcționarea turbinei.

Soluția ***i-Turb*** propusă în acest proiect va asigura un nivel controlat al oxigenului dizolvat din apa turbinată prin comanda aerării în situația în care nivelul de oxigen dizolvat este mai mic decât nivelul impus de utilizator ($OD_m \geq OD_i$). Atunci când există un deficit de oxigen dizolvat, dispozitivul de aerare va funcționa utilizând unul dintre cele două module de aerare:

- Aerarea naturală AN - cu diferite grade de deschidere a electrovalvei sau
- Aerarea forțată AF - cu ajutorul sistemului pneumatic de injecție a aerului comprimat.

Aerarea naturală AN va fi realizată prin utilizarea gradientului de presiune dintre nivelul de depresiune din aspiratorul turbinei și presiunea atmosferică de la care este aspirat aerul. Aerarea forțată AF va fi comandată în cazul în care presiunea în conul aspirator al turbinei este superioară sau egală presiunii atmosferice. Soluția ***i-Turb*** va consta dintr-un sistem integrat de monitorizare, control și comandă a parametrilor turbinei folosind dispozitivul ECOTURB.

Se vor monitoriza **parametrii legați de calitatea apei** (oxigen dizolvat, presiune atmosferică, temperatura apei), **de funcționare ai turbinei** (cădere, debit, presiune și nivelul fluctuațiilor de presiune în aspirator, vibrații lagăre) precum **și ai dispozitivului ECOTURB** (poziția și gradul de deschidere al vanelor de admisie a aerului, presiunea și debitul aerului injectat). Alte date vor fi preluate din sistemul de control comandă al centralei. ***i-Turb*** va fi un sistem independent de monitorizare, control și comandă al dispozitivului ECOTURB, inclus în sistemul SCADA al centralei.

3.2. Definirea parametrilor de reglare ai sistemului i-Turb din punctul de vedere al performanțelor procesului de aerare

Pentru a realiza funcția de minimizare a consumului de energie pentru aerare, se va dezvolta un algoritm de reglare automată a oxigenării în funcție de o serie de parametri:

- *concentrația de oxigen dizolvat*: limită de pornire, limita de oprire,

- debitul de apă (Q_{apa}) prin turbină preluat de la sistemul de control comandă al turbinei,
- aria totală de admisie a debitului de aer (Q_{aer}),
- căderea de presiune pe plăcile perforate,
- limite ale fracției de goluri (ϕ): maximă, minimă, histerezis, rata maximă de schimbare.

Vor fi monitorizate (valori medii pe perioada de lucru) debitul de apă preluat din punctul de control al centralei și debitul de aer injectat. Programul calculează debitul de aer ce urmează a fi admis prin aerare naturală AN, utilizând relația (1):

$$Q_{aer} = S_{max} \cdot \sqrt{\frac{2|p_{atm} - p_{turbina}|}{\rho_{aer}}} \cdot \frac{|p_{atm} - p_{turbina}|}{p_{atm} - p_{turbina}} \quad (1)$$

$$\phi = Q_{aer} / Q_{apa} < 5\%, \quad (2)$$

unde: S_{max} este secțiunea maxima de deschidere a vanei, p_{atm} – presiunea atmosferică, $p_{turbina}$ – presiunea în turbină în zona de injecție și ρ_{aer} – densitatea aerului.

Dacă debitul de aer calculat nu este suficient pentru obținerea unei fracții de goluri în limitele specificate de ecuația (2), atunci electrovalvele vor fi închise, iar debitul de aer necesar este asigurat acționând alimentarea cu aer comprimat, AF. Se prezintă mai jos (fig. 3) o schemă conceptuală a sistemului automatizat de aerare a apei ce se va realiza în cadrul acestui proiect.

Sistemul automatizat va avea o interfață grafică care să permită utilizatorului monitorizarea funcționării algoritmului de reglare automată, configurarea parametrilor, conexiunea cu interfața de comunicație a datelor, evoluția procesului de aerare și controlul automat sau manual al sistemului.

3.3. Definirea parametrilor de reglare ai sistemului i-Turb din punctul de vedere al performanțelor energetice

Din punctul de vedere al performanțelor energetice și mecanice ale agregatului, se vor monitoriza:

- presiunea la intrarea în turbină,
- debitul turbinat (același debit de apă menționat mai sus,
- puterea electrică produsă de agregat,
- vibrațiile la arbore și pe carcasa turbinei.

Plecând de la măsurările parametrilor de funcționare ai turbinei, se va poziționa punctul de funcționare pe caracteristica de exploatare a turbinei. Se vor introduce parametrii specifici de aerare pentru diferite zone de funcționare în vederea îmbunătățirii randamentului turbinei. Acești parametri vor fi optimizați într-o etapă următoare a proiectului, într-o anumită plajă de variație, astfel încât să nu fie afectată integritatea instalației, pentru a se obține cel mai bun raport între eficiența aerării (dacă este necesară), nivelul fluctuațiilor de presiune și randamentul turbinei. În funcție de condițiile de operare, un obiectiv poate fi prioritizat în raport cu celelalte.



Fig. 3. Schema bloc a conceptului de sistem automatizat de aerare a apei

Unitatea de comandă a sistemului automatizat va activa funcția de aerare doar în situația în care nivelul de oxigen dizolvat măsurat în apa turbinată este mai mic decât nivelul de oxigen dizolvat impus de utilizator ($OD_m \geq OD_i$). Atunci există un deficit de oxigen dizolvat, iar dispozitivul de aerare va funcționa utilizând unul dintre cele două module de aerare:

- Aerarea naturală AN - pentru admisia aerului la presiunea atmosferică, sau
- Aerarea forțată AF- cu ajutorul sistemului pneumatic de injecție a aerului comprimat.

Fiecare dintre aceste module are prevăzută cu câte o electrovalvă cu grad de deschidere controlat, acționate de unitatea de comandă. În figura 2 se prezintă schema bloc conceptuală a sistemului automatizat de aerare a apei turbinate. Blocurile reprezentate pe fundal violet sunt cele ce trebuie realizate și cu gri închis este reprezentat blocul cu algoritmul realizat. Blocurile pe fundal alb sunt componente asupra cărora nu putem interveni.

4. Realizarea algoritmului de reglare a procesului de aerare (A 1.2)

Livrabil L2: Algoritm de reglare a procesului de aerare

4.1. Conceperea algoritmului de reglare a procesului de aerare

Algoritmul de reglare automată a procesului de oxigenare se face în funcție de nivelul de presiune din aspiratorul turbinei după următorii pași:

- Calculează viteza de admisie a aerului după relația



- $\phi_{min} = \frac{Q_{aer}}{Q_{apa}}$ [%] – fracția de goluri minim permisă a fi introdusă în circuitul hidraulic în cazul funcționării dispozitivului cu aerare naturală,
- h_{ϕ} [%] – Prag de comutație / histerezis al fracției de goluri pentru pornirea/oprirea dispozitivului de aerare naturală,
- **Factor de corectie ϕ** – factor de limitare a deschiderii de admisie a aerului ϕ ,
- $OD_i \pm h_{od}$ [mg/l] – Prag de comutație pentru pornirea/oprirea dispozitivului de aerare funcție de al nivelul de oxigen dizolvat impus.

Schema logică a algoritmului de control automat a dispozitivului de aerare a fost implementată în programul LabView (fig. 5), care folosește un limbaj schematic și generează o interfață grafică pentru utilizator.

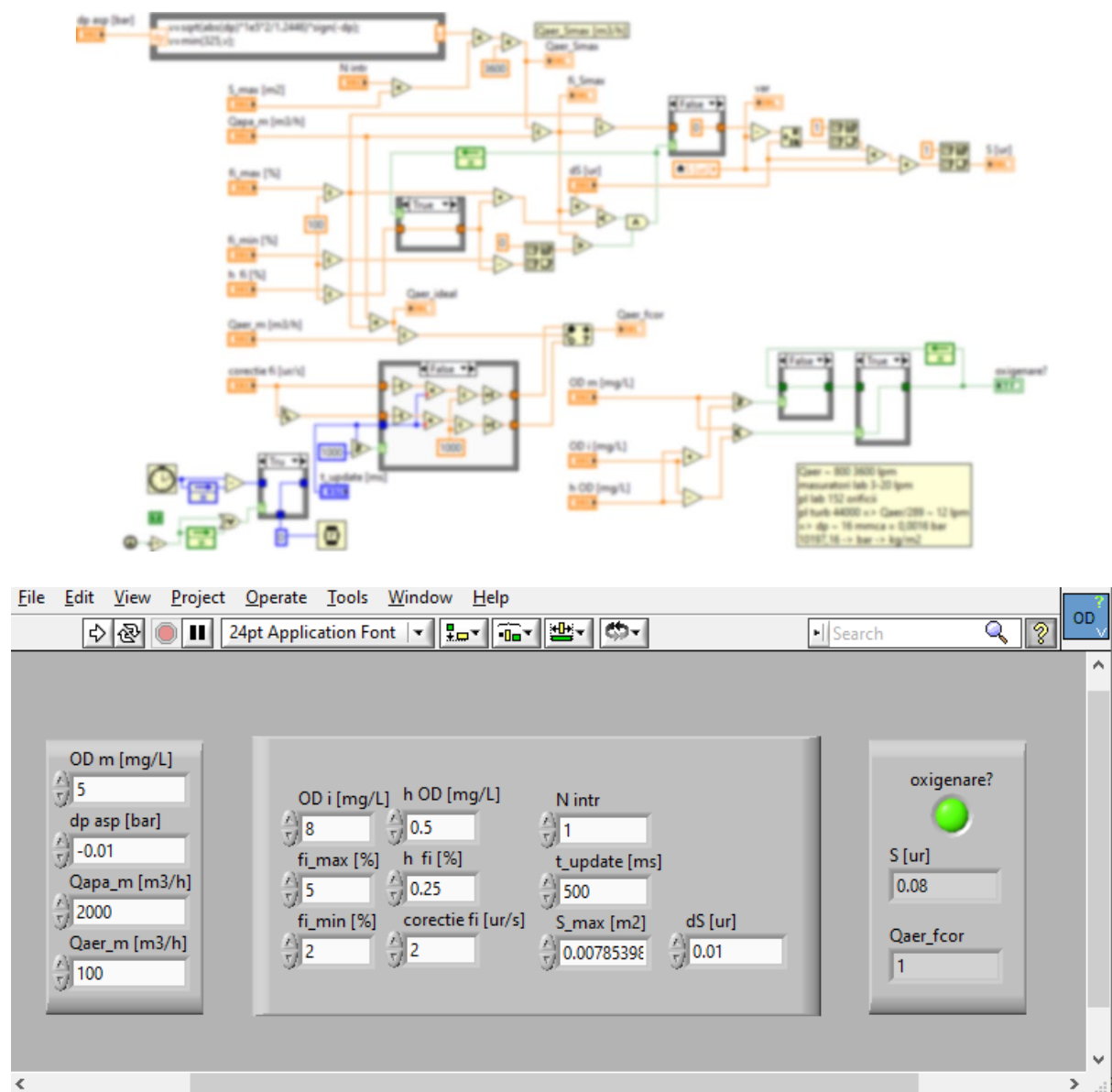


Fig. 5. Implementare în LabView a algoritmului de control automat al dispozitivului de aerare și interfața grafică generată

4.2. Testarea algoritmului de reglare

Adicional s-a construit un program test pentru verificarea punctelor de functionare testate în situ, cu diferite fractii de goli injectate, în cazul utilizării opțiunii de aerare forțată AF. Prin varierea presiunii în aspiratorul turbinei se pot observa punctele de functionare în care ar fi posibilă opțiunea de aerare naturală pentru o anumită deschiderea a electrovalvei (de exemplu de 10%)

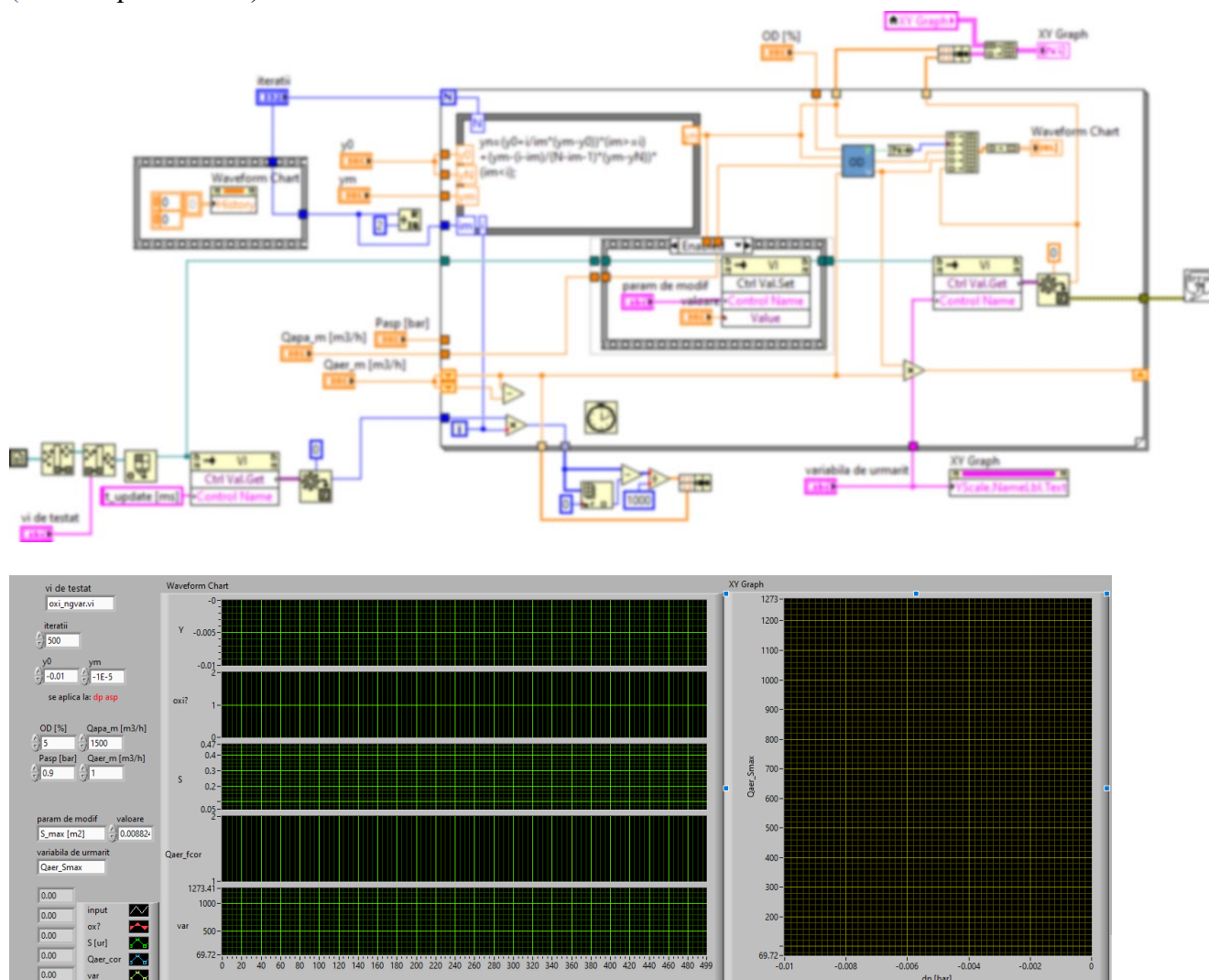


Fig. 6. Program test de verificare al algoritmului de control automat al dispozitivului de aerare și interfața grafică

Pentru verificarea stabilității algoritmului, programul de test balează variabilele de intrare predefinite, în vederea verificării limitelor impuse parametrilor de ieșire. Culoarele indică tipul valorii, astfel, portocaliu reprezintă tip virgulă flotantă, albastru tipul întreg, mov tip șir de caractere, iar verde tipul logic (*True / False*). Grosimea firelor indică dimensiuni ai respectivei variabile sau constante, astfel firele subțiri reprezintă valori scalare, firele groase tablou (*array*) unidimensional, firele duble tablou bidimensional.

Programul permite impunerea unei curbe pentru una dintre variabilele de intrare, modificare unui parametru (la alegere) și urmărirea evoluției unei variabile de ieșire sau lucru.

Afișarea se face pe două grafice, cel din stânga reprezentând variațiile în timp / interacții, (cu Y fiind curba impusa), iar cel din dreapta variabilei urmărite funcție de variabila de intrare impusa. Pentru o mai ușoară comparație, graficul din dreapta reține curbele generate anterior.

În figura 7.a-b. se observa efectul variației diferenței de presiune ($dp = p_{asp} - p_{atm}$) în diverse condiții asupra variabilelor de lucru și ieșire, cum ar fi gradul de deschidere al electrovalvei (s) și factorul de corecție a debitului de aer pentru atingerea nivelului de oxigen dizolvat impus de operator (Q_{aer_fcor}). Palieretele din curba de la Fig. 7 a-b se datorează limitării numărului de trepte de deschidere a electrovalvei.

În figura 7.d. se observa semnalizarea întreruperii aerării când OD depășește pragul limită superior, prin trecerea variabilei *oxigenare?* în *False* și apoi revenirea la *True* când OD scade sub limită. Se poate observa aici efectul histeretizului impus.

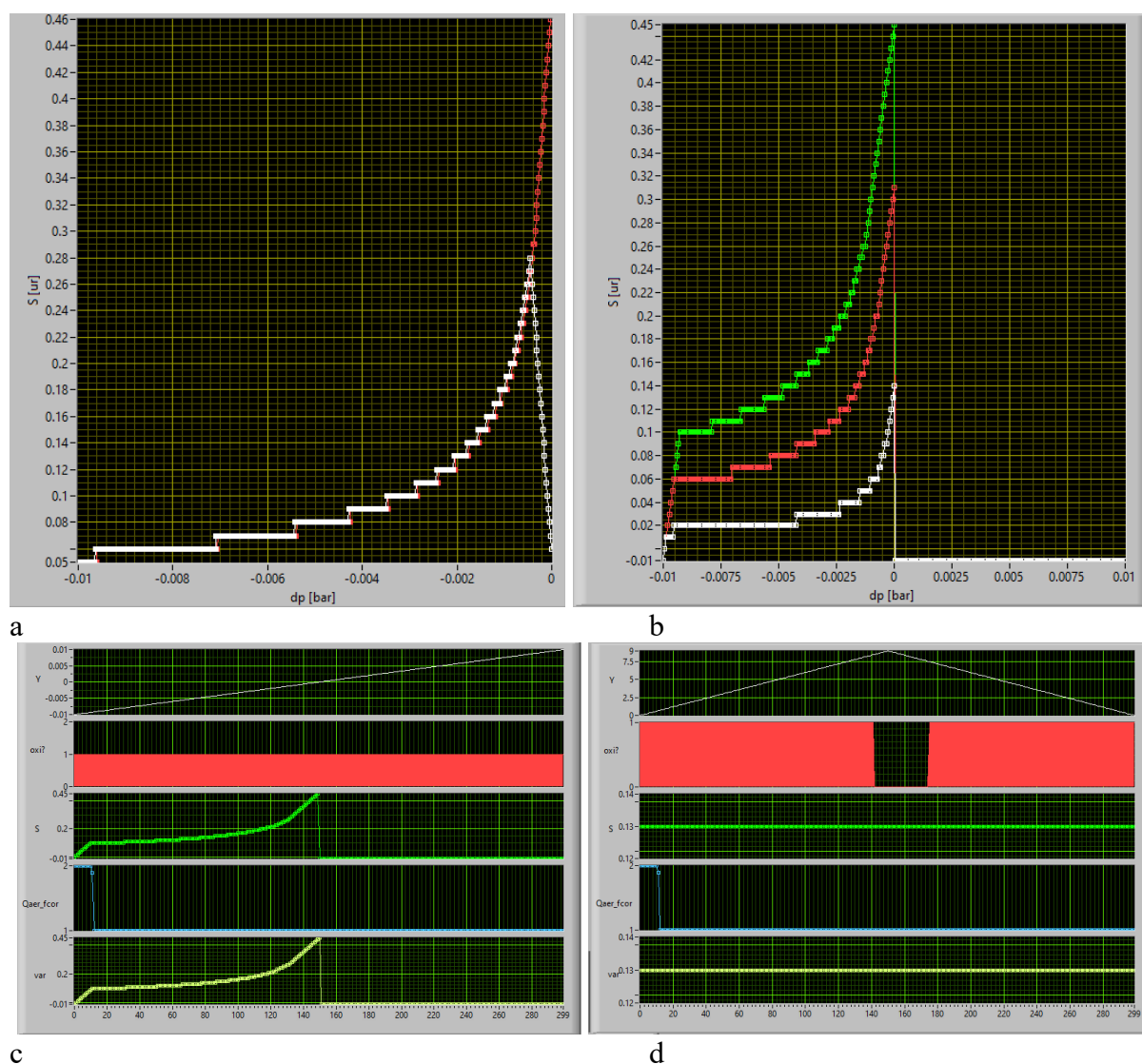
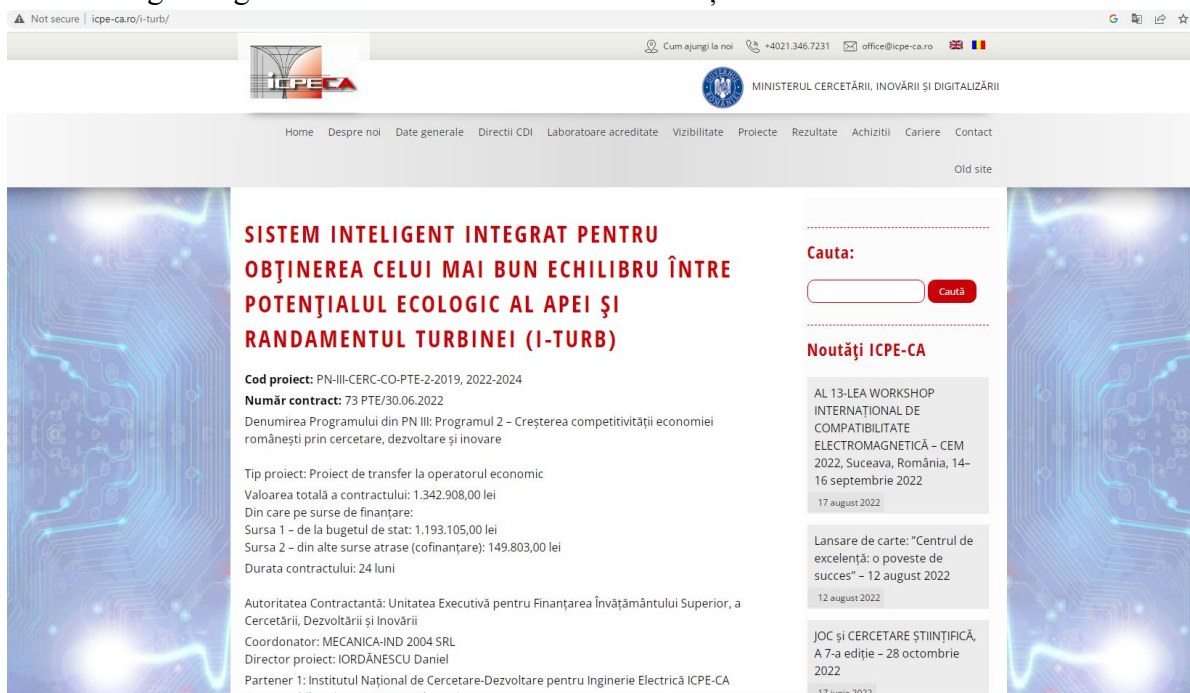


Fig 7 a. Deschiderea electrovalvei funcție de dp , (alb – descrescător); b. Deschiderea electrovalvei pentru trei debite diferite; d. Răspunsul la creșterea și descreșterea OD (Y pe grafic) între 0% și 9%

5. Diseminarea rezultatelor (A1.3)

Livrabil L3: Site web

În perioada de raportare, partenerul P1 a realizat site-ul web al proiectului, găzduit pe serverul ICPE-CA - <http://www.icpe-ca.ro/i-turb/>. Pagina proiectului are următoarele secțiuni: Rezumatul proiectului, Echipa de cercetare, Obiective, Rapoarte tehnice, Date de contact. Aceasta va fi populată, pe parcursul proiectului, cu rapoartele de cercetare anuale și se vor adăuga imagini/video cu rezultatele relevante obținute.



6. Concluzii

În prezenta etapă de raportare au fost realizați toți indicatorii de rezultat propusi, respectiv:

L1: Raport de cercetare privind corelarea între parametrii de aerare, parametrii de funcționare ai turbinei hidraulice și tipul de aerare

L2: Algoritm de reglare a procesului de aerare

L3: Site web

În urma analizei comportamentului dispozitivului de aerare cu cele două opțiuni de aerare s-a elaborat un algoritm de reglare a procesului de aerare, astfel încât acesta să funcționeze cu un consum minim de energie și să atingă nivelul de oxigen dizolvat impus de utilizator. Dispozitivul va funcționa doar atunci când există un deficit de oxigen în apă, cu scopul de a asigura în permanență respectarea normelor de calitate a apei referitoare la conținutul de oxigen dizolvat din apa din râurile din avalul hidrocentralelor.

7. Bibliografie

- [1] Water Framework Directive, (2000), Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC), Directiva Cadru 60/2000/CEE în domeniul apei
- [2] Lee N., Yee L.T., Grinang J., 2012, Physico-chemical characteristics in the filling phase of Bakun Hydroelectric Reservoir, Sarawak, Malaysia, *International J. of Appl.Sci. and Technology*, 2, 6, 92-101,
- [3] Rakhmatullaev S., Huneau F., et al., 2010, Facts and Perspectives of Water Reservoirs in Central Asia: A Special Focus on Uzbekistan, *Water*, 2, 307-320; doi:10.3390/w2020307
- [4] Caraballo P., Forsberg B.R., de Almeida F.F., Leite R.G., 2014, Diel patterns of temperature, conductivity and dissolved oxygen in an Amazon floodplain lake: description of a fragement phenomenon, *Acta Limnologica Brasiliensia*, 26, 3, 318-331
- [5] Köktürk M., Atamanalp M., 2015, Water Quality in Tortum Stream and its Tributaries (Erzurum/Turkey), *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research* 1(1): 49-55
- [6] SilvaA., SchulzH. 2007, Spatial and temporal characterization of some water quality physical parameters and their relationships with land-use in Água Fria watershed, *Rev. Ambi-Água*, Taubaté, 2, 1, 21-29
- [7] Harshbarger E.D., Mobley M.H., Brock W.G., 1995, Aeration of hydroturbine discharges at Tims Ford Dam, ASCE, 9, *Waterpower Proc. of the Conf. on Hydropower*, San Francisco, 1, 11-19,
- [8] Wahl T.L. and Young, D., 1995, Dissolved oxygen enhancement on the Provo River, *Waterpower '95, Proc., Int. Conf. on Hydropower*, ASCE, San Francisco
- [9] Ling T. C., Phang K. S., Soo C. L., et al., 2019 Spatiotemporal profiles of water quality at a new large tropical hydroelectric dam reservoir. *AACL Bioflux* 12(3):893-907,
- [10] Perkinsin A., Dixon D., Dham R., Fous J., 2013, Development Status of the Alden Fish-Frendly Turbine, March, *Hydro Review - the Magazine of the North American Hydroelectric Industry*, p.46-55,
- [11] Koralay N., Kara O., Kezik U., 2018, Effects of run-of-the-river hydropower plants on the surface water quality in the Solakli stream watershed, Northeastern Turkey, *Water and Environment J.*, 32 412–421, doi:10.1111/wej.12338
- [12] Qendro E., 2018, Water Related Conflicts Linked with Development of Hydro Power Plants in Albania, *International Journal of Academic Research and Reflection*, Vol. 6, No. 3,
- [13] Rohland K.M., Foust J.M., Lewis G.D., Sigmon J.C., 2010, Aerating Turbines for Duke Energy's New Bridgewater Powerhouse, *Hydro Review*, 29, No.3, p. 58-64
- [14] Ponsonnet H., Ibrahim A., et al, 2015, Economic Viability of Dissolved Oxygen Amelioration in Tailwater of Hydroelectric Dams to Ensure Wildlife Indemnity, *CEE361 Environmental Eng.*,
- [15] Sullivan A., Bennet K., 2006, *Retrofit Aeration System (RAS) for Francis Turbine*, Final Report, Ameren UE and MEC Water Resources Inc., contract FC36-02ID14408, US
- [16] Cybularz J.M., Fisher R.K., Franke G.F., Grubb R.G., Dissolved gas augmentation with mixing chambers, Patent No. 5 823 740, US005823740A
- [17] Cybularz J, Steele R, Scott I, Fisher R, Draft tube peripheral plenum, Patent 5 941 682, US005941682A
- [18] Kao D.T., Iowa A., *Hydropowered turbine system*, Patent No. 5 780 935, US005780935A

- [19] Beywem J.R., Fisher R.K., Grubb R.G., Hydraulic turbine for enhancing the level of dissolved gas in water, Patent No. US 6 247 893, US006247893B1
- [20] Desy N., Hydraulic turbine with enhanced dissolved oxygen, Patent No. US006854958B2
- [21] *Innovative aeration system of the water used by hydraulic turbines, for preservation of the aquatic life* ECOTURB, PNII-PT-PCCA, UEFISCDI, ctr. 88/2014, Dir. proiect Bunea F.
- [22] Bunea F., Ciocan G.D., Nedelcu A, Bucur D.M., Dunca G., Codescu S., Water aeration system for the hydraulic turbines (СИСТЕМА АЭРАЦИИ ВОДЫ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТУРБИН), **Eurasian Patent** no 036765/17.12.2020 B1
- [23] Bucur D.M., Dunca G., Bunea F., Călinoiu C., 2017, Aeration process influence over the operation of a small hydro turbine - generator unit, 10th International Symp. on Advanced Topics in Electrical Eng. (ATEE), 23-25 March, IEEE, DOI: 10.1109/ATEE.2017.7905045
- [24] Bucur DM, Dunca G, Bunea F, Ciocan GD, 2019, Experimental analysis of the operation of a small Francis turbine, 29 th IAHR Symp. on Hydraulic Machinery and Systems, Kyoto, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sci.240, 042010, doi:10.1088/1755-1315/240/4/042010
- [25] Bunea F, Ciocan GD, Bucur DM, Dunca G, Nedelcu A, Hydraulic turbine performance assessment with implementation of an innovative aeration system. *Water* 2021, 13(18), 2459, <https://doi.org/10.3390/w13182459>