



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2017 00688

(22) Data de depozit: 20/09/2017

(41) Data publicării cererii:
28/02/2018 BOPi nr. 2/2018

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
INGINERIE ELECTRICĂ ICPE-CA,
SPLAIUL UNIRII NR.313, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• BUNEA FLORENTINA,
STR. VASILE VASILIEVICI STROESCU
NR. 46, AP. 2, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,
RO;

• CIOCAN GABRIEL DAN, STR. PAȘCANI
NR. 7, BL. D8, SC. A, ET. 1, AP. 3,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
• NEDELĂCU ADRIAN,
BD.DIMITRIE CANTEMIR NR.17, BL.10,
SC.A, AP.34, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B,
RO;
• BUCUR DIANA MARIA, STR.DREPTĂȚII
NR.8, BL.02, SC.2, ET.5, AP.57, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;
• DUNCA GEORGIANA,
STR.RĂSCOALA 1907, NR.10, BL.14, SC.1,
ET.2, AP.15, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,
RO;
• CODESCU SEBASTIAN, STR.ALBA IULIA
NR.148, COM.CERAȘU, PH, RO

(54) SISTEM DE AERARE A APEI PENTRU TURBINE
HIDRAULICE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem de aerare a apei pentru turbine hidraulice, integrat în conul aspiratorului turbinei hidraulice, cu scopul de a crește conținutul de oxigen dizolvat din apa turbinată din centralele hidroelectrice. Sistemul conform invenției cuprinde un dispozitiv de aerare a apei prin turbine hidraulice, care se integrează și respectă întocmai geometria interioară a conului aspirator al unei turbine, și care este alcătuit dintr-o cameră (CA) de aer, cu pereții interiori formați din niște plăci (1) perforate, fixate pe o grilă (2) de susținere, astfel încât acestea să acopere total sau parțial pereții interiori, care este în contact cu fluxul de apă turbinată, camera (CA) de aer fiind prevăzută cu un perete (3) amonte, un perete (4) aval și o cămașă (5) exterioară, pe care sunt poziționate echidistant niște țevi (6) de admisie aer pentru aerarea naturală a aerului la presiune atmosferică, prevăzute cu niște electrovalve (7), cu rol de reglare a debitului de aer, niște țevi (8) de injecție aer, pentru aerarea forțată a aerului, cu rol de injecție controlată a presiunii și debitului de aer comprimat, un ștuț (9) de golire a apei care pătrunde din circuitul hidraulic al turbinei în camera (CA) de aer, continuată cu un tronson (18) amonte, prevăzut cu un traductor de presiune, și un tronson (19) aval; se fixează de conul aspirator al turbinei prin intermediul unei flanșe (20) amonte și al unei flanșe (21) aval, iar plăcile (1) care reconstituie, împreună cu grila (2) geometria interioară a conului original al turbinei, conțin niște orificii calibrate cu diametre de la 0,2...5 mm, dispuse echidistant cu un pas de 3...7 diametre pentru

a evita coalescența bulelor în curgerea din turbină, în funcție de fracția de goluri, admisă în curgerea din turbină, admisia aerului în turbină fiind efectuată în funcție de nivelul de presiune din turbină și al deficienței de oxigen dizolvat din apă, prin acționarea unui modul de comandă și control al procesului de aerare.

Revendicări: 3
Figuri: 13

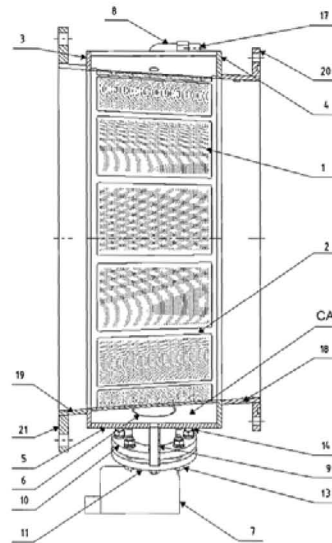
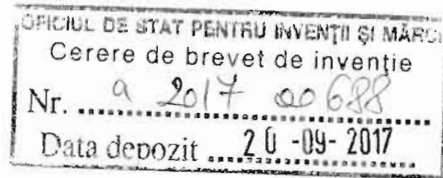


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





Sistem de aerare a apei pentru turbine hidraulice

Invenția se referă la un sistem de aerare a apei pentru turbine hidraulice integrat în conul aspiratorului turbinei hidraulice cu scopul de a crește conținutul de oxigen dizolvat din apa turbinată din centralele hidroelectrice.

Este cunoscut faptul că 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 deoarece producerea energiei hidroelectrice nu poluează mediul. Măsuri corespunzătoare trebuie implementate pentru limitarea impactului amenajărilor hidroelectrice asupra mediului. Una din principalele preocupări ale autorităților de mediu o reprezintă calitatea apei evacuate de turbine în râuri, în mod special nivelul scăzut de oxigen dizolvat din apă, care poate avea un impact nefavorabil asupra mediului și poate pune în pericol viața acvatică. Energia hidroelectrică este principala sursă de energie verde, dacă sunt considerate măsuri de protecția mediului la implementarea amenajărilor hidroelectrice. Calitatea apei, cu accent pe nivelul oxigenului dizolvat, face parte dintre acestea. Conceptul de *prietenos mediului* a devenit o necesitate pentru continuarea dezvoltării hidroenergetice. În contextul dezvoltării durabile nu se acceptă degradarea ecologică a râurilor datorită amenajării unei centrale hidroelectrice pe cursul de apă. În cazul barajelor de mare înălțime, cu alimentare de la baza lacului de acumulare, apa este puțin oxigenată și prin turbinare cantitatea de oxigen dizolvat continuă să scadă.

Directiva Cadru a Apei a Uniunii Europene are ca obiectiv fundamental atingerea unei „stări bune” a tuturor corpurilor de apă de suprafață și subterane din statele membre ale UE și ariile asociate precum și atingerea „potențialului ecologic bun” pentru apele puternic modificate și artificiale. Directiva Cadru Apa, impusă de către Uniunea Europeană, a fost transpusă și în România în Legea Apelor, iar anexa privind controlul nivelului de oxigen dizolvat se regăsește în Ordinul de ministru 161/2006.

Conținutul redus de oxigen dizolvat din râuri reprezintă un factor de poluare, acesta putând ajunge în unele cazuri până la 0-2 mgOD/l, în condițiile în care cantitatea minimă necesară vieții acvatice este de aproximativ 6 mgOD/l. Conținutul de OD variază în funcție de temperatura / clima zonei în care sunt amplasate centralele hidroelectrice, volumul și adâncimea lacului lacul de acumulare din care apa este admisă în turbine, substanțele organice din lac, adâncimea de la care se face admisia apei în turbină (de obicei se face din straturile de adâncime, unde nivelul de oxigen este cel mai redus), tipul și regimurile de funcționare ale hidrocentralei, nivelul de presiune din turbina hidraulică, în special în cazul turbinelor de tip Francis la funcționarea acestora în regim de sarcină parțială. Nivelul de OD din apa turbinată poate scădea atunci când sunt îndeplinite condițiile: adâncimea lacului de acumulare mai mare de 15 m, volumul mai mare de 61·10⁶ milioane m³, puterea instalată a CHE este mai mare de 10 MW, timpul de retenție al apei este mai mare de 10 zile.

Sunt **cunoscute mai multe soluții** de modernizare a turbinelor hidraulice cu scopul de a mari concentrațiile de oxigen dizolvat din râurile din avalul CHE.

Metodele convenționale pentru creșterea nivelului de OD din avalul hidrocentralelor includ prize de apă selective, stăvilare /deversoare, pompe de suprafață, compresoare și aerare prin supapa axială a butucului turbinei și deflectoare montate în

aspiratoarelor turbinei (deflectoarele sunt instalate pe turbinele pentru a crea zone de joasă presiune și a direcționa aerul aspirat). Toate aceste tehnici au fost încercate la infrastructura hidrocentralelor, cu grade diferite de rentabilitate și de performanță a aerării. Aerarea turbionară este considerată ca fiind cea mai eficientă tehnologie raportată la cost în privința îmbunătățirii nivelului de oxigen dizolvat (OD). Adesea însă aerarea în scopul îmbunătățirii calității apei din avalul centralelor hidroelectrice, este încă neglijată la marea majoritate a turbinelor instalate.

Principalii furnizori mondiali de energie electrică și constructori de turbine hidraulice din Europa și SUA încep să răspundă, încă din anul 1950, preocupărilor legate de mediu în ceea ce privește exploatarea centralelor hidroelectrice (CHE). La Tims Ford Dam [Harshbarger și colab, 1995] s-au testat două tipuri de aerare în scopul obținerii unui nivel de 6 mg/l OD: injecția de aer în turbină utilizând suflante și injecția de oxigen prin furtune poroase instalate pe conducta forțată a turbinei de 250 m lungime și cu un diametru de 6,7 m. Pentru injecția aerului, s-au instalat suflante astfel încât aerul comprimat să fie injectat sub rotor sau în aspirator. Al doilea sistem a fost proiectat cu scopul de a fi utilizat atunci când nu se poate atinge nivelul de OD necesar doar cu funcționarea suflantelor. La funcționarea ambelor sisteme s-a obținut o cantitate de maxim 5,2 mg/l iar la funcționarea doar cu aer s-a obținut în aval maxim 4,2 mg/l OD, în condițiile în care în amonte nivelul de OD era de maxim 1 mg/l. Ambele sisteme au fost utilizate pe o perioadă de 52 de săptămâni variind pe rând debitele de apă, aer și oxigen și s-au efectuat măsurători pentru a evalua creșterea cantității de OD și eficiența turbinei. Pentru fiecare caz, datele au arătat că eficiența turbinei a scăzut cu aproximativ 1% dar țelul de 6 mg/l nu a fost atins.

În SUA, la centralele hidroelectrice din Bull Shoals [Harshbarger, et al, 1999] și Table Rock, ce funcționau cu turbine de tip Francis s-au utilizat încă din 1991 deflectoare plasate pe rotor, orientate astfel încât să creeze depresiune maximă, cu scopul de a menține nivelul oxigenului dizolvat din aval la minim 4 mg/l. În cazul centralei de la Table Rock s-a montat un inel cu rol de deflector pe periferia rotorului și s-au lărgit orificiile deja existente de la 2,5 la 3,75 cm. În plus s-a modificat sistemul de spargere a vacuumului pentru a permite intrarea unei cantități mai mari de aer. În primul caz, cantitatea de OD a crescut cu 2÷3 mg/l la funcționarea cu un singur grup și cu 1÷2 mg/l la funcționarea tuturor grupurilor. De asemenea puterea livrată de către centrala scade cu 1,3 % - 3 %. În al doilea caz OD a crescut cu 2,5÷3 mgOD/l la funcționarea unui singur grup și 2÷2,5 mgOD/l la funcționarea ambelor grupuri.

Studii și măsurători privind influența aerării asupra puterii și comportamentului mecanic al turbinei au fost efectuate la Deer Creek Reservoir [Wahl și colab., 1994], în scopul obținerii de date necesare proiectării unui sistem permanent de aerare la turbine. Aerul este injectat în aspirator prin pasaje deja existente (sistemul de spargere a vacuumului și tuburi snorkel ale celor două turbine), folosind două compresoare, astfel încât să se producă o amestecare a aerului cu apa turbinată, conducând astfel la creșterea concentrației de OD. În lunile de vară, în apa evacuată din centrală, concentrația OD scade până la 0÷2 mg/l afectând peștii pe o distanță de 3÷5 km. Noul sistem de aerare la turbine are scopul de a mari valoarea OD cu 3,5 mg/l.

Cu debite de aer mai mici sau egale cu 4% ($\phi \leq 4\%$) din debitul de apă turbinat, eficiența aerării a crescut cu aproximativ 10% pentru fiecare procent în plus de debit de aer. În gama de deschidere a aparatului director de 55÷77%, scăderea randamentului

energetic datorată aerării a fost de aproximativ 0,5% pentru $\phi = 1\%$. S-a renunțat la sistemul activ de aerare datorită costului mare de întreținere a echipamentelor electrice. Concluzia a fost ca fiecare dintre aceste alternative ar produce rezultate mai bune, introducând în turbine debite de aer relativ mari, într-o varietate de condiții de funcționare.

Scopul altor cercetări [March și colab., 1992] a fost de a furniza până la 6 mg/l OD în apa din aval, cu minimizarea efectului aerării asupra randamentului energetic și capacității centralei. S-au testat o serie de alternative, printre care injecția aerului prin: rotor sau un deflector reproiectat, muchii de descărcare ale paletelor turbinei, difuzor coaxial, inel de descărcare, aspirator sau combinații ale acestora.

Tennessee Valley Authority a propus un program de modernizare în cadrul căruia s-au înlocuit ori îmbunătățit o serie de turbine în scopul rezolvării problemei deficitului de OD din avalul CHE. Analiza privind performanța hidraulică și de mediu a fost făcută pentru a alege turbina de aerare care se potrivește cel mai bine amplasamentului respectiv. Turbinele cu autoventilare (TAV) au fost implementate pentru prima dată la Norris Dam și conțin trei tipuri principale de aerare aerarea centrală, distribuită și periferică (la ieșirea de pe paletel rotorului turbinei). Pentru a maximiza performanțele de mediu și cele energetice, s-au efectuat măsurători cu aceste posibilități de aerare. A fost testată fiecare opțiune (în funcționare simplă sau combinată cu celelalte) pe un domeniu larg de regimuri de funcționare a turbinei. Pentru un singur grup, s-a obținut o creștere a OD de până la 5,5 mgOD/l la funcționarea cu toate opțiunile de aerare. În acest caz, cantitatea de aer aspirată în turbină este de peste două ori mai mare decât la funcționarea cu turbinele originale dotate cu deflectoare pe rotor. În funcție de condițiile de operare și de opțiunea de aerare, randamentul energetic a scăzut cu $0 \div 4\%$. Eficiența acestor turbine cu autoventilare este analizată și comparată în literatura de specialitate [Rohland, 2010], evidențiindu-se principalii parametri ai aerării: geometria turbinei, cantitatea de aer, locul admisiei cu aer [Papillon et al, 2002], [Sullivan & Bennet, 2006], etc. În aceste lucrări, deși este menționată, nu este studiată mărimea și distribuția bulelor de aer. Studiile și cercetările continuă cu modelarea matematică a curgerii prin TAV. Fiecare metodă are caracteristici diferite și influențe asupra dimensiunilor și distribuțiilor de bule care curg prin aspiratorul turbinei, la diferite regimuri de funcționare [Perkinsin et al, 2013], [Sale et al, 2006].

Cercetările privind sistemele de aerare a apei uzinate de turbinele hidraulice continuă datorită importanței semnificative pe care o are aerarea asupra ecosistemelor [Bunea et al, 2010 și 2014] dar și datorită reglementărilor referitoare la calitatea apei. Operatorii hidroelectrici încearcă să optimizeze raportul dintre măsurile de ameliorate a calității apei și randamentul producerii de energie.

Se mai cunosc alte soluții tehnice brevetate:

- EP 2 873 851 A1, în care aerarea este realizată prin deflectoare/hidrofoli localizate pe paletel rotorului turbinei
- US 6 854 958 B2. Aerarea este realizată printr-o cameră specific concepută în jurul centurii rotorului – în partea fixă a turbinei. Admisia aerului este prevăzută prin mai multe părți ale turbinei la intrarea în rotor, între aparatul director și rotor și la ieșirea din rotor între centura rotorului și conul aspiratorului prin fante dispuse pe circumferința rotorului.

- US 6 247 893 B3. Aerarea este prevazuta prin palele rotorului in partea extrema a bordului de fuga. Inventia este realizata pentru turbine Francis si Kaplan.
- US 941628 A. O fanta circumferențiară reglabilă, este introdusa la iesirea din rotor in partea superioara a aspiratorului. Injectia este realizata prin aceasta fanta
- US 5 823 740 A. In aceasta invenție un amestec de aer apa este injectat in amonte si aval de rotor. Apa este prelevata din partea de presiune ridicata prin canale in rotor sau prin labirinti si aerul este injectat in camere de amestec situate in partile fixe in jurul centurii sau a plafonului rotorului.
- US 5 780 935 A. In acest brevet rotorul plasat si prelungit astfel încât extremitatea lui sa traverseze suprafata libera a apei si astfel este realizat amestecul cu aerul atmosferic.

Dezavantajele soluțiilor cunoscute sunt urmatoarele:

Toate aceste brevete tratează aerarea apei care traverseaza turbinele hidraulice. Tehnica de aerare precum si modul de implementare sunt diferite fata de actuala propunere. Toate tehnicile de aerare brevetate constau in modificări ale rotorului sau părților din imediata proximitate si nu utilizează injecția prin bule fine calibrate. Deși majoritatea tehnicilor prezentate nu sunt intruzive, implementarea lor în turbine existente implica modificari majore a piselor existente si nu se pot implementa decât la masini noi sau la cele la care se face o reabilitare majora. Tehnica propusa spre brevetare are avantajul ca se poate implementa in cardul perioadelor normale de mentenanță si implica integrarea dispozitivului de aerare in conul aspirator al turbinei. Costul global al noi propuneri este clar inferior celorlalte metode brevetate iar aerarea se poate face fără costuri energetice atunci când presiunea in aspirator este interioara presiuni atmosferice; in caz contrar este acționată aerarea fortata.

La soluțiile cunoscute pentru aerarea apei turbinate, introducerea aerului în turbină nu tine cont de aria interfazică aer-apă și timpul de contact interfazic, ci se pune accent în special pe cantitatea de aer introdusă în sistemul hidraulic. Eficiența aerării în cazul CHE este, de obicei exprimată prin fracția de goluri (relația 1).

$$\phi = \frac{Q_{aer}}{Q_{apa}} \quad (1)$$

În general, pentru a crește nivelul de OD cu 1 mg/l, este necesară o cantitate de aer de 1% din volumul de apă vehiculat. Pe de altă parte, pentru a limita scăderea randamentului energetic, debitul de aer trebuie să nu depășească 3-5% din debitul de apă turbinat (relația 2).

$$\phi = Q_{aer} / Q_{apa} < 3-5\%, \quad (2)$$

cu Q_{aer} și Q_{apa} debitul de aer respectiv de apă.

Introducerea unui debit de aer in circuitul hidraulic al turbinei conduce însă la scăderea randamentului turbinei. Pe de alta parte această limitare a cantității de aer introduse nu este întotdeauna suficientă pentru obținerea nivelului de OD dorit, in special atunci când conținutul de OD din apa este mai mic de 2-3mg/l. Aceasta este o problemă sensibilă a constructorilor și utilizatorilor de turbine hidraulice, deoarece injecțarea unei cantități de aer suplimentare în circuitul turbinei poate reduce randamentul acesteia; de aceea injecția de aer (modul și locul de introducere, cantitatea,

etc.) devine importantă pentru echilibrul dintre randamentul turbinei și factorul ecologic.

Un alt dezavantaj la majoritatea metodele cunoscute de aerare a apei turbinate, este acela că acestea sunt invazive ceea ce conduce la modificarea curgerii în aspiratorul turbinei și implicit la pierderi de randament, chiar și când sistemul de aerare nu este utilizat.

Un alt dezavantaj la metodele cunoscute de aerare a apei turbinate îl reprezintă consumul energetic ridicat necesar pentru introducerea aerului în turbina

Un alt dezavantaj al metodelor de aerare brevetate constă în necesitatea modificării rotorului sau a distribuitorului, operații greu de realizat la turbinele existente și cu costuri mari la turbinele noi sau reabilitate.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în realizarea unui sistem de aerare a apei prin turbine hidraulice care comanda aerarea naturală **AN**, în cazul în care presiunea în conul aspirator al turbinei este inferioară presiunii atmosferice și comanda aerarea forțată **AF**, în cazul în care presiunea în conul aspirator al turbinei este superioară sau egală presiunii atmosferice printr-un dispozitiv de aerare cu rol de creștere a nivelului de oxigen dizolvat al apei care traversează turbinele hidraulice. Admisia aerului din dispozitivul de aerare în circuitul hidraulic din turbina este realizată prin plăci perforate care reconstituie împreună cu grila de susținere, geometria interioară a conului original al turbinei. Orificii sunt calibrate cu diametre de la 0,2 ... 5 mm, dispuse echidistant cu un pas de 3 ... 7 diametre pentru a evita coalescența bulelor la introducerea în curgere, în funcție de fracția de goluri, admisă în curgerea din turbina. Admisia aerului este efectuată în funcție de nivelul de presiune din turbina și al deficienței de oxigen dizolvat din apă, prin acționarea unui modul de comandă și control al procesului de aerare, cu rol de a minimiza consumul energetic necesar aerării, respectiv comandând aerarea naturală **AN**, fără consum energetic asociat sau aerarea forțată **AF** alimentată cu aer comprimat.

Sistem de aerare a apei pentru turbine hidraulice, conform invenției înlătură dezavantajele menționate prin aceea că, în scopul de a crește conținutul de oxigen dizolvat al apei care uzinează turbina hidraulică, cuprinde un dispozitiv de aerare a apei prin turbine hidraulice care se integrează și respectă întocmai geometria interioară a conului aspirator al unei turbine hidraulice și este alcătuit dintr-o cameră de aer, cu peretele interior format din niște plăci perforate fixate pe o grila de susținere, astfel încât acestea să acopere total sau parțial peretele interior; astfel curgerea în aspirator nu este perturbată de modificări ale turbinei pentru aerare și performanțele hidraulice ale turbinei sunt conservate după instalarea dispozitivului de aerare; în funcție de regimul de funcționare al turbinei aerarea este naturală – fără consum energetic asociat sau forțată cu aer comprimat.

Avantajele invenției sunt următoarele:

Admisia aerului se realizează dispers, sub forma de bule fine pentru a crește suprafața de contact aer-apă și timpul de contact aer-apă. Pentru a crește efectul aerării sunt considerați și alți parametri: distribuția mărimii bulelor de gaz din apă, gradientul de presiune din conul aspirator al turbinei, căderea de presiune prin dispozitivul de aerare, regimul de funcționare al turbinei, deficitul de oxigen dizolvat în apă.

Creste nivelul de oxigen dizolvat din apa uzinată prin centralele hidroelectrice, de turbine hidraulice, se realizează atunci când aceasta apa nu corespunde cerințelor de calitate a apei impuse de regulamentele de mediu europene/mondiale. Pentru realizarea unei arii de contact interfazic cât mai mari, se introduce aerul în turbina sub forma dispersa prin orificii de mici dimensiuni dispuse pe peretele conului aspirator al turbinei. Distanța între orificii și numărul acestora sunt dimensionate astfel încât să permită injectarea cantității de aer conform relației (2), dar și să se respecte cerințele impuse de utilizatorii CHE. Astfel crește și timpul de contact aer – apă, bulele fine de aer luând viteza de deplasare a apei, în comparație cu pungile de aer, introduse sub forma de jet, care tind să iasă rapid din circuitul hidraulic.

Respecta geometria internă a conului aspirator al turbinei pe care este implementat iar introducerea aerului în circuitul hidraulic se face neinvaziv.

Sistemul este simplu de integrat, atât la turbine noi cât și la turbine în exploatare, pentru că instalarea lui se rezumă la montarea dispozitivului de aerare în conul turbinei, care se poate realiza în perioada de mentenanță a turbinei, iar ansamblul de conexiuni pneumatice de alimentare cu aer comprimat și modulul de comandă și control al procesului de aerare sunt anexate dispozitivului de aerare.

Sistemul are un impact minim asupra performanțelor turbinei iar când sistemul nu este utilizat pentru aerare performanțele turbinei nu sunt afectate, în timp ce alte sisteme de aerare cunoscute scad substanțial eficiența turbinei, așa cum este prezentat în stadiul cunoscut al tehnicii.

Un alt parametru de care s-a ținut cont, este consumul energetic asociat injectării cu aer pentru a menține performanțele globale ale amenajării hidrocentralei. Astfel modul de introducere a aerului și utilizarea de bule fine minimizează impactul asupra curgerii în turbina, în funcție de debitul de aer injectat (care este reglabilă prin electrovalve și sistemul pneumatic).

Sistemul utilizează aerarea naturală AN, folosind diferența de presiune între presiunea din aspiratorul turbinei și presiunea atmosferică, fără un consum energetic asociat admisiei aerului în turbina.

În continuare se dă un exemplu de realizare al sistemului de aerare a apei prin turbine hidraulice conform invenției, în legătură cu figurile 1 - 12, care reprezintă:

Fig. 1, Sistem de aerare a apei prin turbine hidraulice conform invenției – Secțiunea A-A,

Fig. 2, Vedere izometrică a secțiunii A-A,

Fig. 3, Vedere 3D a sistemului de aerare a apei prin turbine hidraulice conform invenției,

Fig. 4, Vedere amonte a sistemului de aerare a apei prin turbine hidraulice conform invenției,

Fig. 5, Vedere aval a sistemului de aerare a apei prin turbine hidraulice conform invenției,

Fig. 6, Secțiune F-F - Vedere cameră de aer și țeava de admisie aer la presiunea atmosferică,

Fig. 7, Cămașa exterioară a camerei de aer și dispunerea prizelor pentru țevile de admise aer pentru aerarea naturală și aerarea forțată,

Fig.8, Vedere desfașurată a unei placi perforate,

Fig. 8.a, Detaliu A al figurii 8,

Fig.8.b, Vedere 3D a unei placi perforate,

Fig. 9, Sistem de aerare a apei prin turbine hidraulice,

Fig. 10, Schema ansamblului de conexiuni pneumatice pentru alimentarea cu aer comprimat a sistemului de aerare a apei prin turbine hidraulice,

Fig. 11, Modelul demonstrator al sistemului de aerare a apei ce traversează turbinele hidraulice,

Fig. 12, Poze în zona de injecție a dispozitivului de aerare a apei prin turbine hidraulice, la funcționarea turbinei cu $Q_{apă\ relativ} = 57,1\%$ și $\phi = 1\%$,

Fig. 12 a) Placile perforate înainte de injecția aerului în turbina hidraulică,

Fig. 12 b) Placile perforate în momentul injecției cu aer în turbina hidraulică,

Fig. 12 c) Placile perforate atunci în timpul realizării injecției de aer.

Fig. 13, Variația randamentului turbina-generator funcție de fracția de goluri injectată prin dispozitivul de aerare, conform invenției, la diferite puncte de funcționare în sarcină parțială (B ... F).

Conform invenției, sistemul de aerare a apei prin turbine hidraulice este integrat în conul aspiratorului unei turbine hidraulice, respectând întocmai geometria interioară a conului aspirator.

Sistem de aerare a apei prin turbine hidraulice cuprinde:

- Dispozitivul de aerare a apei prin turbine hidraulice prevăzut cu electrovalve pentru alimentarea cu aer la presiune atmosferică - aerarea naturală **AN**;
- Modulul de comandă și control automat a procesului de aerare;
- Ansamblul de conexiuni pneumatice de alimentare cu aer comprimat - aerarea forțată **AF**.

Dispozitivul de aerare a apei prin turbine hidraulice este alcătuit dintr-o cameră de aer **CA**, cu peretele interior format din niște plăci perforate **1**, prin care este realizată injecția de aer, montate pe o grilă de susținere **2**, astfel încât acestea să acopere total sau parțial peretele interior ce este în contact cu fluxul de apă turbinată. Plăcile perforate **1** sunt niște plăci realizate dintr-un material metalic inoxidabil, perforate cu orificii cu diametre între 0,2 ... 5 mm, dispuse la o distanță de 3 ... 5 diametre între ele ținând cont că fracția de goluri $\phi < 3-5\%$. Camera de aer **CA** mai este delimitată de un perete amonte **3**, un perete aval **4** și o cămașă exterioară **5** pe care sunt poziționate echidistant, niște țevi de admisie aer **6** pentru aerarea naturală **AN** a aerului, prevăzute cu electrovalve **7**, cu rol de reglare a debitului de aer de la presiunea atmosferică. Alte țevi de injecție aer **8**, sunt dispuse echidistant și alternativ cu țevile de admisie aer **6**, prin care se realizează aerarea forțată **AF** cu rol de injecție controlată a debitului de aer prin acționarea unui ansamblu de conexiuni pneumatice de alimentare cu aer comprimat. Camera de aer **CA** mai dispune de un ștuț de golire **9** a apei care pătrunde din circuitul

hidraulic al turbinei în camera de aer, datorită variațiilor de presiune imprimare de curgerea nestaționară. Țevile de admisie aer **6** sunt prevăzute la exterior cu flanșe plate **10**, care se prind de flanșele electrovalvelor **11**. Perechile formate din flanșă plată **10**, flanșă electrovalva **11** cât și garnitura **12** sunt prinse cu șuruburi cu cap hexagonal **13**, piulița hexagonală **14**, șaibă plată A **15** și șaibă Grower R **16**. Țeava de injecție aer **8** este prevăzută cu un adaptor **17** ce face legătura cu conexiunile pneumatice pentru alimentarea cu aer comprimat. Camera de aer **CA** este continuată cu un tronson amonte **18** și un tronson aval **19** care se prind de conul aspirator al turbinei pe care se montează dispozitivul de aerare a apei prin turbine prin intermediul flanșei amonte **20** și flanșei aval **21** și a unor șuruburi și piulițe nefigurate.

Sistemul de aerare funcționează ținând cont de 2 parametri: nivelul de presiune relativă în conul aspiratorului în amonte de zona de injecție a aerului și de nivelul de oxigen dizolvat din aval, la evacuarea apei în bieful aval. Astfel, dispozitivul de aerare a apei prin turbine hidraulice mai cuprinde o priza de presiune (nefigurată) și un traductor pentru măsurarea presiunii pe perețele conului aspirator în amonte de aerator precum și un senzor de oxigen dizolvat în tronsonul aval, la ieșirea apei din turbină.

Modulul de comandă și control automat a procesului de aerare funcționează comandând aerarea naturală **AN** dacă presiunea în conul aspirator al turbinei este inferioară presiunii atmosferice și comandând aerarea forțată **AF** în cazul în care presiunea în conul aspirator al turbinei este superioară sau egală presiunii atmosferice. Acesta constă dintr-un automat programabil, AP, care primește date de la traductorul de presiune din dispozitivul de aerare, traductorul de presiune atmosferică, precum și de la traductorul de oxigen dizolvat amplasat aval de sistemul de aerare și poate acționa închiderea sau deschiderea (parțială sau totală) a electrovalvelor, precum și controla debitul de aer furnizat de stația de compresoare.

Pentru a realiza funcția de minimizare a energiei necesare oxigenării, programul rulat de către automatul programabil mai are nevoie de următorii parametri:

- concentrația de oxigen dizolvat: limită de pornire, limită de oprire,
- debitul de apă nominal prin turbină preluat de la sistemul de control comanda al turbinei,
- aria totală de admisie a aerului din atmosferă,
- căderea de presiune pe plăcile perforate,
- limite ale fracției de goluri: maximă, minimă, histerezis, rata maximă de schimbare.

Suplimentar și următoarele mărimi sunt monitorizate (valori medii pe perioada de lucru):

- debitul de apă prin turbină - preluat din punctul de control al centralei.
- debitul de aer injectat

Programul calculează debitul de aer de preluat din atmosferă prin aerare naturală **AN**, utilizând relația (3):

$$Q_{aer} = S_{max} \cdot \sqrt{\frac{2|p_{atm} - p_{turbina}|}{\rho_{aer}} \cdot \frac{|p_{atm} - p_{turbina}|}{p_{atm} - p_{turbina}}} \quad (3)$$

Dacă debitul de aer astfel calculat nu este suficient obținerii unei fracții de goluri în limitele specificate de ecuația (2), atunci electrovalvele sunt închise, iar debitul de aer necesar este asigurat acționând alimentarea cu aer comprimat **AF**.

Transmiterea datelor poate fi făcută prin radio, GPRS/3G, sau cablu.

Ansamblul de conexiuni pneumatice de alimentare cu aer comprimat, prin care este comandată aerarea forțată **AF** este prezentat în figura (10), și este compus din: BV1, BV2 – robinete de izolare aer; BV3 – robinet de golire; PR1 – filtru regulator de presiune; F1 – rotametrul; R1, R2, R3, R4 – racorduri tronson de aerare; D1 - distribuitor; TP1 – traductor de presiune.

Sistemul poate fi pilotat manual sau automat. În modul manual se impun parametrii și sistemul funcționează conform acestora. În modul automat sistemul de aerare conform invenției este operațional doar dacă concentrația de oxigen dizolvat în apa din aval este inferioară standardului de calitate a apei respectiv 6 mg/l. Sistemul este pornit sau oprit în mod automat după criteriile precizate.

Având la bază rezultatele obținute pe un stand experimental „Stand pentru studiul curgerilor bifazice, rotaționale, cu gradient advers de presiune”, cerere de brevet *OSIM nr. A/00704/29.09.2015*, invenția Sistem de aerare a apei pentru turbine hidraulice dezvoltă aplicațiile privind admisia aerului în turbina prin orificii cu diametre și geometrii optimizate pentru a obține un transfer de oxigen maxim cu un consum energetic minim, în curgerile dintr-o turbina hidraulică.

Ca urmare a montării sistemului de aerare, conform invenției, pe o turbina Francis ce echipează o centrală hidroelectrică s-au obținut următorii parametri din figura 13, unde se observă scaderi mici ale randamentului turbinei (de până la 2% pentru o fracție de goluri maxim acceptată de constructorii CHE, respectiv 5%) raportate la cele din stadiul actual al tehnicii (randamente scăzute de până la 4%) și chiar creșteri de randament (de până la 1,4%) la anumite regimuri funcționare a turbinei, cu sarcina parțială. S-au testat și injecții cu aer cu fracții de goluri mai mari de 5%, și nu s-au înregistrat variații majore în curbele de randament, ca în cazul soluțiilor cunoscute.

Tabel 1, Regimurile de funcționare a turbinei la care s-au efectuat testele cu sistemul de aerare, conform invenției

Regimul funcționare al turbinei	Q _{apă relativ} (%)	φ (%)								
		1	2	3	4	5	7	8	9	
F	57,1	x	x	x	x	x	-	x	-	
E	51,9	x	x	x	x	x	x	-	-	
D	44,8	x	x	x	x	x	x	-	-	
C	33,5	-	x	x	x	x	-	-	x	
B	21,7	-	-	x	-	x	x	-	-	

$$Q_{apă\ relativ} = \frac{Q_{lucru}}{Q_{nominat}}$$

Bibliografie

Bunea F., Ciocan G.D., Bucur D.M., Dunca G., 2014, *Aeration solution of water used by hydraulic turbines to respect the environmental policies*, „Electrical and Power Engineering”, 2014 International Conference and Exposition on, publisher IEEE, p. 1015-1020, DOI 10.1109/ICEPE.2014.6970062, ISSN 978-1-4799-5849-8,

Bunea F., Ciocan G.D., Oprina G., Băran G., 2010, *Hydropower impact on water quality*, Environmental Engineering and Management Journal, v.9, No. 11, p. 1459-1464, ISSN 1582-9596,

Harshbarger E.D., Mobley M.H., Brock W.G., 1995, *Aeration of hydroturbine discharges at Tims Ford Dam, San Francisco*; ASCE, 9 p., Waterpower '95 - Proc. of the Conf. on Hydropower, San Francisco, 1, 11-19,

Harshbarger E.D., Herrold B., Robbins G., Carter J., 1999, *Turbine venting for dissolved oxygen improvements at Bull Shoals, Norfolk and Table Rock Dams*, Waterpower '99 - Hydro's Future: Technology, Markets, and Policy,

March P.A., Brice, T.A., Mobley, M.H, Cybularz, J.M., 1992, *Turbines for solving the DO dilemma*, Hydro Review; 11(1), U.S., 30-36, ISSN 0884-0385.

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,

Perkinsin A., Dixon D., Dham R., Fous J., 2013, *Development Status of the Alden Fish-Friendly Turbine*, March, Hydro Review - the Magazine of the North American Hydroelectric Industry, p.46-55,

Sale M.J., Cada G.F., Dauble D.D., 2006, *Historical Perspective on the US Department of Energy's Hydropower Program*, Proceeding of HydroVision International, HCI Publication, Kansas City,

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,

Wahl T.L. and Young, D., 1995, *Dissolved oxygen enhancement on the Provo River*, Waterpower '95, Proc., Int. Conf. on Hydropower, ASCE, San Francisco,

Wahl T.L., 1994, *Aerating Powerplant Flows to Improve Water Quality*, Currents - Transferring Information on Water Technology and Environmental Research, Research and Laboratory Services Division, Bureau of Reclamation,

Wahl T.L., Miller, J. and Young, D., 1994, *Testing turbine aeration for dissolved oxygen enhancement*, Fundamentals and Advancements in Hydraulic Measurements and Experimentation, ASCE Symp., New York.

Brevete:

Bunea F., Ciocan G.D., *Stand pentru studiul curgerilor bifazice, rotationale, cu gradient advers de presiune*, Patent application registration, OSIM no. A/00704/29.09.2015

Cybularz J.M., Fisher R.K., Franke G.F., Grubb R.G., *Dissolved gas augmentation with mixing chambers*, Patent No. 5 823 740, US005823740A

Cybularz J.M., Steele R.D., Scott I.E., Fisher R.K., *Draft tube peripheral plenum*, Patent No. 5 941 682, US005941682A

Kao D.T., Iowa A., *Hydropowered turbine system*, Patent No. 5 780 935, US005780935A

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

Desy N., Hydraulic turbine with enhanced dissolved oxygen, Patent No. US 6 854 958 B2, US006854958B2

Revendicări

1. Sistem de aerare a apei pentru turbine hidraulice caracterizat prin aceea că, in scopul de a crește conținutul de oxigen dizolvat al apei care uzinează turbina hidraulică, cuprinde un dispozitiv de aerare a apei prin turbine hidraulice care se integrează și respectă întocmai geometria interioară a conului aspirator al unei turbine hidraulice și este alcătuit dintr-o camera de aer (CA), cu peretele interior format din niște plăci perforate (1), fixate pe o grila de susținere (2), astfel încât acestea să acopere total sau parțial peretele interior, ce este în contact cu fluxul de apă turbinată, camera de aer (CA) mai este prevăzută cu un perete amonte (3), un perete aval (4) și o cămașă exterioară (5) pe care sunt poziționate echidistant niște țevi de admisie aer (6) pentru aerarea naturală a aerului la presiune atmosferică, prevăzute cu niște electrovalve (7), cu rol de reglare a debitului de aer, țevi de injecție aer (8) pentru aerarea forțată a aerului cu rol de injecție controlată a presiunii și debitului de aer comprimat, un ștuț de golire (9) a apei care pătrunde din circuitul hidraulic al turbinei în camera de aer (CA), continuată cu un tronson amonte (18) prevăzut cu un traductor de presiune, și un tronson aval (19), se fixează de conul aspirator al turbinei prin intermediul flanșei amonte (20) și flanșei aval (21).

2. Sistem de aerare a apei pentru turbine hidraulice, conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că, plăcile perforate (1), care reconstituie împreună cu grila de susținere (2) geometria interioară a conului original al turbinei, conțin niște orificii calibrate cu diametre de la 0,2 ... 5 mm, dispuse echidistant cu un pas de 3 ... 7 diametre pentru a evita coalescența bulelor în curgerea din turbină, în funcție de fracția de goluri, admisă în curgerea din turbina.

3. Sistem de aerare a apei pentru turbine hidraulice, conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că, este acționat de către un modul de comandă și control automat a procesului de aerare, cu rol de a minimiza consumul energetic necesar aerării prin controlul aerării naturale AN acționând electrovalva (7) și aerării forțate AF acționând alimentarea cu aer comprimat, în funcție de: diferența de presiune între presiunea din aspiratorul turbinei și presiunea atmosferică și concentrația de oxigen dizolvat din avalul turbinei.

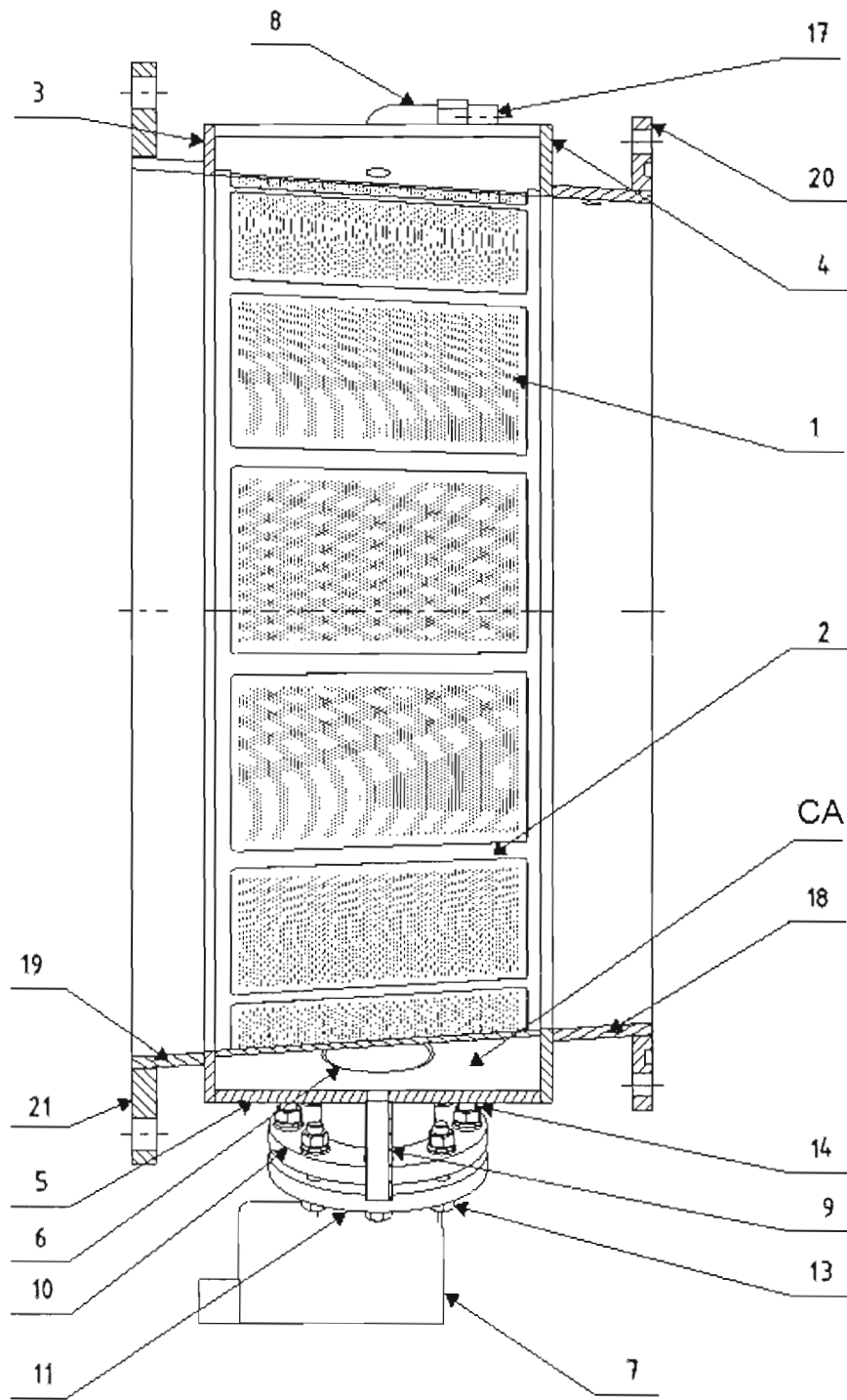


Fig. 1

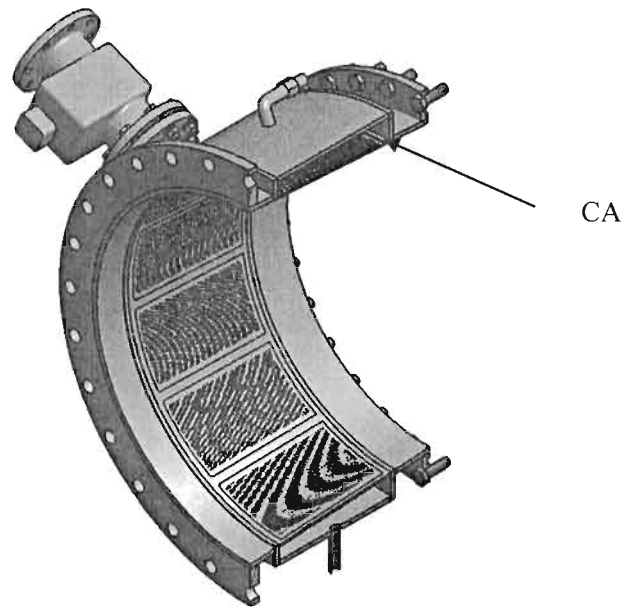


Fig. 2

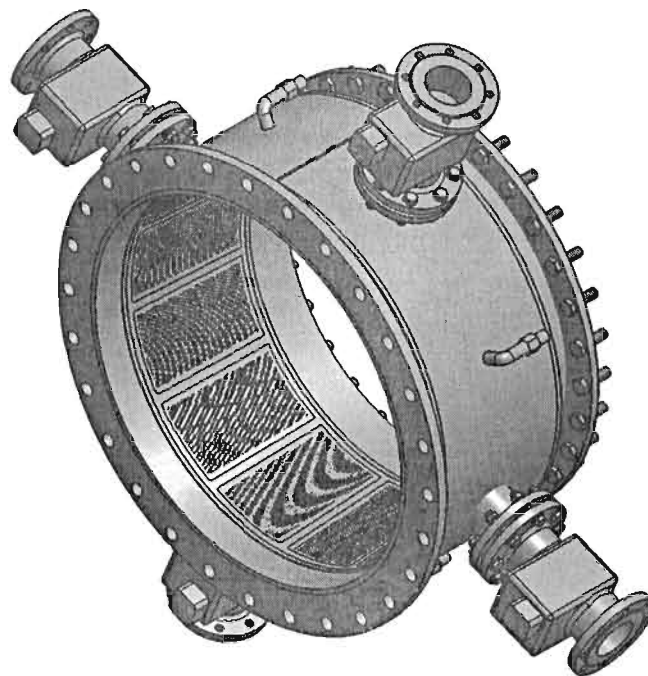


Fig. 3

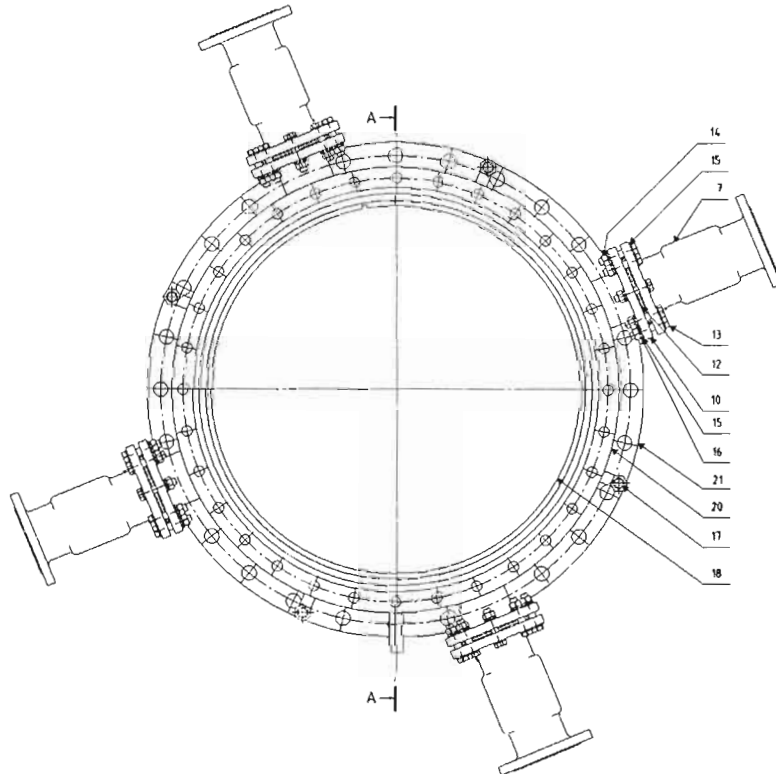
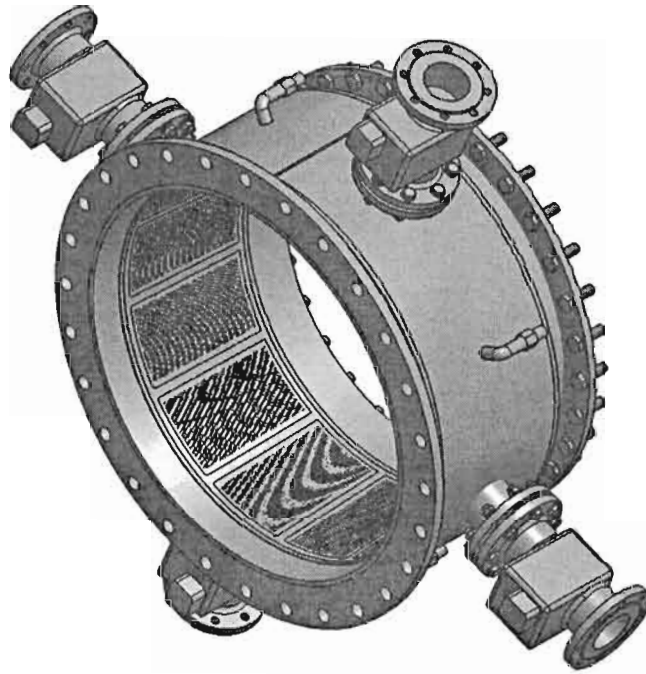


Fig. 4

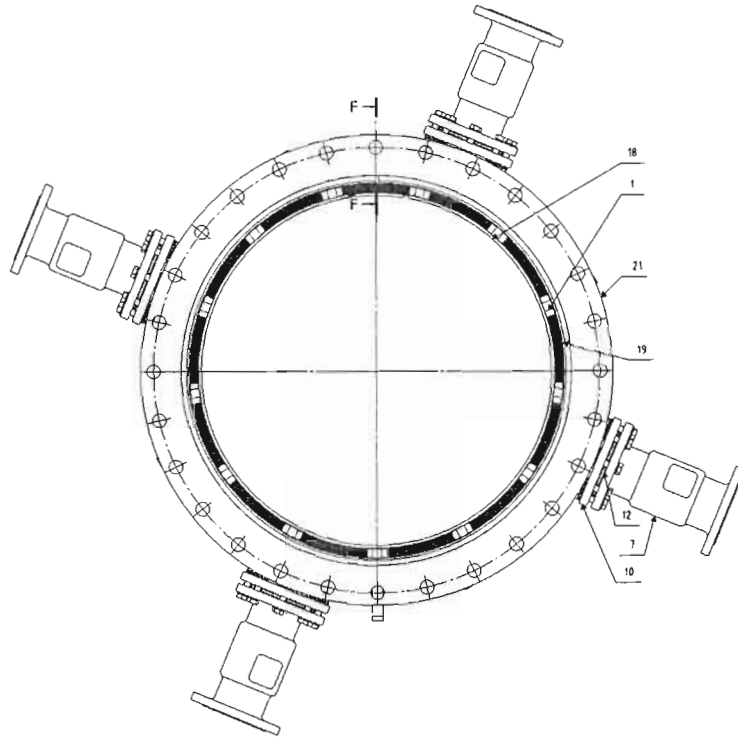


Fig. 5

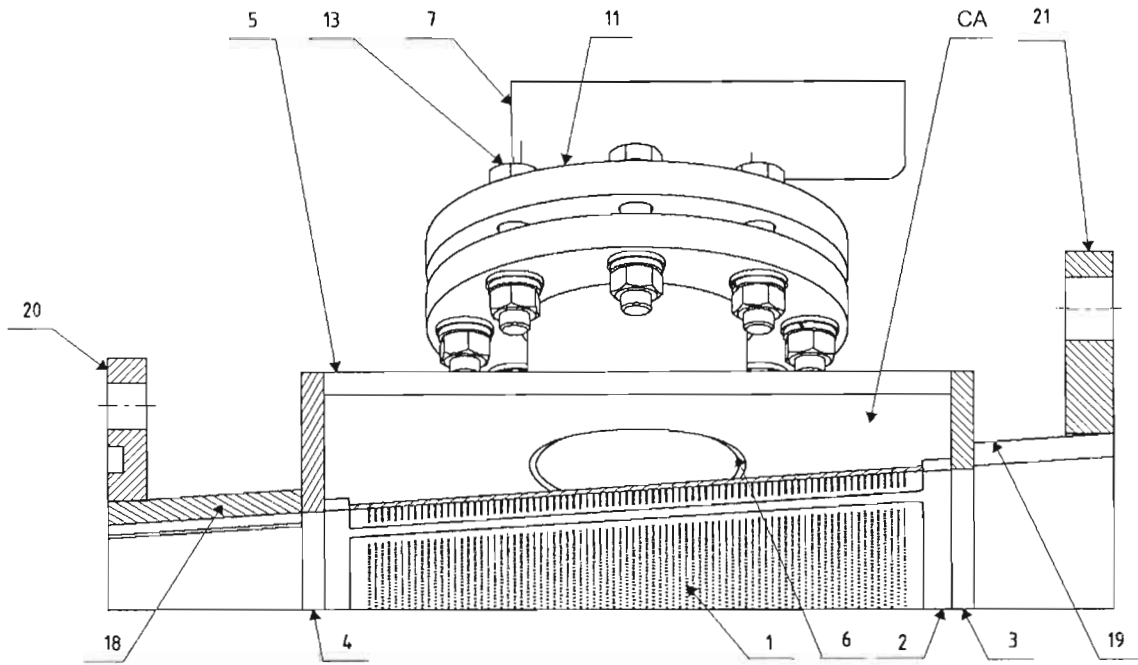


Fig. 6

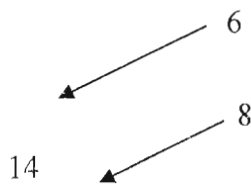
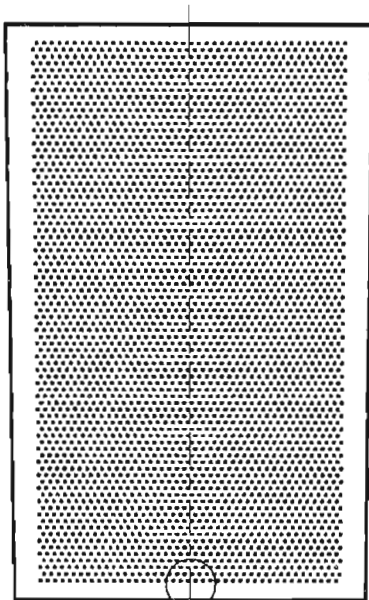




Fig. 7.



A

Fig.8

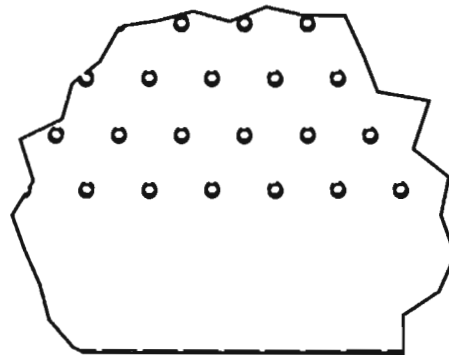


Fig. 8.a



Fig. 8b



Fig. 9

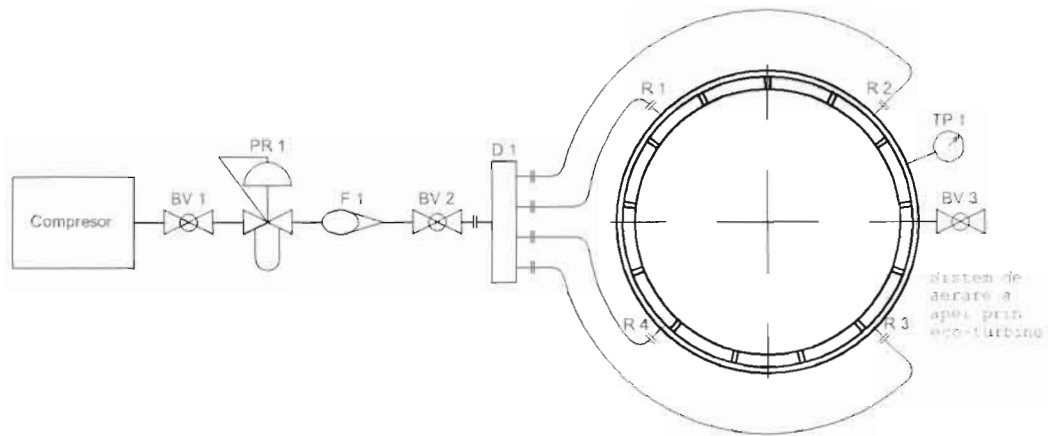


Fig. 10

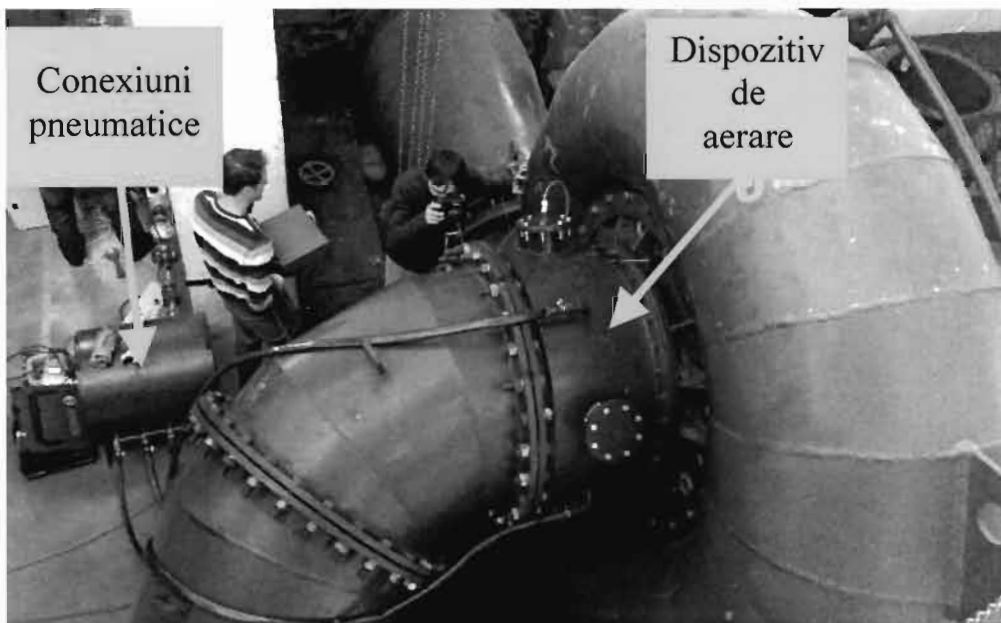


Fig. 11

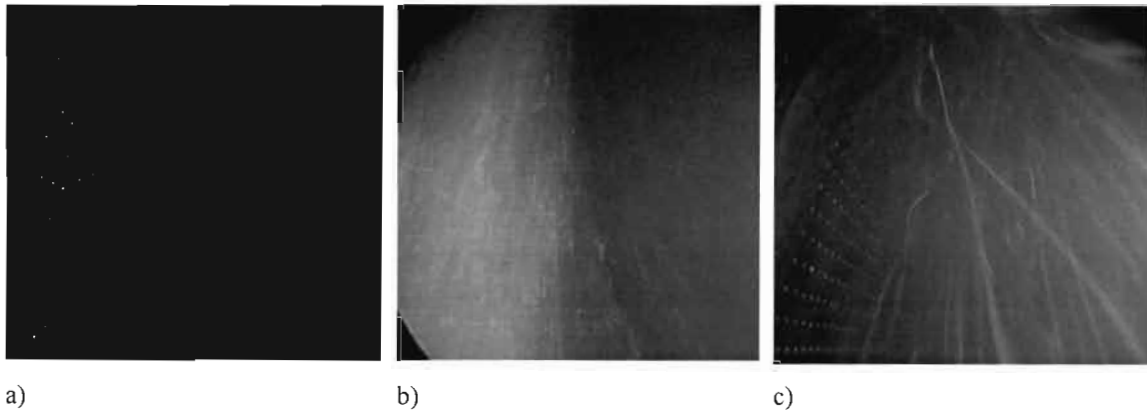


Fig. 12

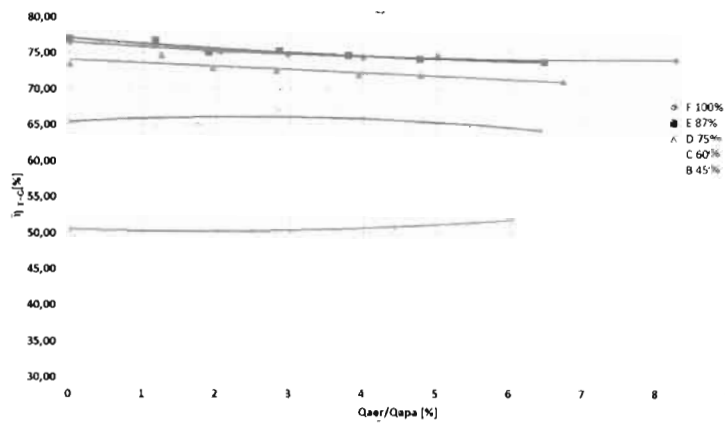


Fig. 13