

Solutie de mentinere a calitatii apei din avalul centralelor hidroelectrice



Bunea F ¹, Bucur DM², Codescu S³, Ciocan GD ⁴, Dunca G ², Nedelcu A¹,

1. INCDIE ICPE-CA, Department of Efficiency in Energy Conversion and Consumption

2. Polytechnic University of Bucharest, Faculty of Power Engineering

3. TehnoINSTRUMENT SA

4. Université Laval, Laboratoire de Machines Hydrauliques, Canada

***Rezultatele au fost obtinute in cadrul proiectului ECOTURB
PN II PT-PCCA 2013-4, nr. 88/2014, UEFISCDI***

Co - Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrica ICPE-CA



P1 - Universitatea Politehnica Bucuresti



P2 - SC TehnoInstrument Impex SRL



cu sprijinul
Hidroelectrica SA



Obiectiv

Realizarea unui sistem de aerare cu ajutorul caruia apa turbinata va raspunde cerințelor de calitate a apei impuse de regulamentele mondiale si care sa afecteze cat mai putin performantele energetice ale turbinei.

În lunile de vară, în apa evacuată din CHE, concentratia OD putea ajunge la $0\div 2$ mg/l → afectează pestii pe o distantă de $3\div 5$ km.

În SUA (in special pe râurile Tennessee, Saluda si Provo) autoritățile au dezvoltat strategii pentru îmbunătățirea functionarii turbinelor din punct de vedere al impactului asupra mediului.

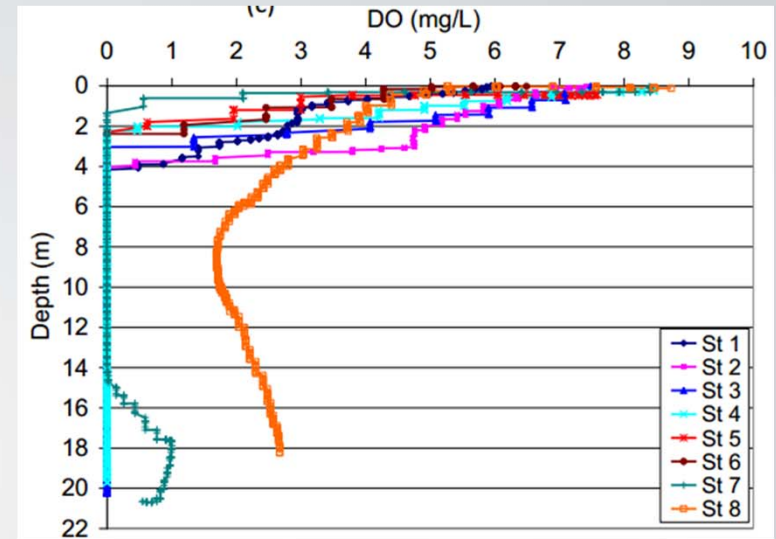
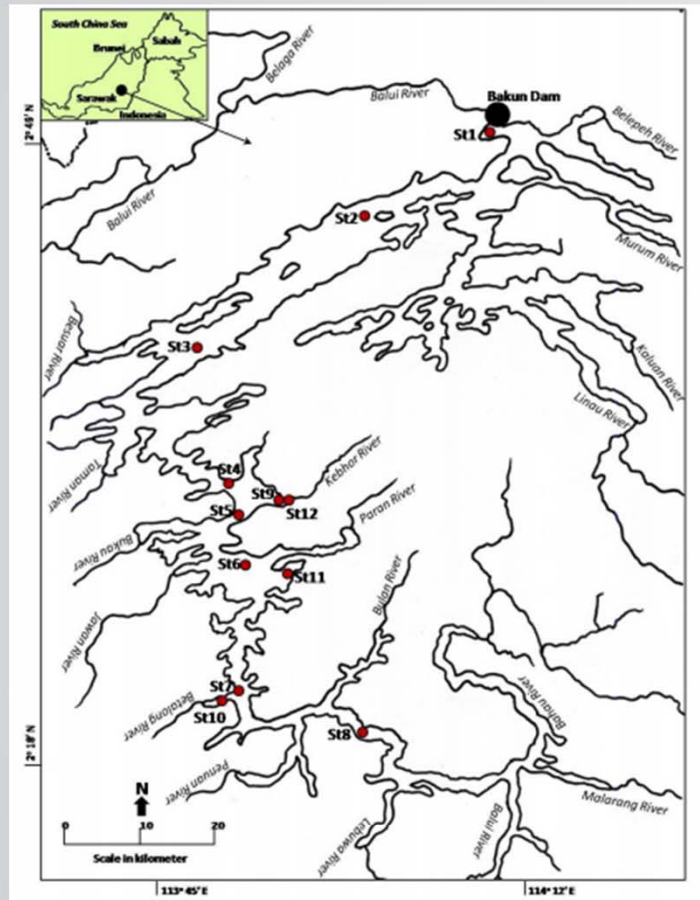
Criteriile stabilite de EPA, pe care trebuie să le îndeplinească apa sunt:

- min. 3 mg/l pentru supravietuirea pestilor,
- o medie de 6,5 mg/l pe 30 de zile pentru înmultirea pestilor.

Directiva Cadru Apa impusa de UE este transpusa in Romania in Legea Apei - atingerea “potențialului ecologic bun” pentru apele modificate și artificiale

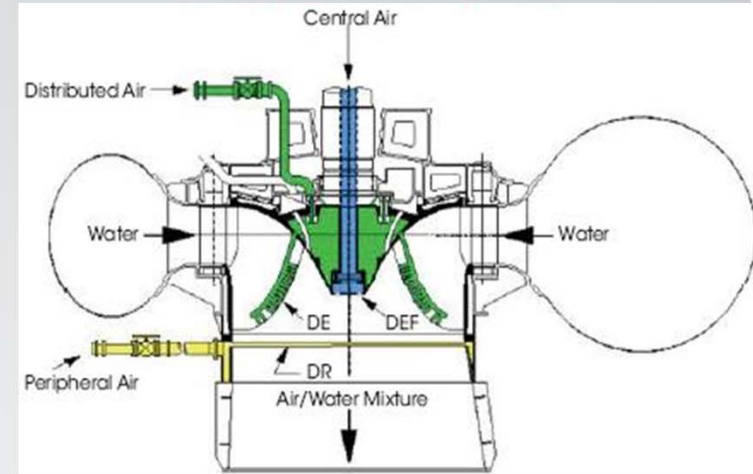


43'800 million meters³ & 695 km² & 8 units of 300 MW each

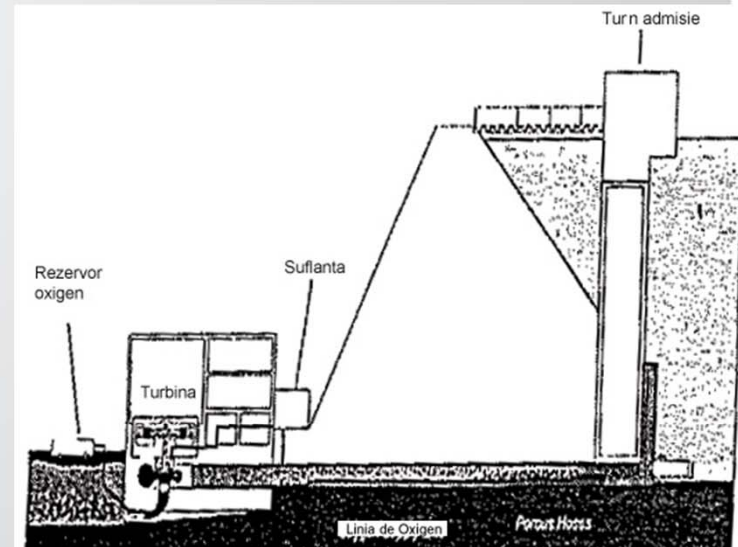


3-5 km rau in aval => necesitatea unei aerari eficiente

- Uzual, aerarea se face prin echipamentele existente din dotarea CHE (prize de apă selective, stăvilare, deversoare, pompe de suprafață). Acestea sunt proiectate doar cu scopul de a transporta apa.
- O alta modalitate de aerare este de a introduce aer direct in turbina (turbinele cu autoventilare).
- La Tims Ford Dam s-a testat un sistem de aerare în scopul obținerii 6 mg/l OD: injecție de oxigen pe conducta forțată. Costul instalării acestui sistem de injecție cu oxigen a fost în 1995 aproximativ 300'000 \$.
- In Romania, aerarea la turbine se face doar in scopul de a reduce vortexul central din avalul rotorului, deci pentru a crește eficiența și a reduce fluctuațiile de presiune la regimul de funcționare în sarcină parțială.



[Rohland, 2010]

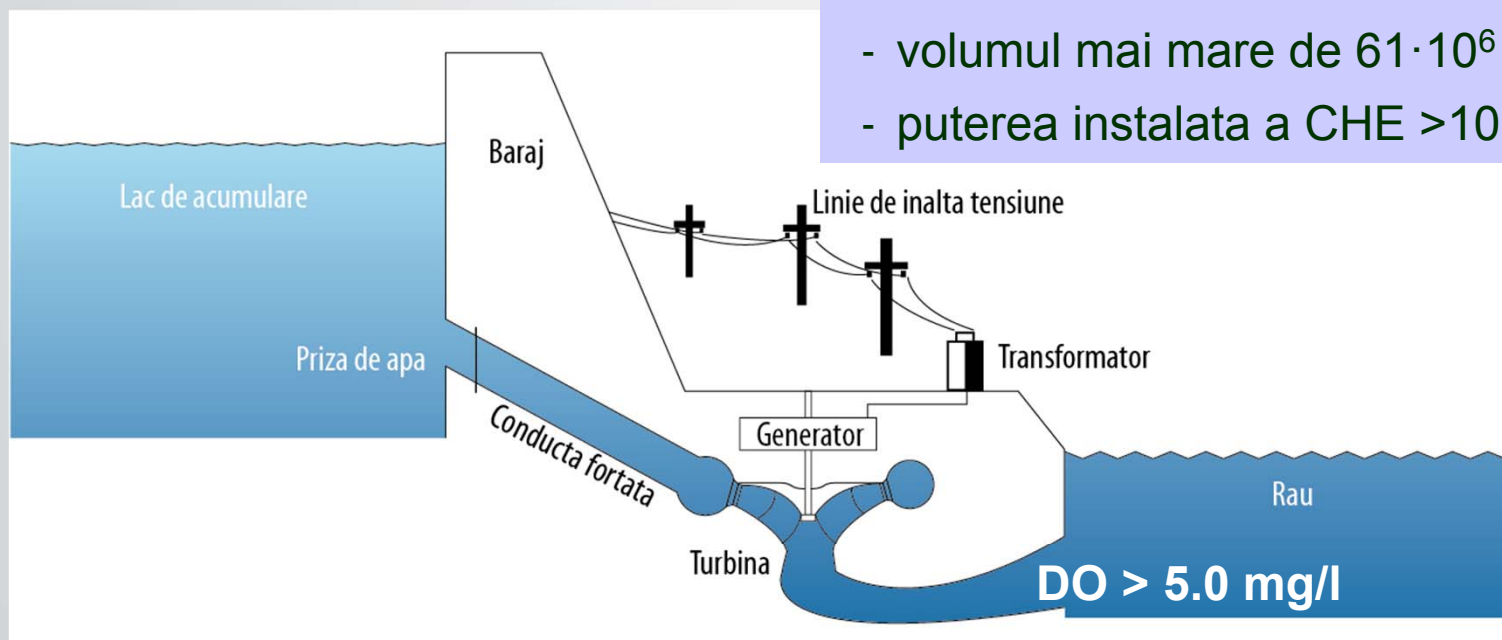


[Harsharger, 1995]

Calitatea apei din CHE depinde de:

- stratificarea termică a lacului de acumulare și cantitatea de substanțe organice,
- variațiile de temperatură/climatice,
- volumul și adâncimea lacului,
- intensitatea și frecvența ploilor,
- adâncimea prizei de apă
- regimurile de funcționare ale CHE

- adâncimea lacului de acumulare >15 m,
- volumul mai mare de $61 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- puterea instalată a CHE >10 MW.

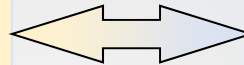


În România sunt instalate aproximativ 300 de grupuri hidro. Dintr-un total de 30 de amenajări selectate, doar 14 îndeplinesc toate cele 3 condiții periculoase

Bilantul eficienței aerării apei turbinate

Parametrii energetici

- ✓ Consumul energetic pentru injecția aerului (aerarea naturală),
- ✓ pierderi de randament datorate modificării curgerii (aerare neinvazivă).



Parametrii fizici de aerare

- ✓ Suprafața de contact aer-apa,
- ✓ Timp de retenție,
- ✓ Căderea de presiune,
- ✓ Frație de goluri.

Scop

Asigurarea nivelului minim de 6 mgDO /l - greu de prezis la proiectarea turbinelor

Eficiența de aerare la CHE este exprimată prin fracția de goluri

$$\phi = \frac{Q_{aer}}{Q_{apă}} < 3 - 5\%$$

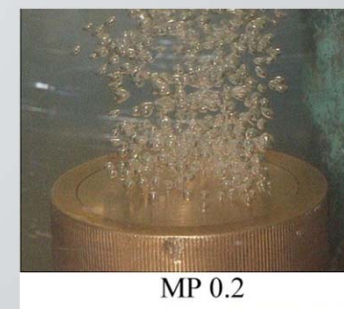
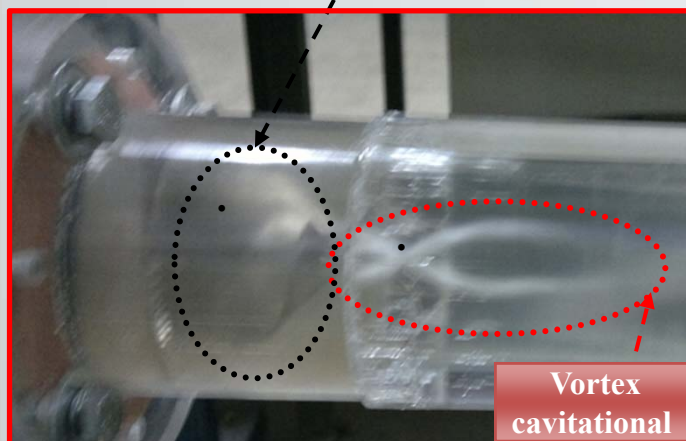
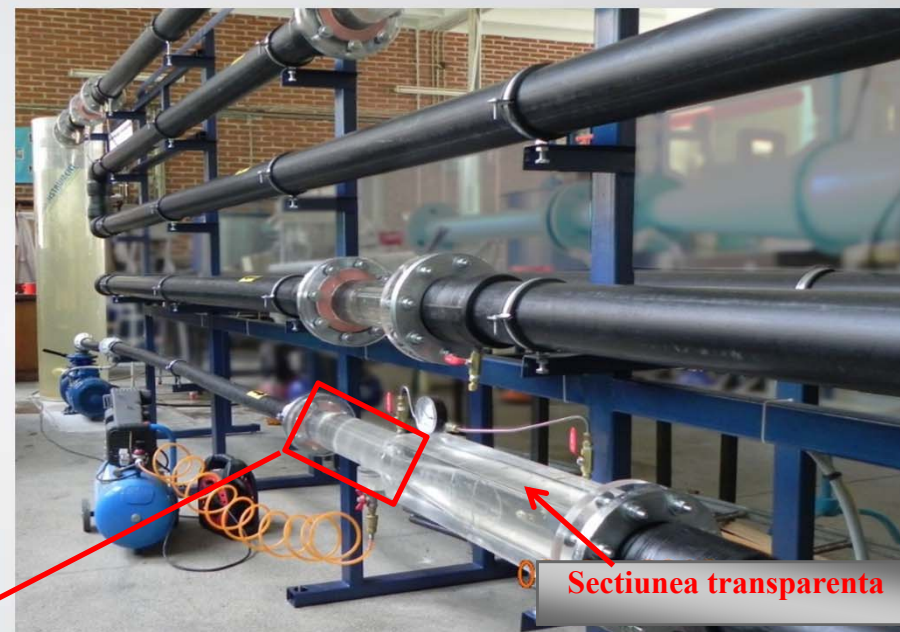
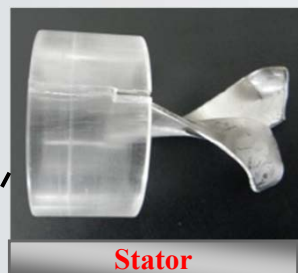
Accent pus pe calitatea aerării și nu cantitatea de aer!!!

Instalația experimentală

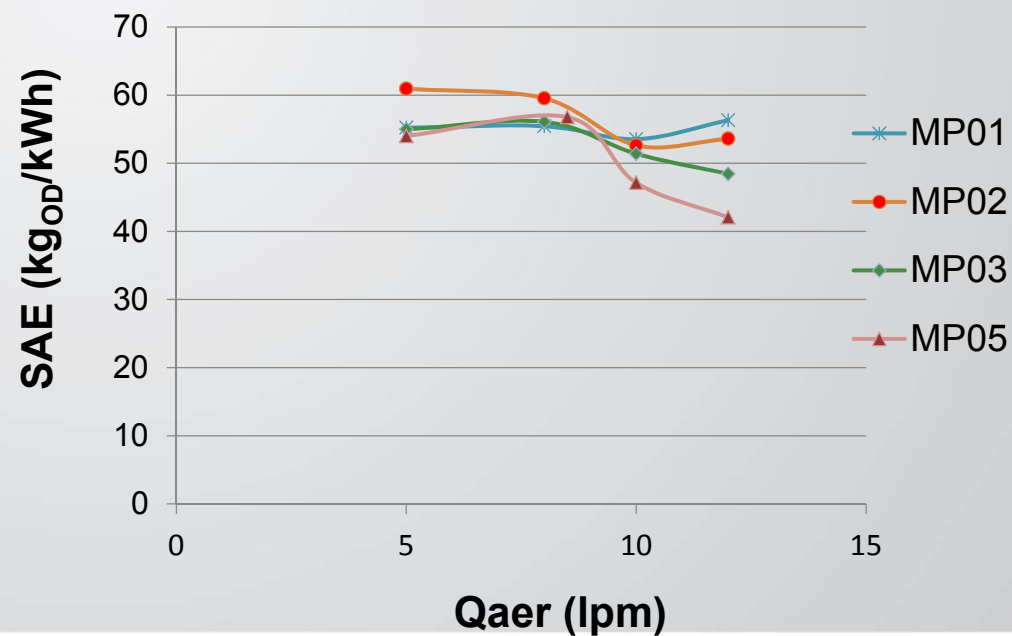
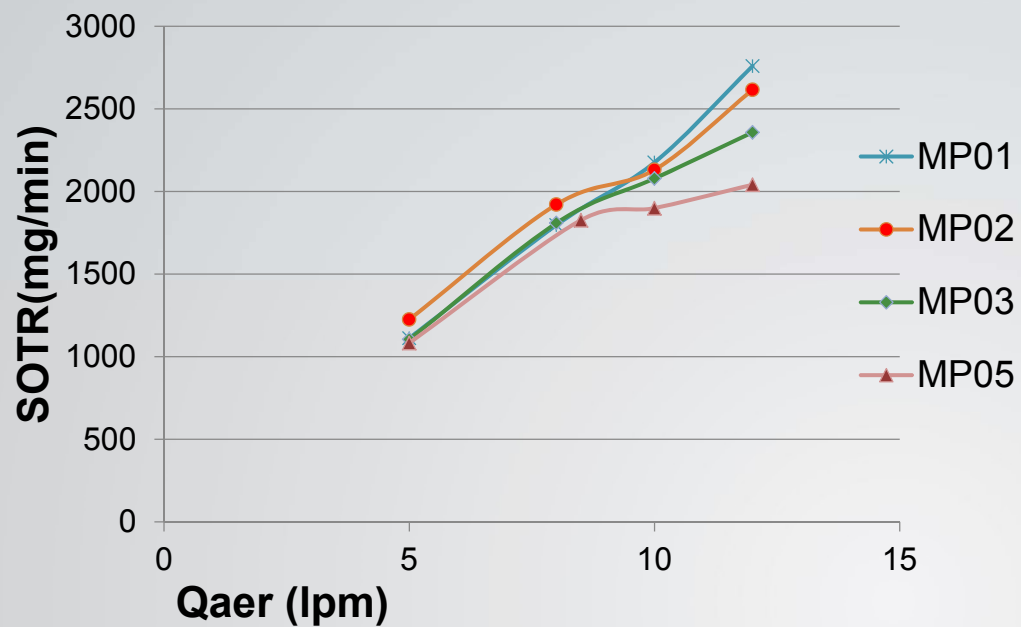
Standul permite studiul în mod fiabil al unor fenomene complexe, cum sunt curgerile disperse gaz-lichid, turbulente, cu gradient advers de presiune, unde transferul de masă prin interfață este un proces dinamic asociat cu dinamica interfeței, iar aria interfeței variază în lungul curgerii

$$v = 2.5 - 8.6 \text{ m/s}$$

$$Re = 1 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$$



Inercarea placilor de aerare



Modelul demonstrator

Constructia dispozitivului de aerare

Constructia modelului demonstrator “*Ansamblu dispozitiv de aerare a apei turbinate*” a constat in trei etape:

- Constructia plăcilor perforate pentru injectia dispesă a aerului
- Constructia tronsonului – dispozitiv de aerare
- Constructia conexiunilor pneumatice pentru alimentarea cu aer comprimat a modelului demonstrator

Implementarea dispozitivului de aerare pe turbina hidraulică din CHE - 1 zi

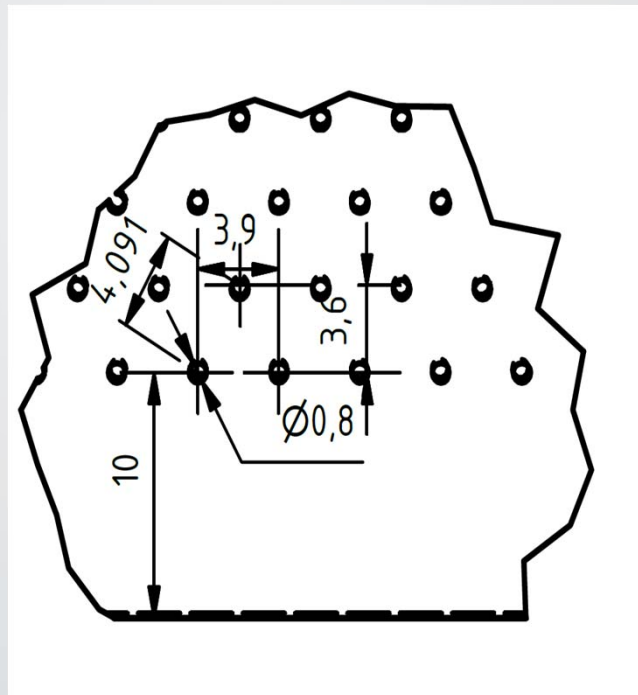
Implementare modelului demonstrator a constat in 7 etape

- Retragerea din exploatare a turbinei Francis – respectand procedura Hidroelectrica SA
- Demontarea unui tronson din turbina
- Montarea modelului demonstrator
- Punerea in functiune a modelului demonstrator si masuratori preliminare
- Demontarea modelului demonstrator
- Montarea turbinei
- Punerea in functiune a turbinei si intrarea in sistem.

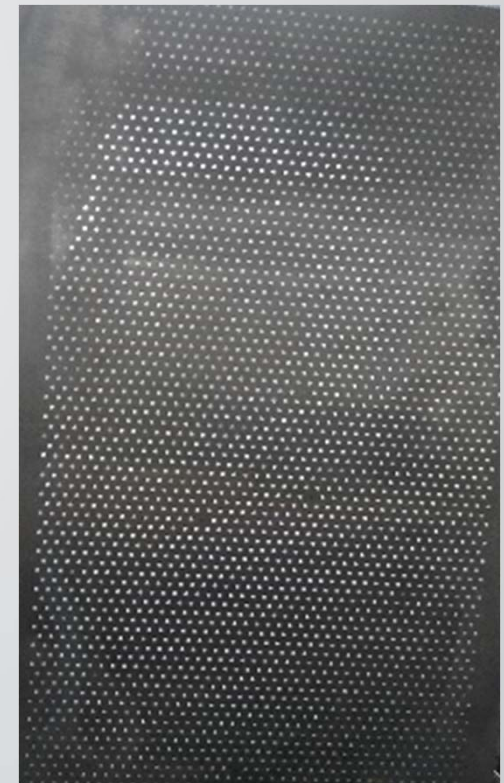
Construcția plăcilor perforate pentru injectia dispesă a aerului

S-au executat plăci perforate strapunse cu câte 3362 gauri $\phi 0.8$. Numarul total de orificii executate este 43706.

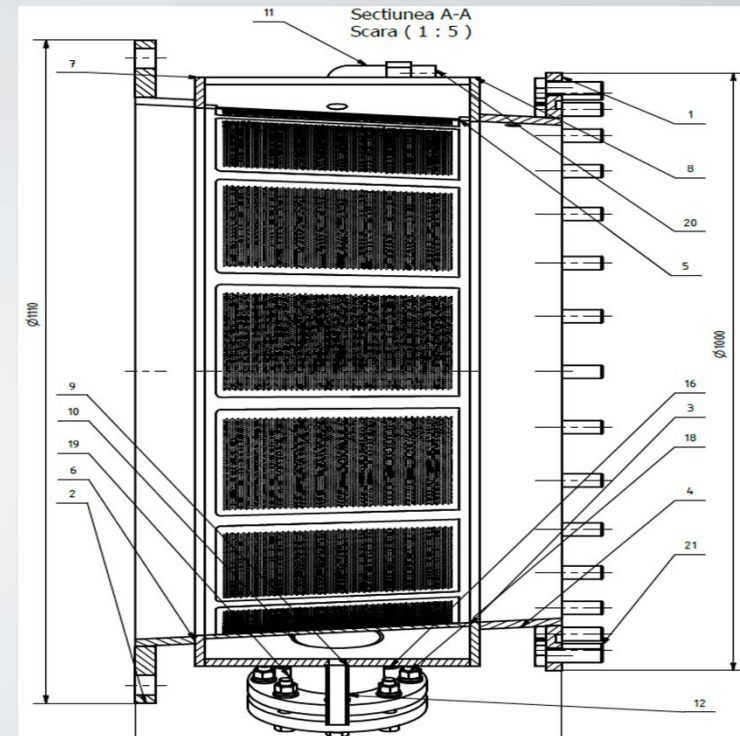
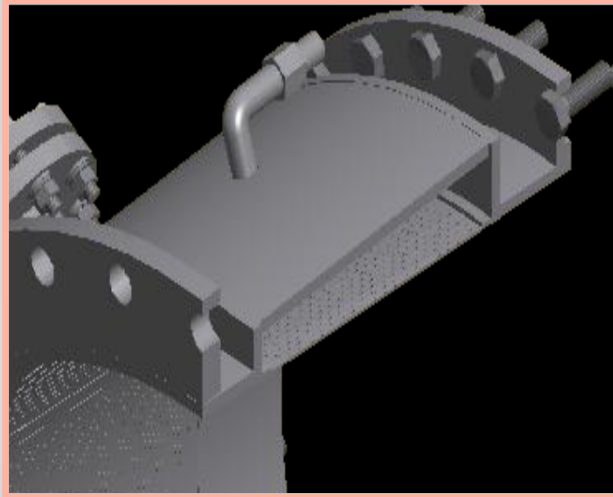
Pentru a respecta experimentele s-a pastrat aceeași dispunere a orificiilor pe plăcile perforate ca în experimentele de laborator.



Distributia orificiilor pe
placă - detaliu tehnic

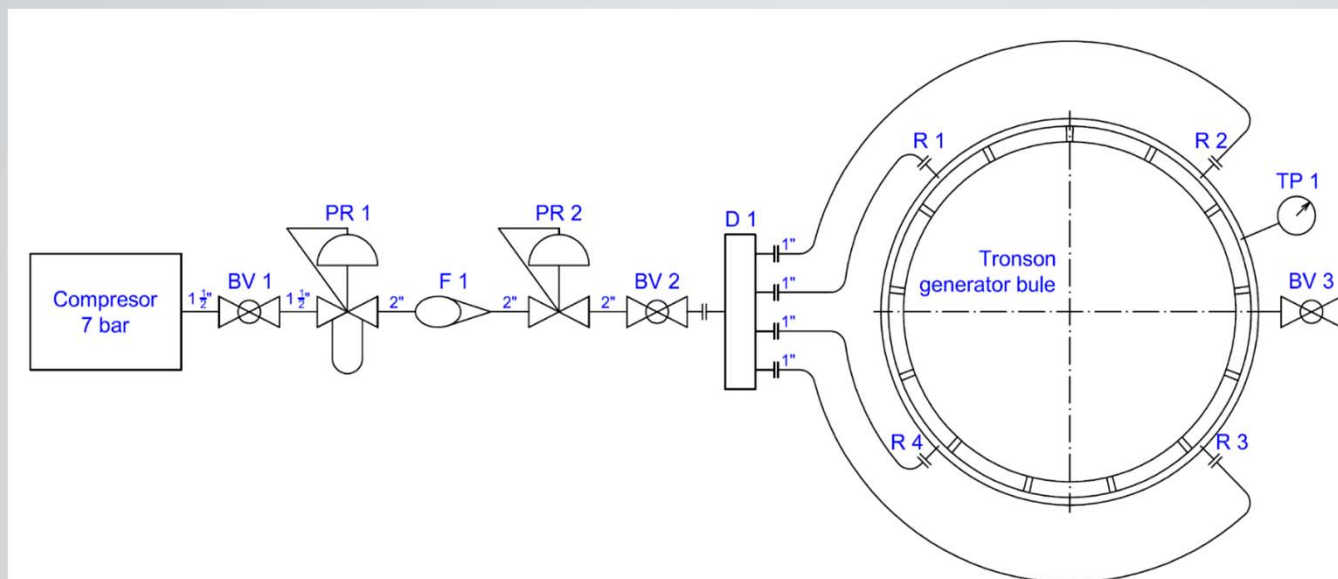


Conctructia ansamblului tronson de aerare



Pe partea interioara a piesei se observa zona de injectie a aerului prin placile perforate, urmata de o cameră de aer pe unde se face admisia cu aer comprimat sau cu aer la presiunea atmosferica. Ansamblul mai cuprinde cu ștuțuri de golire, prize de presiune, și robineti.

Construcția conexiunilor pneumatice pentru alimentarea cu aer comprimat a modelului demonstrator



BV1, BV2 – robinete de izolare aer

BV3 – robinet de golire

PR1 – filtru regulator de presiune (4 bar)

F1 – rotametr (0,1 Nm³/s)

PR2 – regulator de presiune (4 bar)

R1, R2, R3, R4 – racorduri tronson de aerare

D1 - distribuitor

TR1 – traductor de presiune (0-2 bar)



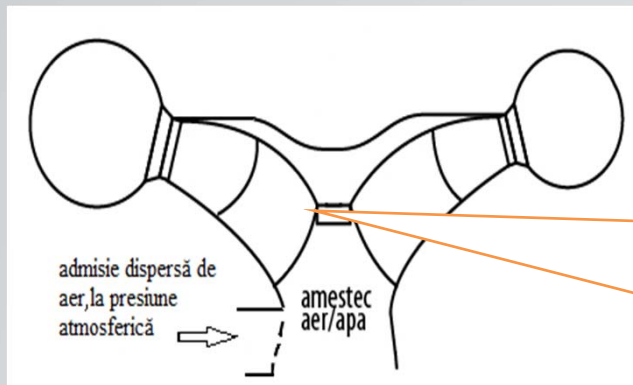
Conexiunile pneumatice
si aparatura de masura si
control a aerului

Implementarea dispozitivului de aerare pe F0 230/720 aflata in dotarea CHE Mihăilesti



- căderea statică maximă: 20 m;
- căderea maximă netă: 18,8 m;
- căderea minimă netă: 14,5 m;
- debitul instalat (la H_{max}): 2,12 m³/s;
- puterea maximă (la cuplă): 350 kW;
- randament: 0,89;
- turația nominală: 375 rot/min;
- înălțimea la aspirație: +3 m.



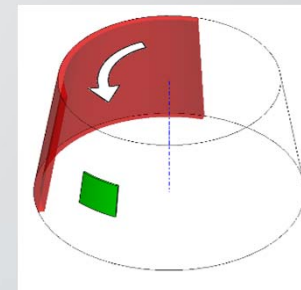


Vizualizarile valideaza injectia cu aer dispers in interiorul sectiunii de curgere si confirma ca aerul nu ramane in stratul limita al peretelui ci este distribuit pe aprox 1/3 din sectiunea aspiratorului

Captură foto in zona de injectie cu aer din aspiratorul turbinei

Fecvența cu care se injectează aer in prezenta vortexului funie este

$$f_{injection} = \frac{n}{3}$$



Determinarea performanțelor energetice / mecanice ale turbinei cu dispozitivul montat

Probele preliminiare si finale au fost efectuate in urmatoarele conditii :

- Cota amonte (lac) = 84,14 mdm
- Cota aval (râu) = 68,9 mdm
- $H_{brut\ lucru} = 15,24\text{ m}$
- $H_{lucru} = 14,9\text{ m}$
- Turatia rotorului $n = 375\text{ rot/min}$

Parametrii nominali ai turbinei de lucru :

- $H_{max\ net} = 18,8\text{ m}$
- $H_{min\ net} = 14,5\text{ m}$
- $H_{nominal} = 16\text{ m}$
- $Q_{nominal} = 2,1\text{ m}^3/\text{s}$

Regimurile de funcționare a turbinei la care s-au efectuat testele

Regim funcționare	$Q_{ap\text{ă relativ}}$ (%)	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	-	-
A	14,3					X	X		

$$Q_{ap\text{ă relativ}} = \frac{Q_{lucru}}{Q_{nominal}} (\%)$$

Au fost masurati urmatoarii parametrii:

- Debitul de apa turbinat,
- Debitul de aer injectat,
- Presiunea apei in amonte de turbina si pe peretele modelului demonstrator,
- Presiunea aerului injectat si in camera de aer a modelului demonstrator,
- Nivel apă amonte si aval de turbină,
- Turatia turbinei,
- Puterea electrica,
- Nivelul de vibrații pe : arbore, camera spirală si modelul experimental.



deversarea in rau, la functionarea cu injectie de aer



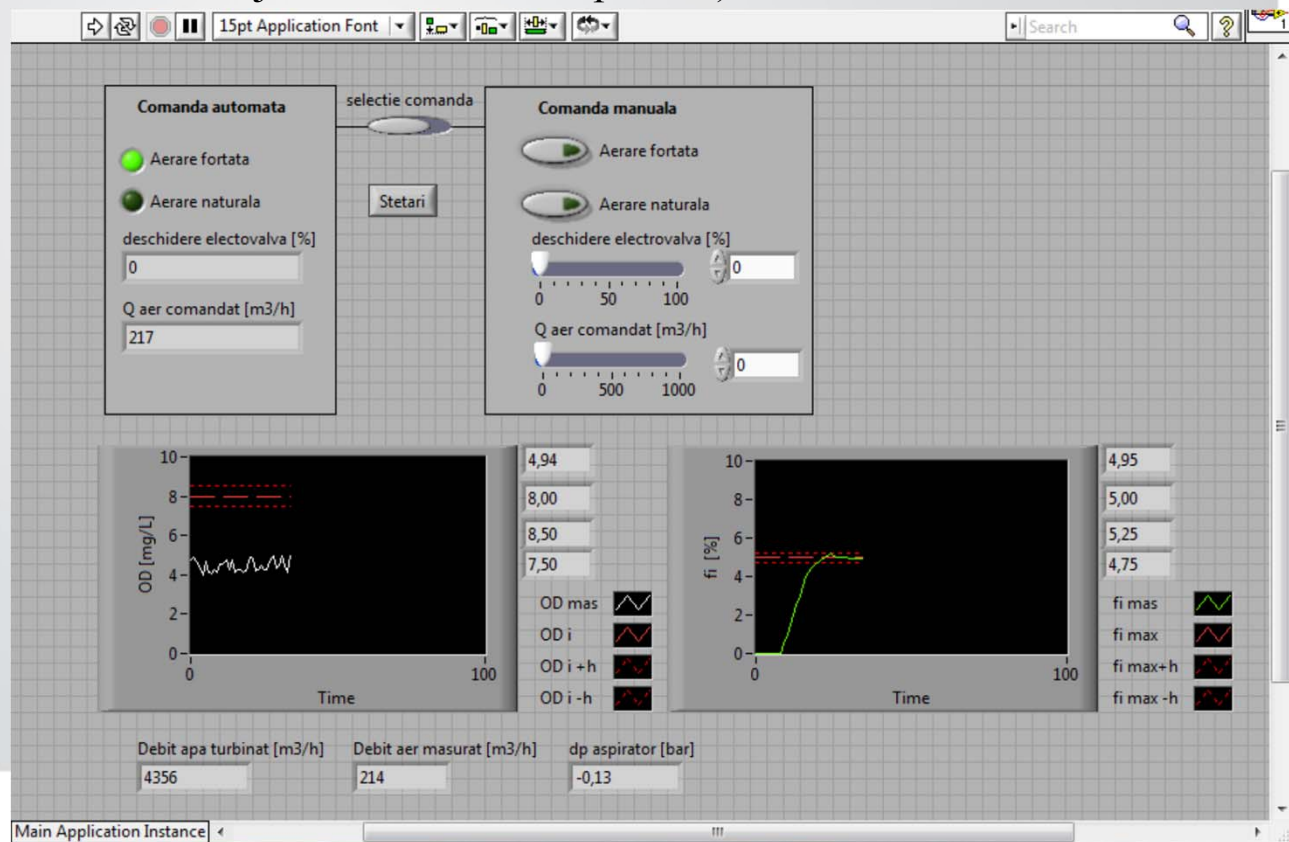
deversarea in rau, la functionarea fara injectie de aer

Automatizarea procesului de aerare

Pentru integrarea dispozitivului de aerare într-un sistem automatizat de aerare a apei, s-a elaborat un program în limbajul LabView, cu scopul de a simula comportamentul dispozitivului în diferite situații de funcționare având în vedere rezultatele din situ.

- Dacă $OD_m \geq OD_i$ - dispozitivul de aerare nu va funcționa
- Dacă $OD_m < OD_i$ - există un deficit de oxigen dizolvat, iar dispozitivul de aerare va funcționa utilizând una dintre cele două tipuri de aerare (AN - cu diferite deschideri ale electrovalvei sau AF - cu ajutorul sistemului pneumatic de injecție a aerului comprimat)

Interfața grafică a sistemului automatizat de aerare permite operatorului să monitorizeze întregul proces, să configureze parametrii, conectarea cu interfața de comunicare date sau comutarea pe operare manuală.



Intrare:

- OD_m [mg/l] – OD masurat in avalul CHE
- p_{asp} [bar] – Presiunea relativa măsurată pe peretele aspiratorului
- Q_{apa} [m³/h] – Debitul de apa turbinat
- Q_{aer} [m³/h] – Debitul de aer injectat prin dispozitivul de aerare

Iesire:

- S [ur] – grad de deschidere a electrovalvei
- Q_{aer_fcor} – factor de corectie a Q_{aer} pentru atingerea OD_i

The screenshot shows a control application window with the following sections:

- intrare (senzori)**:
 - OD m [mg/L]: 4
 - dp asp [bar]: -0,13
 - Qapa_m [m3/h]: 43560
 - Qaer_m [m3/h]: 0
- iesire (pt control)**:
 - oxigenare?: ON (green light icon)
 - S [ur]: 0
 - Qaer_fcor: 1,01
- parametrii oxigenare**:
 - OD i [mg/L]: 8
 - h OD [mg/L]: 0,5
 - fi_max [%]: 5
 - h fi [%]: 0,25
 - fi_min [%]: 0,1
 - Factor corectie fi [ur/s]: 2
- parametrii sistem**:
 - N intr: 4
 - t_update [ms]: 500
 - S_max [m2]: 0,0078539E
 - dS [ur]: 0,1

Parametrii de reglare:

- OD_i [mg/l] – Nivel de OD impus a fi realizat in avalul CHE
- $\pm h_{OD}$ [mg/l] – valoarea de comutație pentru pornirea/oprirea dispozitivului de aerare funcție de OD_i
- Φ_{max} [%] – fracția de goluri maxim permisa a fi introdusa in turbina
- Φ_{min} [%] – fracția de goluri minim permisa a fi introdusa in turbine pentru AN
- h_{ϕ} [%] – Prag de comutație / histerezis al fracției de goluri pentru pornirea/oprirea AN
- **Factor de corectie ϕ** – factor de limitare a deschiderii de admisie a aerului ϕ



cerere de brevet OSIM no. A/00688/2017



Concluzii

- ✓ In literatura nu există o soluție de aerare ușor de implementat, fără sa prejudicieze performantele energetice și eficiență din punct de vedere al aerării. Acest lucru face dificil de respectat legislatia în vigoare, în cazul în care apa din CHE este săracă în oxigen si poate duce la adevărate dezastre ecologice.
- ✓ **Sistemul ECOTURB pune accent pe calitatea procesului de aerare** și nu doar pe cantitatea de aer vehiculat, respectiv pe : creșterea ariei interfazice aer-apă, timpul de retenție a acestora, căderea de presiune pe dispozitivele de aerare, geometria și dimensionarea acestora, etc.
- ✓ **Costurile de implementare a dispozitivului de aerare sunt mai reduse** față de alte soluții de aerare, aceasta făcându-se în perioada de mentenanță a turbinelor si este implementabil atat la turbine noi cat si la cele din exploatare,
- ✓ In vederea determinarii influentei aerării s-au masurat performanțele energetice și mecanice ale turbinei din CHE cu si fără sistemul ECOTURB montat. Rezultatele in ambele situati au aratat ca dispozitivul de areare afecteaza nesemnificativ randamentul.
- ✓ **Performantele hidraulice ale turbinei sunt conservate** după instalarea sistemului ECOTURB pentru că acesta respecta geometria interna a turbinei iar introducerea aerului este **neinvazivă**, astfel încât curgerea în aspirator nu este perturbată;

- ✓ **Sistemul este automatizat** pentru reglarea parametrilor de injecție în funcție de caracteristicile curgerii și deficiența de oxigen dizolvat din apă.

- ✓ **Automatizarea sistemului** permite:
 - controlul permanent al nivelului de oxigen necesar vieții acvatice în avalul centralelor hidroelectrice
 - minimizarea consumului energetic prin controlul aerării naturale **AN** acționând electrovalva și aerării forțate **AF** acționând alimentarea cu aer comprimat

Apreciem ca turbinele hidraulice care vor fi dotate cu sistemul ECOTURB vor deveni “turbine prietenoase cu mediul” deoarece se poate dovedi că apa uzinată prin ele va corespunde în permanentă cerințelor de calitate ecologică impuse de normelor europene în vigoare.



Mulumesc pentru atentie!