

# MODELAREA NUMERICĂ ȘI ELABORAREA ROTORULUI CU PALE CU PROFIL HIDRODINAMIC AL MICROHIDROCENTRALEI

**Autor: Oleg CIOBANU**

**Conducători științifici: dr. hab., prof. univ. Valeriu DULGHERU,  
dr. hab., conf. univ. Viorel BOSTAN.**

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Rezumat:** Un aspect foarte important pentru optimizarea funcțională a microhidrocentralelor este alegerea profilului hidrodinamic optim al paletelor rotorului, care permite majorarea coeficientului de conversie (coeficientul Betz) datorită forțelor hidrodinamice de portanță. Majorarea gradului de conversie este, de asemenea, atinsă prin asigurarea poziției optime a palei față de curenții de apă în diferite faze de rotire a rotorului, fiind utilizat un mecanism de orientare a paletelor. Astfel, practic toate palele (chiar și cele care se mișcă împotriva curenților de apă) participă simultan la generarea momentului de torsiune sumară. Palele, care se mișcă în direcția curenților de apă, folosesc atât forțele hidrodinamice, cât și presiunea apei exercitată pe suprafețele paletelor pentru generarea momentului de torsiune. Palele, care se mișcă împotriva curenților de apă, folosesc doar forțele hidrodinamice de portanță pentru generarea momentului de torsiune. Datorită faptului că viteza relativă a paletelor față de curenții de apă la mișcarea lor împotriva curenților de apă este practic de două ori mai mare, forța hidrodinamică portantă este relativ mare, iar momentul de torsiune generat este comensurabil cu cel generat de presiunea apei. Acest efect se află la baza soluției tehnice brevetate [3].

**Cuvinte cheie:** rotor, pală hidrodinamică, modelare numerică, presiune hidrostatică, forță hidrodinamică.

## 1. Introducere

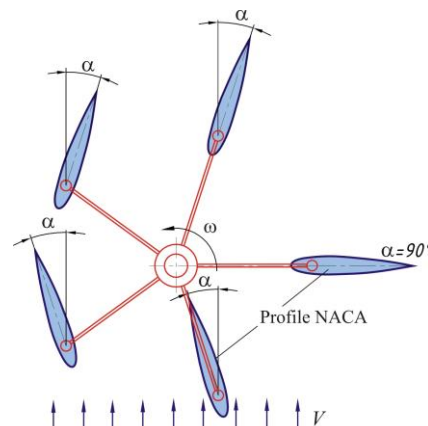
Viteza curentului de 1m/s reprezintă o densitate energetică de 500W/m<sup>2</sup> a secțiunii de traversare, însă doar o parte din această energie poate fi extrasă și convertită în energie electrică sau mecanică utilă. Aceasta depinde de tipul rotorului și al paletelor. Viteza este, în special, importantă, pentru că o dublare a vitezei apei dă în rezultat o creștere de opt ori a densității energetice. Există diverse soluții conceptuale, însă problema mării eficienței de conversie a energiei cinetice a apei rămâne în atenția cercetătorilor. Analiza variantelor constructive ale rotoarelor microhidrocentralelor de flux examinate anterior nu satisfac pe deplin sub aspectul eficienței de conversie a energiei cinetice a apei. Într-o roată hidraulică clasică cu ax orizontal adâncimea maximă, la care este afundată una dintre pale, constituie cca 2/3 din înălțimea paletei. Deci, doar această suprafață participă la transformarea energiei cinetice a apei în energie mecanică. Pala, care urmează după pala afundată maxim în apă, este acoperită complet de aceasta și, practic, nu participă la conversia energiei cinetice a apei. De aceea, eficiența acestor roți hidraulice este mică.[1,2]

Cercetările au condus la elaborarea și brevetarea unor soluții tehnice performante de rotoare a microhidrocentralelor de flux de apă, bazate pe efectul hidrodinamic, generat de profilul hidrodinamic al paletelor rotorului și orientarea paletelor în pozițiile optime față de curenții de apă din punct de vedere al eficienței conversiei energiei în fiecare fază de rotire a rotorului turbinei (fig.1.1). Alegerea și argumentarea teoretică a formei profilului hidrodinamic optim al paletelor este bazată pe cercetările efectuate în cadrul dinamicii computaționale ale fluidelor.

Avantajele de bază ale acestor tipuri de microhidrocentrale sunt:

- impact redus asupra mediului;
- nu sunt necesare lucrări de construcții civile;
- râul nu își schimbă cursul său natural;

Un alt avantaj important este faptul că pe cursul râului este posibilă instalarea unei serii de microhidrocentrale la distanțe mici (cca 30-50 m) deoarece este exclusă influența turbulenței provocată de instalațiile vecine.



**Fig. 1.1.** Schema conceptuală a rotorului cu pale hidrodinamice reglabile față de curenții de apă.

Rezultatele investigațiilor efectuate de autori referitor la viteza de curgere a apei în locul selectat pentru instalarea microhidrocentralei, la prospectările geologice ale malului râului în locul instalării fundației de ancorare, la necesitățile energetice ale potențialului consumator, reprezintă date inițiale pentru elaborarea conceptuală a microhidrocentralelor cu ax orizontal al turbinei.

## 2. Modelarea numerică și computațională a paletelor hidrodinamicele rotorului

Studiul interacțiunii fluid-pală hidrodinamică, precum și testările în condițiile reale ale rotorului microhidrocentralei de flux au stabilit că pe suprafața palei hidrodinamice se atestă largi zone ale detașării premature ale stratului limită de suprafața palei, ceea ce conduce la rândul său la diminuarea eficienței de conversie a energiei cinetice a râului. Pentru a combate acest fenomen hidrodinamic a fost propusă soluția tehnică în forma unor ecrane transversale [3] (Fig.2.1).

Se propune efectuarea simulărilor numerice din cadrul dinamicii fluidelor asistate de calculator (CFD) ale soluțiilor tehnice prezentate mai sus. Simulările au fost efectuate pentru pala hidrodinamică cu ecrane transversale. Pentru simplitate au fost considerate ultimele două secțiuni ale palei.

Simulările din cadrul CFD ale palei hidrodinamice cu ecrane transversale au fost efectuate utilizând suita de produse software ANSYS 14.5 și platforma Workbench 2.0.

Geometria palei hidrodinamice constă din profilul modificat NACA 0016 cu coarda  $c=0,8m$  și înălțimea unei secțiuni  $h=0,3m$ . Au fost considerate două secțiuni cu ecrane transversale (Fig.2.2) și două secțiuni fără ecrane.

Dimensiunile caracteristice ale rețelei sunt de la 0.005m până la 0.18m, iar pentru suprafața palei de la 0,001m până la 0,005m. La a doua etapa a fost generată rețeaua de volum. Rețeaua de discretizare este una mixtă cu elemente tetraedrale și elemente prizmatice folosite pentru discretizarea stratului limită, prezentate în figurile 2.3 și 2.4. Stratul limită a fost discretizat

cu 20 substraturi de elemente prizmatice cu factor de expansiune geometric de 1,15 și grosimea totală de 0.015m, fig.2.5. Grosimea primului substrat prismatic este 0,00045 m. Valoarea distanței adimensionale  $y^+$  este mărginită de  $1.2 \leq y^+ \leq 7.3$ , unde

$$y^+ = \frac{\sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} y}{\nu}, \quad (2.1)$$

unde  $\tau_w$  este tensiunea tangențială la perete,  $\rho$  este densitatea fluidului,  $y$ , este distanța normal de la perete și  $\nu$  este viscozitatea fluidului. Parametrii selectați a stratului prismatic asigură satisfacerea condiției  $y^+ = O(1)$ , condiție care asigură o descriere suficientă a stratului limită.

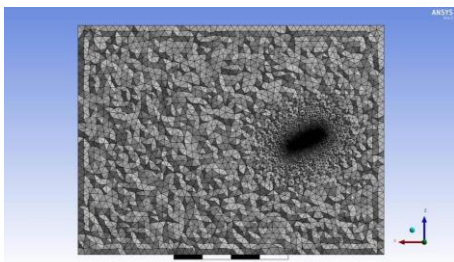


Fig. 2.3. Discretizarea domeniului computațional

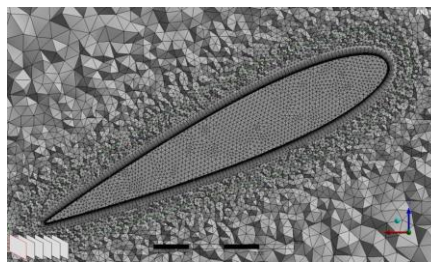


Fig. 2.4. Detaliu din discretizarea suprafeței palei.

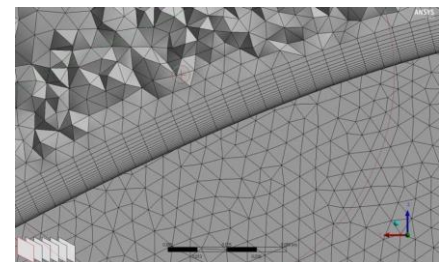


Fig. 2.5. Detalii din discretizarea stratului limită.

În total au fost generate aproape 5.9 milioane de elemente finite tetraedrice și prizmatice pentru pala hidrodinamică cu ecrane transversal și aproximativ 5 milioane de elemente pentru pala simplă.

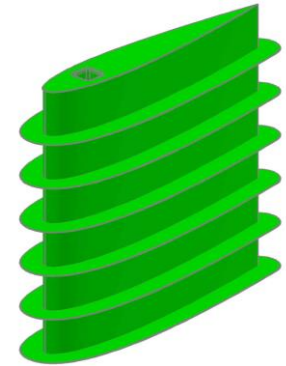


Fig. 2.1. Pala hidrodinamică cu ecrane transversale și construcție modulară

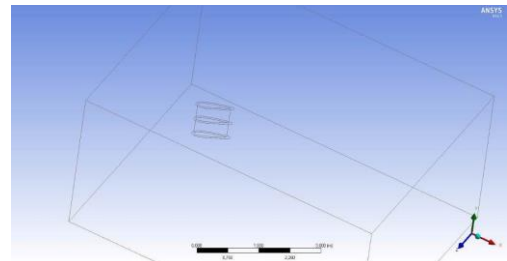


Fig. 2.2. Domeniul computațional pentru simulările CFD.

Post-procesarea rezultatelor a fost efectuată în CFX post. În fig. 2.6-2.8 sunt prezentate liniile de curent la diferite înălțimi ale palei hidrodinamice. Fig. 2.9-2.11 prezintă liniile de curent pentru pala cu ecrane transversale. Numărul de tranziție Reynolds pentru pala cu ecrane transversale la diferite înălțimi este prezentat în fig. 2.12-2.14.

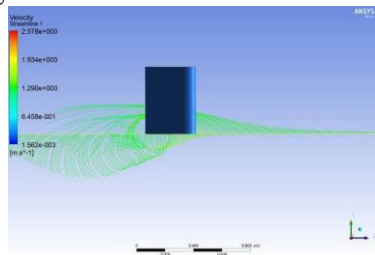


Fig. 2.6

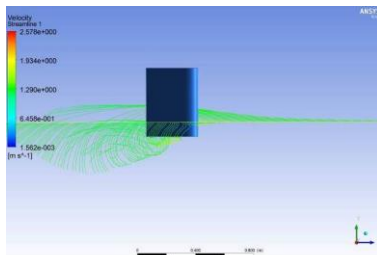


Fig. 2.7

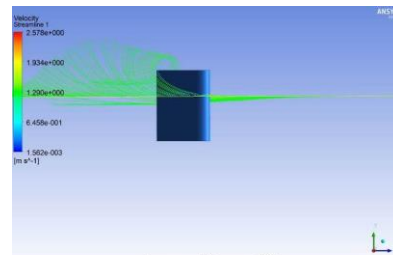


Fig. 2.8

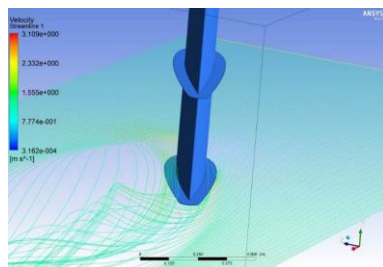


Fig. 2.9

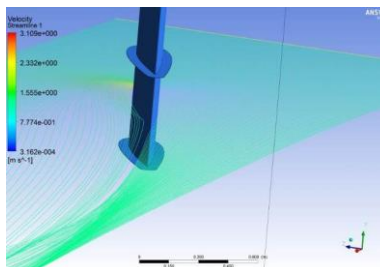


Fig. 2.10

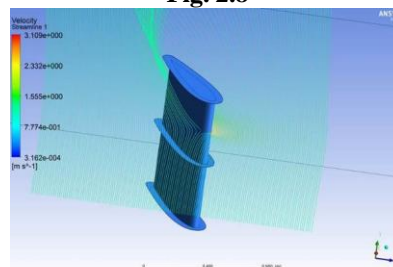


Fig. 2.11

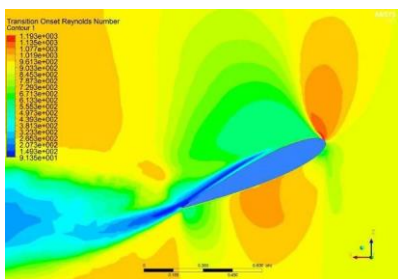


Fig. 2.12

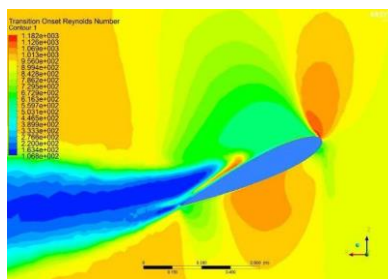


Fig. 2.13

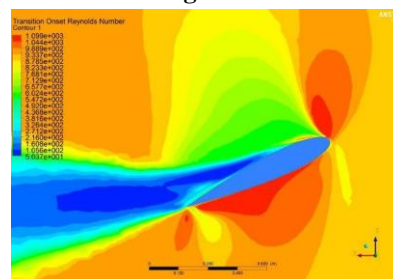


Fig. 2.14

### 3. Elaborarea construcției rotorului cu pale hidrodinamice al microhidrocentralei

Rotorul cu pale hidrodinamice este organul de lucru principal al unei microhidrocentrale și este destinat pentru conversia energiei cinetice a fluxului de apă și transmiterea acesteia prin lanțul cinematic către agregatele producătoare de energie electrică (generator) sau mecanică (pompă hidraulică). Reieșind din cerințele înaintate mai sus a fost elaborat un rotor hidrodinamic dotat cu pale cu construcție specială optimizată. Rotorul hidrodinamic a fost elaborat în mediul de proiectare Autodesk MotionInventor și este prezentat în fig. 3.1. Soluțiile tehnice adoptate în construcția finală a rotorului hidrodinamic au rezultat din cercetările efectuate prin simularea pe calculator, utilizând softurile de analiză cu elemente finite ANSYS CFX.

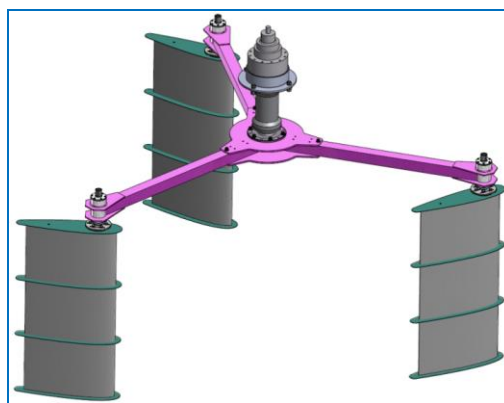


Fig 3.1. Rotorul cu pale hidrodinamice.

Construcția palei reprezintă o structură, care constă din module geometrice și plăcuțe de separare și direcționare orizontală a stratului limită al fluxului de apă. În fig. 3.2 este ilustrată vederea în secțiune a palei [3]. Pala cu profil hidrodinamic 1 cu osiile 2 instalate fiecare pe capătul liber al brațelor 3. Pala 1 este



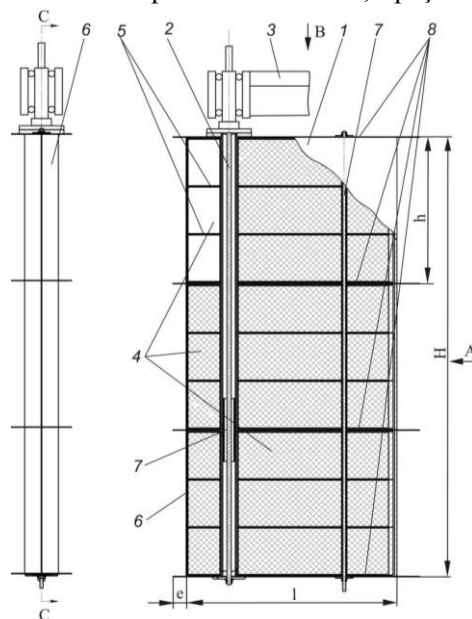
asamblată din module flotante cu profil hidrodinamic 4, constituite din corpuri cu nervuri 5, spațiul din interiorul cărora este împlut cu material expandant, și învelișul 6. Modulele flotante 4 sunt fixate suplimentar cu o tijă 7. Între aceste module și pe părțile inferioară și superioară ale palei sunt instalate ecranele 8 pentru direcționarea curgerii stratului limită al fluidului. Modulele flotante 4 sunt montate în rotor cu posibilitatea varierii unghiului de atac al palelor. Carcasa cu bare radiale este fabricată din profil de aliaj de aluminiu cu dimensiuni calculate să asigure poziționarea de proiect (calculată) a palelor cu abateri minime (săgeata de încovoiere a axelor palelor – până la 5 mm, unghiul de răsucire a barelor radiale  $\pm 1^\circ$ ).

Momentul de torsiune apare în rezultatul acțiunii forțelor hidrodinamice asupra palelor aflate în fluxul de apă.

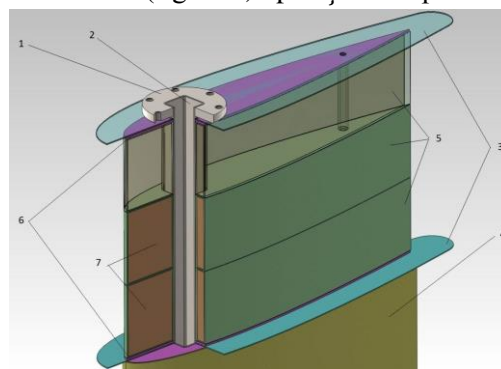
Pala hidrodinamică modulară funcționează în modul următor: La curgerea apei curenții acționează asupra suprafeței palelor, aflate de o parte a rotorului, antrenându-le în mișcare de rotație în jurul axului rotorului. Orientarea palelor 1 față de curenții de apă în poziții optime din punct de vedere al presiunii exercitate de curenții de apă asupra suprafeței palelor și generării efectului hidrodinamic optim asigură eficiența majoră de conversie a energiei cinetice a curenților de apă. În scopul direcționării optime a curgerii stratului limită al fluidului pe lungimea palei sunt prevăzute ecrane distanțate la înălțimea  $h$ , fapt ce asigură majorarea eficienței de conversie și reducerea gradului de turbulență a apei în spatele palei. Asamblarea palelor 1 din module flotante 4 permite realizarea palelor cu diferite înălțimi funcție de adâncimea râului în locația aleasă.

Un modul flotant este format din următoarele elemente structurale (fig. 3.3): poziția 5 reprezintă secțiunile ermetice monococă care constau dintr-o suprafață întreagă din poliester armat cu fibre de sticlă (PAFS) injectată cu spumă de poliuretan 7. Trei secții 5 sunt lipite împreună cap la cap formând un modul rigid al palei. Secțiile 5 sunt prevăzute cu două canale necesare pentru lonjeroane: lonjeronul 2 cu secțiunea 60×60 mm dotat cu flanșa 1 și cu grosimea peretelui de 5 mm și un lonjeron-tijă prevăzut pentru a asigura paralelismul corzilor modulelor asamblate și pentru a asigura repartizarea uniformă a momentului de torsiune între module.

Fiecare modul este acoperit cu un înveliș format din două jumătăți 4 (fig. 3.3) care formează suprafața hidrodinamică a palei, iar la capete sunt lipite garniturile 6 din PAFS pentru a mari rigiditatea nervurilor existente și pentru a preveni deformațiile lor. Totodată, între module sunt montate plăcuțele 3 din PAFS, care asigură alinierea optimă a fluxului cu pala și creșterea coeficientului de conversie al energiei.



**Fig. 3.2** Pala hidrodinamică modulară cu plăci de separare a curenților de apă.



**Fig. 3.3** Vedere în secțiune a unui modul din pala.

### Bibliografie:

1. Bostan I., Dulgheru V., Sobor I., Bostan V., Sochirean A. *Sisteme de conversie a energiilor regenerabile*. Univ.Tehn. a Moldovei.- Ch.: Ed. „Tehnica-Info” SRL, (Tipografia BONS Offices). 2007.- 592 p. ISBN 978-9975-63-076-4.
2. Bostan I., Bostan V., Dulgheru V. Numerical Modelling and Simulation of the Fluid Flow Action on Rotor Blades of the Micro-Hydropower Station. *Ovidius University Annual Scientific Journal. Mechanical Engineering Series, Volume VIII, Nr. 1, 19-21 May 2006*, Ovidius University Press, Constanța, 2006. ISSN 1223-7221, p.70-78.
3. Bostan V., Ciobanu O., Dulgheru V., Sochirean A., Vaculenco M., Gladîș V. Turbină hidraulică. *Int.Cl.: F03B3/12. F03B3/14. Brevet nr. 4235 MD, BOPI nr. 6/2013.*