



AXa Conferința Națională multidisciplinară - cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL - fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2010

SOLUȚII NOI PENTRU MAȘINILE HIDRAULICE

Gheorghe VERTAN, Dumitru GÂRDAN, Adalbert KOVACS,
Lucian-Corneliu OCOLIȘAN, Mihai Radu BOITOȘ, Gelu BĂLAN

NEW SOLUTIONS FOR HYDRAULIC MACHINES

This is the worlds first time that is possible to simultaneously assure a two advantage solution by one mathematical & technical elements combination (provided from hydro-energetic and pumping). There become possible to manufacture the bigger welded metal sheets viroles on the field better like before (penstock lower bend, spiral casing and draft tube of the turbine). For the bigger hydraulic pumps is possible to minimize the manufacturing cost for draft tube & spiral casing to the double viroles. Finally is obtaining a globally increase of work efficiency and abrasive & corrosive agents lowest sensitivity too.

Cuvinte cheie: turbine hidraulice, pompe, camera spirale

1. Elemente tehnice din hidroenergetică

La toate turbinele hidraulice mari de tip Francis și la unele turbine Kaplan, coturile de aspirație sudate – CAS cu secțiuni ovale și camerele spirale sudate - CSS se fabrică prin decuparea unor virole din tablă, îndoirea acestora prin presare succesivă pe linii de îndoire determinate și trasate cu precizie în prealabil și, în final, prin sudarea fiecărei virole curbate de piesele învecinate. După asamblare aceste virole sunt mărginite fiecare de câte două curbe, situate în plane care formează între ele un unghi diedru δ .

La hidrocentralele cu turbine Francis cu debite foarte mari, pentru fiecare turbină trebuie prevăzută o aducțiune metalică separată, la care partea cotită a aducțiunii sudate - PCAS constituie un ansamblu pentru care se pun aceleași probleme tehnologice și matematice ca și la CAS și CSS, fiind valabile aceleași soluții.

Pe plan mondial, până acum, după câte se cunoaște, CAS, CSS și PCAS se obțin lent și scump, deoarece se produc departe de hidrocentrală, în fabrici de turbine sau, ca subfurnituri, în alte ateliere. Execuția lor departe de beneficiar crește durata de realizare și prețul de cost, din cauza transportului, a unor operații suplimentare și a unor detalii constructive suplimentare specifice, precum cele de mai jos.

a) Se impun rigidizări complexe și costisitoare, pentru a asigura, în timpul transportului, stabilitatea formei acestor ansamble.

b) La turbinele cu debite foarte mari, pentru a fi transportabile, CAS și CSS se realizează din părți demontabile (cu flanșe suplimentare la CSS) pentru a permite:

- montarea provizorie, din părți, la locul de fabricație, pentru proba de presiune, urmată de eventuale remedieri;
- demontarea părților, rigidizarea și transportul lor la hidrocentrală, pentru montarea definitivă.

Deci CAS, CSS și PCAS s-ar realiza mult mai rapid și mai ieftin direct pe șantierul hidrocentralei, mai ales la hidrocentralele cu turbine numeroase și/sau foarte mari. Acest lucru este posibil, deoarece virolele acestor ansamble se pot decupa, îndoii și asambla facil chiar pe șantier, pe baza unei combinații de elemente tehnologice și matematice pe care specialiștii români le-au elaborat, în parte le-au brevetat [2] și oricum le-au aplicat cu succes la toate turbinele Francis mari fabricate și montate în România, la toate pompele mari cu CAS și/sau CSS livrate de S.C. AVERSA S.A. București, precum și la toate turbinele Francis și la unele turbine Kaplan exportate.

La turbinele exportate, toate CAS și unele CSS s-au produs de către subfurnizori locali, după proiectul și tehnologia românească.

Literatura mondială menționează abia mult mai târziu asemenea elemente închegate într-un sistem unitar [1, 3] și acestea verificate numai pe modele fizice, deci neaplicate industrial.

Aceste elemente tehnologice și matematice se pot organiza facil în prezent (după câte se cunoaște în premieră mondială) ca tehnologie de execuție, pe șantierul hidrocentralei, a PCAS, CSS și CAS ale turbinelor hidraulice, constituind o șansă de lansare industrială internațională a României.

2. Elemente tehnice din pompare

În cazul pompelor pentru lichide abrazive și/sau corozive, la varianta turnată se pot adopta materiale mai rezistente la abraziune și/sau coroziune decât tablele obișnuite. Pentru aceste lichide, dacă s-ar adopta varianta sudată din virole confecționate din tablă obișnuită, ieftină, ar rezulta ansamble care în exploatare s-ar uza repede, iar dacă s-ar adopta virole din tablă antiabrazivă și/sau anticorozivă ar rezulta ansamble scumpe și dificil de sudat.

Calculare exacte complete ale virolelor pot asigura atât o execuție facilă, cât și o soluție constructivă nouă, în confecționarea camerelor spirale și/sau ale coturilor de aspirație din virole duble.

O virolă dublă conține o virolă exterioară și o virolă interioară.

Virola exterioară se confecționează din tablă ieftină obișnuită, care se poate suda facil. Pentru fiecare virolă exterioară se adoptă tabla cu grosimea necesară pentru a prelua toate solicitările mecanice generate de presiunea de calcul a pompei, inclusiv lovitură de berbec.

Virola interioară se confecționează din tablă subțire antiabrazivă și/sau anticorozivă, cu rugozitate cât mai mică. Această virolă are rolul de a rezista la abraziune și/sau coroziune. În plus, ea asigură un randament mare al pompării, datorită rugozității mult mai mici decât în cazul variantei turnate.

Deci noua soluție este avantajoasă pentru că asigură atât randamente sporite, cât și o rezistență sporită la uzura fizică, mai ales pentru pomparea lichidelor abrazive și/sau corozive.

3. Suprafața desfășurabilă

Din punct de vedere matematic, orice virolă reprezintă o suprafață desfășurabilă.

O suprafață riglată se obține prin deplasarea în spațiu a unui segment de dreaptă. Unele suprafețe riglate nu sunt desfășurabile: de exemplu turnurile de răcire cu formă de hiperboloid sunt suprafețe riglate nedesfășurabile. Pentru a fi desfășurabilă, o suprafață riglată trebuie să satisfacă o anumită condiție.

Fie într-un sistem de referință $xOyz$ suprafața riglată cu ecuația:

$$z = f(x, y) \quad (1)$$

Această suprafață este desfășurabilă dacă satisface ecuația:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial^2 x^2} \frac{\partial^2 z}{\partial^2 y^2} = \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \right)^2 \quad (2)$$

Pentru virolele de camere spirale ale unor mașini hidraulice această ecuație s-a considerat de mult timp [1] și s-a utilizat, inclusiv la realizarea unei tehnologii brevetate [2], iar problematica a mai fost tratată și ulterior pe plan mondial [3].

Într-un sistem $xOyz$ se consideră o virolă simetrică de cameră spirală (figura 1).

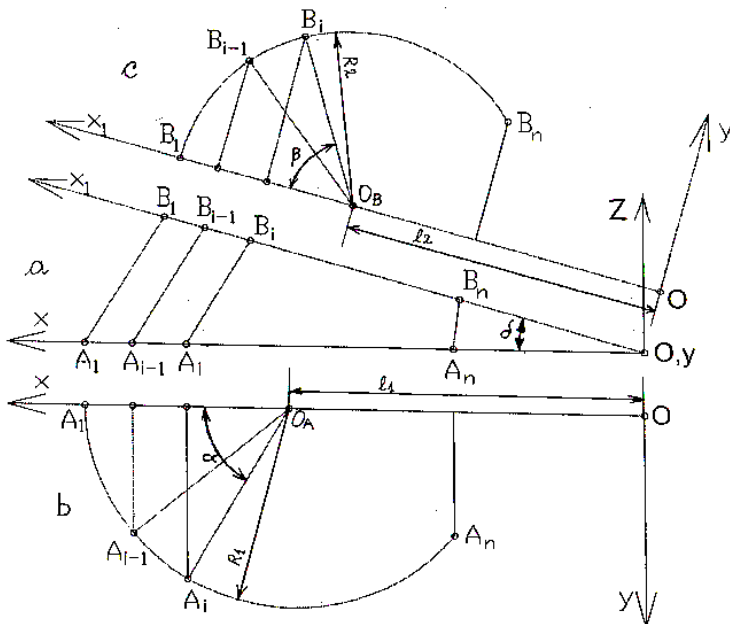


Fig. 1 Virolă simetrică a unei camere spirale de pompă
 a. Vedere (mijloc); b. Rabaterea unei jumătăți de virolă în planul xOy (jos)
 c. Rabaterea unei jumătăți de virolă în planul $x_1O_1y_1$, care face un unghi diedru δ cu planul xOy (sus)

Semivirola are un contur $A_1A_{i-1}A_iA_n$ situat în planul xOy și un contur $B_1B_{i-1}B_iB_n$ situat într-un plan $x_1O_1y_1$, care face un unghi diedru δ cu planul xOy . Pentru fiecare virolă se consideră și cele două rabateri ale câte unei jumătăți simetrice de virolă într-un plan xOy (figura 1, jos) și într-un plan $x_1O_1y_1$ (figura 1, sus).

Se consideră că fiecare virolă este generată prin deplasarea în spațiu a unui segment de dreaptă AB , de lungime variabilă, acest segment având pe rând pozițiile $A_1B_1, \dots, A_{i-1}B_{i-1}, A_iB_i, \dots, A_nB_n$.

Poziția punctului curent A_i pe arcul de cerc $A_1A_{i-1}A_iA_n$ se poate defini prin unghiul α (figura 1, b), iar poziția punctului curent B_i pe arcul de cerc $B_1B_{i-1}B_iB_n$ se poate defini prin unghiul β (figura 1, c).

Pentru a obține suprafața desfășurabilă care se sprijină pe cele două arce de cerc $A_1A_{i-1}A_iA_n$ și respectiv $B_1B_{i-1}B_iB_n$ se impune ca segmentul de dreaptă A_iB_i să reprezinte în fiecare poziție generatoarea suprafeței desfășurabile.

În final, determinând funcția $\beta = f(\alpha)$ se determină suprafața desfășurabilă.

Fără a da demonstrații și detalii de calcul (care necesită multe pagini) pentru o virolă de cameră spirală (figura 1) pe un interval $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ funcția exactă este:

$$\beta = \arctg \frac{l_2 \sin \alpha}{l_2 \cos \alpha + R_2} + \arctg \frac{R_2 \sin \alpha}{\sqrt{l_2^2 \sin^2 \alpha + (l_2 \cos \alpha + R_2)^2}} \quad (3)$$

Pe restul intervalelor și pentru o virolă de parte cotită a aducțiunii, sau de cot de aspirație, se obțin funcții asemănătoare.

4. Calculul conturului virolei desfășurate și a liniilor de îndoire

Aceste calcule, pentru a fi exacte, utilizează noțiunea matematică de geodezică (curba, aparținând unei suprafețe curbe, care determină distanța minimă între două puncte de pe acea suprafață). În cazul general, determinarea lungimii unei geodezice implică o ecuație integrală care nu are soluție exactă, deci se impun aproximări.

Din punct de vedere tehnologic, pentru fiecare cotă de execuție se admite o abatere, dar această abatere trebuie să fie mai mică decât o toleranță maximă admisă. De aceea calculul trebuie astfel conceput, încât abaterea maximă să fie mai mică decât toleranța maximă admisă.

Pentru aceasta, întreaga suprafață a virolei curbe se consideră descompusă în multe patruleter (fiecare patruleter fiind mărginit de câte 2 generatoare ale acestei suprafețe), pornind de la o generatoare inițială până la una finală. La o virolă simetrică de cameră spirală se consideră generatoarea inițială A_1B_1 situată pe axa de simetrie a virolei, iar generatoarea finală A_nB_n la îmbinarea cu statorul pompei (figura 1). Se descompune fiecare patruleter în câte 2 triunghiuri. Dacă se determină lungimile laturilor acestor triunghiuri, înseamnă că întreaga suprafață a virolei s-a descompus în triunghiuri cu laturi de lungimi cunoscute. Pornind de la generatoarea inițială, se desfășoară succesiv toate aceste triunghiuri și astfel se obține, într-un sistem plan de

referință uOv (figura 2), atât desfășurata $a_1 \dots a_{i-1} a_i \dots a_n b_n \dots b_i b_{i-1} \dots b_1$ a unei jumătăți simetrice de virolă, cât și liniile de îndoire $a_1 b_1 \dots a_{i-1} b_{i-1}$, $a_i b_i \dots a_n b_n$ aferente.

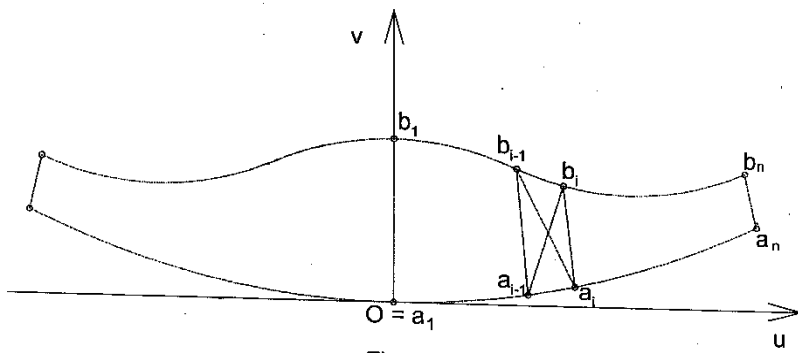


Fig. 2 Virolă simetrică a unei camere spirale, desfășurată într-un plan uOv , axa de simetrie $a_1 b_1$ a virolei fiind suprapusă peste axa Ov

În aparență totul pare rezolvat, numai că fiecare din triunghiurile considerate are o latură a cărei lungime nu se poate calcula exact, conform celor ce urmează.

Patrulaterul curent $A_{i-1} A_i B_i B_{i-1}$ este mărginit de două porțiuni $A_{i-1} A_i$ și $B_{i-1} B_i$ din curbele de contur $A_1 A_{i-1} A_i A_n$, respectiv $B_1 B_{i-1} B_i B_n$, precum și de două generatoare $A_{i-1} B_{i-1}$ și $A_i B_i$. La rândul său, fiecare patrulater curent se consideră descompus în două triunghiuri, în două moduri posibile. Adică fiecare patrulater curent $A_{i-1} A_i B_i B_{i-1}$ se consideră (figura 1, a și figura 2) descompus:

- fie în triunghiurile $A_{i-1} A_i B_{i-1}$ și $B_{i-1} B_i A_i$ (prima ipoteză);
- fie în triunghiurile $A_{i-1} B_{i-1} B_i$ și $A_{i-1} A_i B_i$ (a doua ipoteză).

Fiecare din cele 4 triunghiuri, considerate pe virola curbă în spațiu (figura 1a), se poate desfășura în plan și are două laturi a căror lungime se poate calcula exact. Una dintre aceste 2 laturi este generatoarea $A_{i-1} B_{i-1}$ sau $A_i B_i$, iar a doua latură cunoscută este arcul de cerc $A_{i-1} A_i$ sau $B_{i-1} B_i$. Dar, fiecare din aceste 4 triunghiuri are și o a treia latură (anume $A_{i-1} B_i$ sau $B_{i-1} A_i$) care, pe suprafața curbă în spațiu a virolei, constituie o geodezică, iar lungimea exactă a geodezicei, în cazul general, nu se poate calcula exact. De aceea se caută o aproximare acceptabilă.

Astfel, se consideră că virola a fost deja desfășurată până în punctele A_{i-1} și B_{i-1} ; deci coordonatele acestor două puncte în planul uOv (figura 2) se consideră cunoscute, urmând determinarea

coordonatelor u, v și pentru punctele A_i și B_i . Pentru aceasta se examinează desfășurarea patrulaterului $A_{i-1}A_iB_iB_{i-1}$ în două ipoteze, corespunzătoare celor două posibilități de descompunere în triunghiuri. În ambele ipoteze se aproximează lungimile geodezicilor cu lungimile segmentelor de dreaptă care le unesc capetele, dar se menționează că geodezicele $\overline{A_{i-1}B_i}$, respectiv $\overline{B_{i-1}A_i}$ sunt mai lungi decât segmentele de dreaptă $A_{i-1}B_i$, respectiv $B_{i-1}A_i$, care pot fi considerate un fel de coarde ale geodezicilor.

Pentru a obține rezultate acceptabile virola se descompune într-un număr $n_c > n_t$ de patrulatere, crescând n_c până ce diferența între ordonatele V_{An} (sau V_{Bn}) calculate prin cele 2 ipoteze ajunge mai mică decât toleranța maximă admisă.

Dintre coordonatele punctelor astfel calculate se rețin însă mai puține, adică numai un număr n_t de puncte A_i și B_i , repartizate relativ uniform pe tot conturul virolei; numărul n_t este adoptat convenabil din punct de vedere tehnologic.

Evident că volumul de calcule fiind foarte mare, se efectuează numai cu ajutorul unor programe de calcul elaborate special în acest scop.

5. Concluzii

- Determinarea, în limita toleranțelor admise, a coordonatelor punctelor ce reprezintă conturul fiecărei virole, dar și capetele liniilor de îndoire, asigură decuparea și îndoirea corectă a fiecărei virole, inclusiv în cazul execuției ansamblelor sudate pe șantierul hidrocentralei, precum și în cazul virolelor duble pentru pompele centrifuge mari.

- Pe această bază matematică și tehnologică se pot realiza pe șantierul hidrocentralei aducțiunile metalice, inclusiv părțile cotite ale aducțiunilor sudate – PCAS, camerele spirale sudate – CSS și/sau coturile de aspirație sudate – CAS ale turbinelor, precum și CSS și/sau CAS ale pompelor din virolele duble, soluție nouă și avantajoasă în special la pompele pentru lichide abrazive și/sau corozive.

BIBLIOGRAFIE

[1] Şriro, I.I., *O razvertăvanii zvenev svarnâh spiralei, Ghidroturbostroenie*, Nr. 8, Maşaghiz, Moscova, 1961.

[2] Vertan, G., Secoșan A., Lupșiasca, C., Mihail, E., Vertan, M., Șepici, G., Bontea, M., *Procedeu de realizare a corpurilor asamblate din virele cu contur dat în spațiu*, Brevet de invenție nr. 69500, România.

[3] Sundar, Varada Raj, P., *Evolution of Generic Mathematical Models and Algorithms for the Surface Development and Manufacture of Complex Ducts*, Transactions of the ASME Journal of Engineering for Industry, U.S.A., May, 1995, vol. 117, pag.177-185.

Dr.Ing. Gheorghe VERTAN

S.C. Versiuni Tehnice Avansate și Noutăți, Intrarea Sunetului nr.3,
Bloc 219, Ap.10, 300256 Timișoara, Tel. 0356-005345, 0770-725652

Ing. Dumitru GÂRDAN

Director Sucursală S.C. I.S.P.E. S.A.,
Suc. Timișoara, Str. Gh. Lazăr nr. 18-20, 300343 Timișoara

Prof.Dr.mat. Adalbert KOVACS

Dep. Matematică, Universitatea „POLITEHNICA” din Timișoara,
P-ța Victoriei, nr.2, 300006 Timișoara, tel. 0256-403099
profdrkovacs@yahoo.com

C.S.III.Ing. Lucian-Corneliu OCOLIȘAN

Laboratorul Electromecanică al Centrului de Cercetări Tehnice
Fundamentale și Avansate, Academia Română filiala Timișoara,
Bd. Mihai Viteazu nr. 24, 300223 Timișoara, Tel. 0256-491823,
lucian@acad-tim.tm.edu.ro

Ing. Mihai Radu BOITOȘ

S.C. Energoproiect, Str. Gh. Lazăr nr. 18-20, 300343 Timișoara

Prof.asoc.Drd.Ing. Gelu BĂLAN

Departamentul de Mecanică, Universitatea „Eftimie Murgu”,
Piața Traian Vuia nr.2-4, 320085 Reșița