

SIMULAREA NUMERICA A CURGERII LICHIDULUI ÎN ORGANELE DE LUCRU A POMPEI CENTRIFUGE PRIN INTERMEDIUL ANSYS CFX

Andrei PETCO,

Universitatea Tehnică a Moldovei, Școala Doctorală Inginerie Mecanică și Civilă

Autorul corespondent: Petco Andrei, petcoandrei@gmail.com

Rezumat. În lucrare dată sunt expuse recomandările necesare modelării curgerii fluidului în zona de curgere a pompei prin intermediul produsului program Ansys CFX. Este prezentat algoritmul modelării și aplicarea lui în baza geometriei pompei CH-6,3-20-1,1-2. De asemenea sunt prezentate rezultatele unui șir de simulări în baza diferitor rețele de discretizare și modele de interfață.

Cuvinte cheie: Pompe centrifuge, Calculul numeric, Ansys CFX, CFD

Introducere

În prezent pompele centrifuge sunt unele dintre cele mai răspândite tipuri de pompe, fiind folosite în diverse ramuri ale industriei. Pompe centrifuge produse în Republica Moldova se utilizează în industria chimică, petrolieră, atomică, farmaceutică, alimentară, militară etc. Cercetările în domeniul sunt actuale, reprezintă interes pentru economia națională [1].

În lucrare dată sunt expuse recomandările necesare modelării curgerii fluidului în zona de curgere a pompei prin intermediul produsului program Ansys CFX.

Modelarea curgerii

Procesul de simulare a curgerii lichidului în organele de lucru a pompei reprezintă un proces complex, fiind folosit în procesul de optimizare a organelor de lucru și în reverse engineering pentru stabilirea caracteristicilor elementelor cercetate[1].

Trebuie de menționat că curgerea fluidului se caracterizează printr-un număr Reynolds ridicat, grație fenomenului pronunțat de turbulență, care se datorează în primul rând turației înalte ale rotorului pompei (în cazul pompelor de tip CH și CMP turația rotorului pompei este de cca. 3000 (1500) min^{-1}) și în al doilea rând geometriei complexe a rotorului.

La simularea curgerii se folosește un șir de ipoteze simplificatoare, cum ar fi curgerea incompresibilă, caracter izoterm și viscozitatea constantă, fluid newtonian.

Metodologia modelării este prezentată în baza geometriei pompei ermetice centrifuge cu motor capsulat CH-6,3-20-1,1-2. Algoritmul modelării poate fi descris prin următorii pași: crearea modelului geometric, selectarea metodelor de discretizare, stabilirea condițiilor inițiale și la limită, stabilirea modelului matematic a turbulenței, cavitației etc., analiza rezultatelor și postprocesare.

Crearea modelului geometric, se efectuează prin „extragerea” geometriei zonei de curgere din modelul geometric a pompei. Din fig.1 se poate observa că pompa centrifugă ermetică de tip CH reprezintă o construcție monobloc. Ea este compusă din două părți (fig.1):

- partea de pompare, monoetajată (cu un singur rotor);
- electromotor capsulat asincron trifazat.

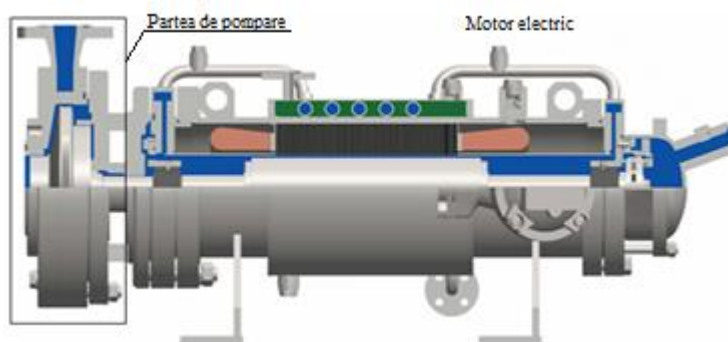


Fig.1. Pompa ermetică cu motor capsulat de tip CH (Secțiunea axială)

Pomparea propriu zisă a lichidului se efectuează în partea de pompare a pompei, fluid trecând în interiorul corpului pompei prin racord de aspirație, nimereste în rotorul pompei, unde prin transformarea a energiei cinetice de rotație în energie hidrodinamică, presiunea fluidului crește, fiind transportat spre racordul de refulare a corpului pompei. Putem observa doua cavități din ambele părți ale rotorului necesare pentru echilibrarea forțelor. O parte din lichidul pompat din zona de refulare trece prin fanta de etanșare din spatele rotorului, astfel ungerea și răcirea rulmenților și a cavității interioare a motorului electric este efectuată prin intermediul lichidul pompat. La fel pentru răcirea statorului poate fi folosită și cămașă de răcire.

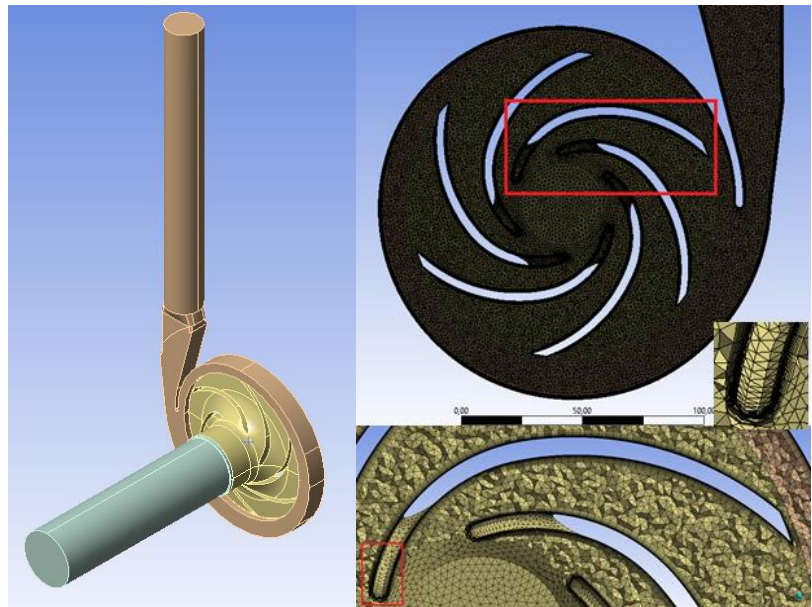


Fig.2. a) Geometria pompei CH-6,3-20-1,1-2, reprezentată în modulul ANSYS CFX geometry (partea stângă). b) Modelul de discretizare $\Delta S=1,5\text{mm}$, 15 straturi de inflație, $3,23 \times 10^6$ elemente finite, reprezentată în modulul ANSYS CFX mesh (partea dreaptă).

Din cauza diferenței mari a raportului dintre grosimile canalelor de curgere din pompa poate fi de cca. 10^2-10^3 (dintre fanta de etanșare și diametrul corpului pompei), simularea curgerii în întreaga pompă, în prezent, nu poate fi realizată.

În acest articol este cercetat doar partea de pompare. Se „extrage” zona de curgere a părții de pompare: racordul de aspirație, volumul interior a rotorului pompei, zona evacuatorului elicoidal și zonei racordului de refulare (fig.2 a). Din simulări, pentru a simplifica calculul, au fost excluse cavitățile din față și spate a rotorului. De asemenea nu se ia în calcul și circuitul secund, excluderea lui nu va influența parametrii cercetați.

Pentru reprezentarea corectă a câmpului de viteze și presiuni, zona racordului de refulare, aspirație se alungește cu cca. $3-5 D_y(d_y)$. Alungirea este necesară, pentru modelarea veridică a lucrului pompei în interiorul unui sistem hidraulic.

Selectarea metodelor de discretizare. Curgerea fluidului în interiorul pompei reprezintă un fenomen hidrodinamic complex, care este descrisă prin ecuații Navier-Stokes, care nu pot fi rezolvate analitic în caz general. O alternativă reprezintă rezolvarea numerică a acestor ecuații prin divizarea domeniului în elemente sau volume finite. În simularea numerică a proceselor de curgere a fluidelor, în organele de lucru a pompei, prin intermediu ANSYS CFX, ca metodă de discretizare se utilizează *Metoda Volumelor Finite (Finite Volume Method – FVM)*.

Din fig.2b putem observa că mărimea elementului finit a rețelei de discretizare este uniformă, pe suprafața de contact este aplicată metoda „Influence”, pentru stabilirea parametrilor optime a rețelei de discretizare, a fost efectuată un șir de simulări pe diferite mărimi ale volumului finit, la diferit număr de straturi la suprafețele limită.

Stabilirea condițiilor inițiale și la limită. La simularea curgerii fluidului în pompă, se aplică următoarele condiții inițiale:

- Domeniului rotorului se impune mișcare de rotație cu turația de 2950 min^{-1} .
- Presiune de referință nulă ($P_{\text{ref}} = 0 \text{ atm}$).
- Curgere izotermă ($t = 25^\circ\text{C}$).
- Turbulență de intrare minimă (1%).
- În stare inițială fluidul este format în total din apă în forma lichidă.

Trebuie de menționat că modelul nu ține cont de: forțe gravitaționale și de rugozitatea suprafețelor de contact.

Ținând cont că la baza simulării se ia modelul fluidului continuu bifazic, fluidul este format din:

- Apă în forma lichidă (Water at 25 C);
- Vaporii de apă (Water Vapour at 25 C).

La intrare (**Inlet**) în zonă de curgere se indică Presiune Totală (*Total Pressure(Stable)*), $P_{inlet} = 1\text{MPa}$, direcționarea fluxului fiind normală. Se indică caracterul domeniului – *Subsonic* și starea de turbulență scăzută (1%). Se consideră că la intrare în sistem fluxul este format complet din apă în forma lichidă.

La ieșire (**Outlet**) din zonă de curgere se indică Debitul (**Bulk Mass Flow Rate**), pentru debit nominal de $1,75\text{ (kg}\cdot\text{s}^{-1})$. La ieșire sistem caracteristica fluxului în ceea ce ține de turbulență și cavitație fiind calculate de solver (*Zero gradient*).

În calitate de interfață dintre domenii (*Interface model*) a fost folosite modelele quasi dinamice: **Stage (mixing plane)** – medierea vitezelor pe suprafața de interfață și **Frozen rotor** – care mai bine modelează interacțiune dintre diferite domenii.

Stabilirea modelului matematic a turbulenței, curgerii în stratul limită și a cavitației este un pas important pentru a obține rezultatele numerice realiste. Mediu ANSYS CFX de obicei de folosește modelele k-ε sau modelul SST [1]. În cadrul cercetărilor date, se utilizează modelul de turbulență SST (*Shear Stress Transport*). Modelul SST îmbină concomitent puncte forte ale modelelor k-ω (descrierea curgerii în stratul limită) și k-ε (descrierea fluxului liber a fluidului) [2].

Modelul de transfer a masei, reprezintă modelul de cavitație, definit prin formula Rayleigh-Plesset. Acest model este preferabil în simulările a fenomenului de cavitație [1]. Diametrul mediului a bulei este $2\cdot 10^{-6}$, presiunea de saturație a vaporilor este aleasă de 2650 Pa.

Stabilirea parametrilor de calcul este de asemenea importantă fiind că permite asigurarea convergenței numerice, optimizarea resurselor computaționale, cum ar fi memoria alocată și timpul de execuție.

Pentru modele quasi dinamice Stage SST și Frozen rotor, a fost selectat număr final de iterații de calcul de 400, de asemenea calculul se finalizează la atingerea toleranța erorii reziduale de 10^{-5} , pe parcursul simulărilor, pentru a monitoriza convergența au fost selectați indicatorii: presiune statică și absolute la intrare și ieșire, precum și momentul de torsiune în raport cu axa de rotație aplicat pe rotorul pompei.

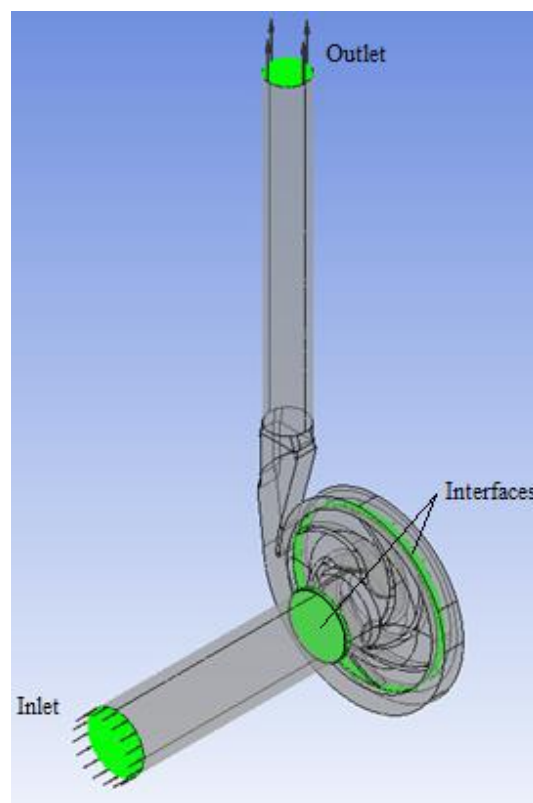


Fig.3. Aplicarea condițiilor limită și a celor inițiale în ANSYS CFX pre.

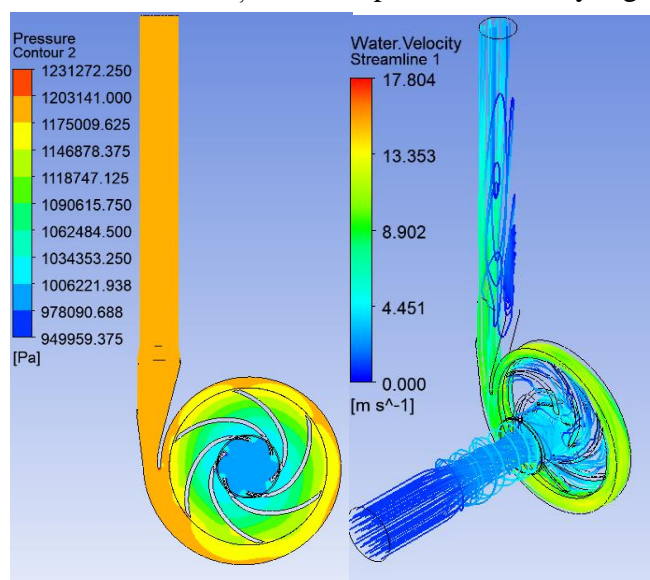
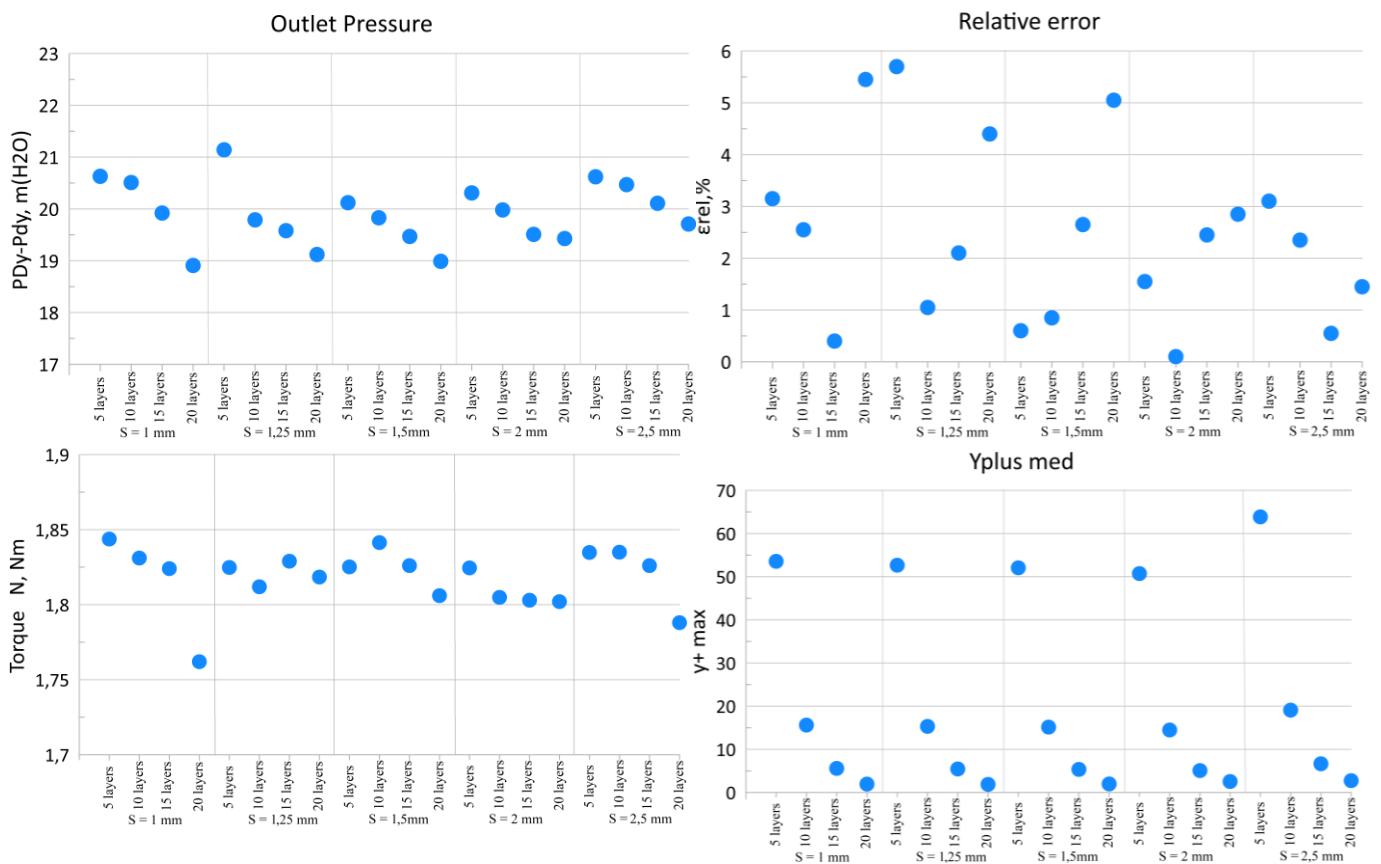


Fig.4. Reprezentarea câmpului presiunii și a direcției a curentului (cu indicarea vitezei) în ANSYS CFX post

Rezultatele simulărilor efectuate cu ajutorul modelului Frozen rotor sunt expuse în fig.5.



**Fig.5. Rezultatele simulării (pompa: CH-6,3-20;
 $Q_{nom} = 20\text{m}^3/\text{h}$, model SST/Frozen rotor).**

Concluzii

A fost efectuată o serie de simulări la diferită mărimea elementului finit ($S = 1\div 2,5\text{mm}$), la diferit număr de straturi de inflație (5÷20 straturi). De asemenea au fost testate diferite modele de interfață dinte domenii (Stage (mixing plane)/ Frozen rotor).

Se atestă o convergență numerică a rezultatelor. La micșorarea dimensiunii volumului finit, parametrul $y+$ coboară în zona unităților, ceea ce corelează cu date teoretice.

Putem constata că la simularea curgerii prin pompă centrifugă modelul Frozen rotor oferă rezultatele veridice în raport cu modelul Stage (mixing plane), în raport de mărimea volumului finit, cu cca. 2-5% la eroare relativă (calculată în funcția de presiune la ieșire din sistem).

Bibliografie:

1. Dezvoltarea constructiv-funcțională a pompelor centrifuge prin optimizarea multiparametrică și simulările CFD. Andrei Petco, Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, Universitatea Tehnică a Moldovei, 26-29 martie, 2019. Chișinău, 2019, vol. 1, pp. 538-543.
<http://repository.utm.md/handle/5014/>
2. Bostan V., Modele matematice în inginerie: Probleme de contact; Modelări și simulări numerice în aero-hidrodynamică, BonsOffices, Chișinău, Republica Moldova, 2014, 470p. ISBN 978-9975-80-831-6