

НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА СТРУЈАЊА ФЛУИДА У РОТАЦИОНИМ ДИСКОВИМА

NUMERICAL SIMULATION OF FLUID FLOWS IN ROTARY DISCS

Драган МАНДИЋ*

ЈКП „Београдске електране“, Београд, Србија

<https://doi.org/10.24094/kgkh.020.51.1.67>

Предмет овог рада је моделирање сложеног кретања флуида које је узроковано ротационим кретањем ротационих дискова. При томе је ротациони диск заузимао нормалан или паралелан положај у односу на осу струјања флуида.

Такође су примењиване различите конструкције ротационих тела, са увођењем флуида кроз средишњи отвор унутар радног кола ротационих тела и са увођењем флуида на спољним површинама ових радних кола (површине које су ограничене највећим пречницима ротационих дискова).

У току моделирања усвојени су и различити почетни услови за различите конструкције и позиције ротационих тела.

За свако појединачно струјање дата су дијаграми промена брзина кроз цилиндричну струју флуида чије се транслаторно кретање усложњава са ротационим кретањем фриксионих дискова у њеном току. Добијени резултати дају јасну слику о поремећајима и променама фронта таласа кретања флуида који се могу употребити као неопходно искуство у пројектовању циркулационих технолошких система.

Кључне речи: флуид, ротациони диск, радно коло, транслаторни ток, фриксиони

The object of this paper is to model the complex fluid motion that is caused by the rotational motion of rotary disks. In doing so, the rotary disk occupied a normal or parallel position with respect to the fluid flow axis.

Various designs of rotary bodies were also applied, with the introduction of fluid through the central opening inside the impeller of the rotating bodies and with the introduction of fluid on the outer surfaces of these impellers (surfaces limited by the largest diameters of the rotary discs).

During the modeling, different initial conditions for different structures and positions of rotating bodies were adopted.

For each individual stream, flow diagrams are given through a cylindrical fluid stream whose translational motion is complicated by the rotational motion of the friction disks in its flow. The results obtained give a clear picture of the disturbances and changes in the front of the fluid motion wave which can be used as a necessary experience in the design of circulating technological systems.

Key words: fluid, rotary disk, impeller, translational flow, friction

Индекси

P_a , N/m^2 , Паскал;

m , kg , маса;

P_{ref} , P_a , N/m^2 , референтни притисак;

P_{stat} , P_a , N/m^2 , статички притисак;

P_{abs} , P_a , N/m^2 , апсолутни притисак;

τ , тангенцијални напон, тензор напона;

ρ , kg/m^3 , густина;

ϕ , $kg/m \cdot sec$, Додатна променљива (скалар);

ρ , kg/m^3 , густина;

V , m^3 , запремина;

Γ_ϕ , $kg/m \cdot sec$, динамичка дифузија;

A , m^2 , површина;

S_ϕ , $kg/m^3 \cdot sec$, масени проток;

S_{ij} , тензор напона;

U , m/sec , вектор брзине $U_{x,y,z}$.

Subscripts

ref, референтни;

stat, статички;

abs, апсолутни.

Увод

У многим технолошким процесима наметнута је потреба за одређеним профилима брзина и притисака флуида који се транспортују као и њиховим интервалима промена.

То се исто односи и на биоинжењеријска истраживања циркулационог система људског организма [3].

У овом раду приказани су резултати истраживања профила и интензитета брзина и притисака струјања флуида који имају сложена кретања услед независног кретања ротационих тела у струји ламинарног тока ових флуида [4] [5].

Сложено кретање флуида је последица збира транслаторне брзине кретања главног тока флуида и ротационог кретања флуида који се налази између плоча фриксионих дискова.

* Аутор: dragan.mandic@bgdel.rs

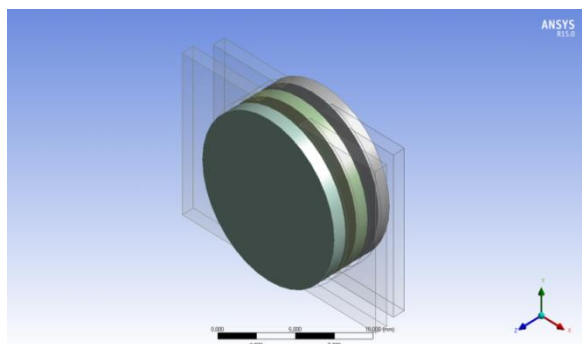
Нумеричким симулацијама у Софтверу АНСИС је направљен покушај да се што веродостојније прикаже ово сложено кретање са различитим геометријским моделима и различитим хидрауличким условима у којима се ова сложена кретања одвијају. То се нарочито односи на почетне граничне услове који се односе на режиме струјања флуида, њихове протоке и притиске и избор претпостављених површина геометријских тела на којима се одвија међудејство са флуидима који се крећу преко тих површина.

За наведени проблем коришћена су искуства претходних истраживања транспорта и примене флуида у другим технолошким системима [2].

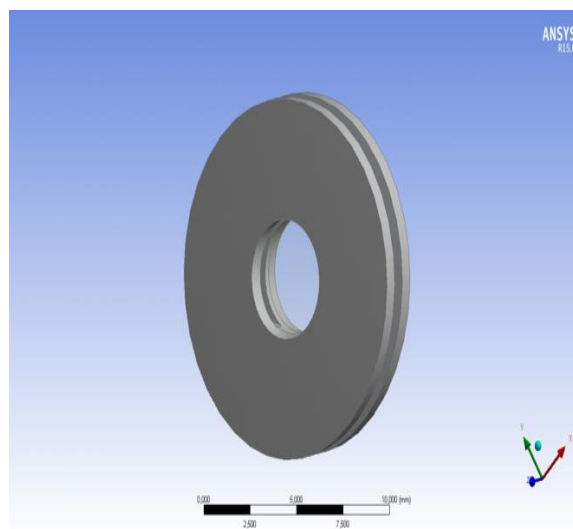
1. Приказ стања проблема

1.1. Геометријски модели ротационих тела

За геометријске моделе ротационих тела усвојена је брзина ротационог кретања дискова од 4 rad/sec. Пречник дискова је 12мм, а растојање између њих је 1мм. Ови модели су представљени на Сликама 1 и 2.



Слика 1. Ротациони дискови са увођењем флуида преко спољног прстеног отвора између дискова



Слика 2. Ротациони дискови са увођењем флуида кроз унутрашњи кружни отвор

1.2. Математички модели струјања

Генерална једначина конверзије (транспорта) за масу, момент, енергију и запремину је решена следећом системом контролних запремина [1]:

$$\frac{\delta}{\delta t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi V \cdot dA = \oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot dA + \int_V S_\phi \cdot dV, \quad (1)$$

где је:

- ρ , kg/m³, густина;
- ϕ , kg/m³·sec, додатна скаларна променљива,
- V , m³, запремина;
- A , m², површина;
- Γ_ϕ , kg/m·sec, динамичка дифузија као додатна променљива;
- S_ϕ , kg/m³·sec, масени проток;

$$\int_V \rho \phi dV - \text{нестационарност изазвана локалним струјањима}; \quad (1.1)$$

$$-\oint_A \rho \phi V \cdot dA - \text{конвекција}; \quad (1.2)$$

$$-\oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot dA - \text{дифузија}; \quad (1.3)$$

$$-\int_V S_\phi \cdot dV - \text{генерисање}. \quad (1.4)$$

- Парцијалне диференцијалне једначине се линеаризују у систем алгебарских једначина;
- Све алгебарске једначине се затим нумерички решавају да би се приказали интервали добијених резултата.

Основни гранични услови протока течности су следећи [4] [5]:

1. ФЛУИД -улаз:

- Масени протоци флуида или протоци флуида између плоча циркулационих дискова имају усвојену вредност од 0,01 m/sec и 0.1 m/sec.

Масени проток се рачуна на основу једначине:

$$\rho U = \frac{\dot{m}}{\int_S dA} \quad (2)$$

где је

$\int_S dA$ -је интегрисана гранична површина при даатој резолуцији мреже.

-Средња вредност статичког притиска износи 11, 000Pa [4] [5].

Референтни притисак (једначина бр.3) је апсолутни притисак у односу на који су усвајане остале вредности притиска.

$$P_{ref} \quad (3)$$

ANSYS CFX[7] за одређену вредност статичког притиска $-P_{stat}$ (термодинамички притисак) (једн. 4) у струји флуида, одређује вредност Апсолутног притиска $-P_{abs}$ (једн.5):

$$P_{stat} \quad (4)$$

$$P_{abs} = P_{stat} + P_{ref} \quad (5)$$

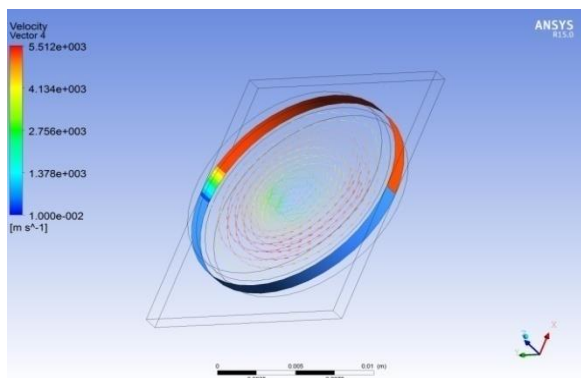
1.3. Резултати нумеричких симулација струјања флуида на елементарним дисковима

1.3.1. Елементарни дискови са спољашњим довођењем флуида

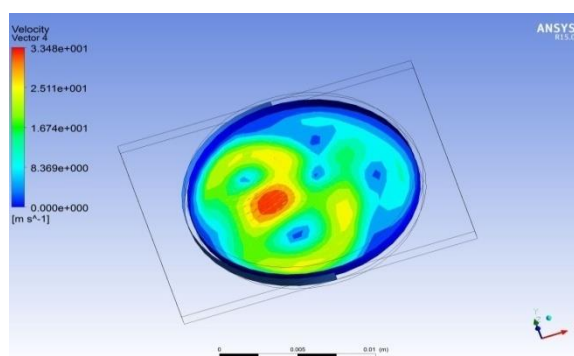
На следећим сликама су дати дијаграми промена вектора брзина слоја флуида између ротационих дискова (Слика 3, Слика 4, Слика 5 и Слика 6).

При том је ротациона брзина дискова имала вредност 4 rad/sec а транслаторна брзина флуида је имала вредности 0.01 m/sec и 0.1 m/sec.

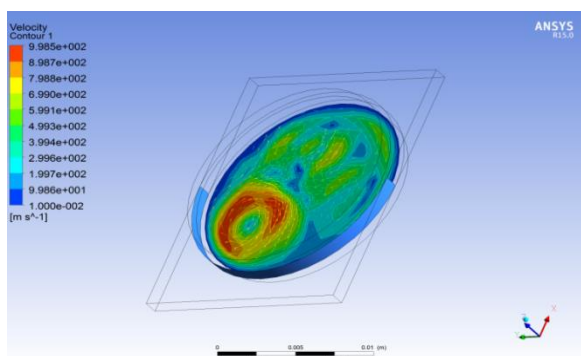
Релативна брзина флуида је усвајана као транслаторна (Слика 3, Слика 4 и Слика 5) и као сложена (транслаторна и ротациона-Слика 6) у односу на ротационне дискове.



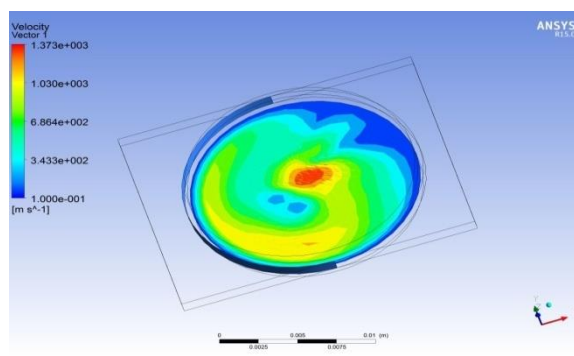
Слика 3. Дијаграм промене вектора брзине флуида у граничном слоју при улазној транслаторној брзини 0.1 m/sec.



Слика 4. Дијаграм промене вектора брзине флуидног тока између дискова при улазној транслаторној брзини од 0.01 m/sec



Слика 5. Дијаграм промене вектора брзине флуидног тока између дискова при улазној транслаторној брзини од 0.1 m/sec



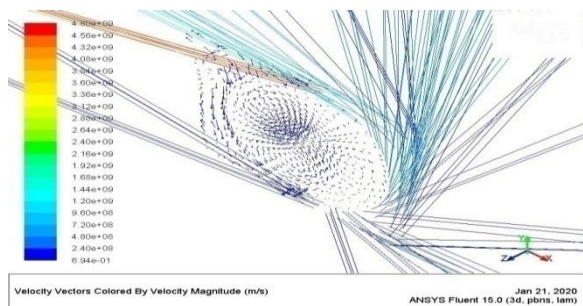
Слика 6. Дијаграм промене вектора брзине флуидног тока између дискова при улазној транслаторној брзини од 0.1m/sec и усвојеној релативној ротационој брзини од 4 rad/sec.

1.3.2. Елементарни дискови са довођењем флуида кроз унутрашњи отвор

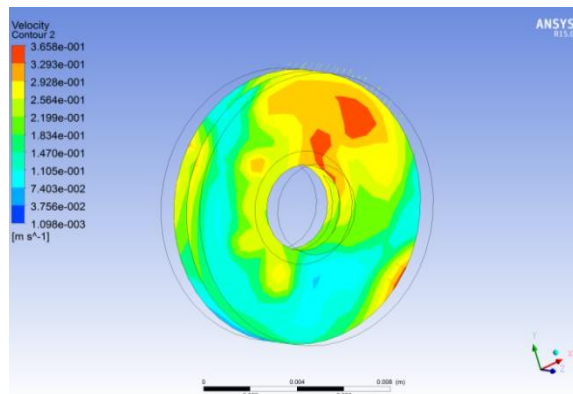
На следећим сликама су дати дијаграми промена вектора брзина слоја флуида између ротационих дискова (Слика 7, Слика 8, Слика 9 и Слика 10).

При том је ротациона брзина дискова имала вредност 4 rad/sec а транслаторна брзина флуида је имала вредности 0.01m/sec и 0.1 m/sec.

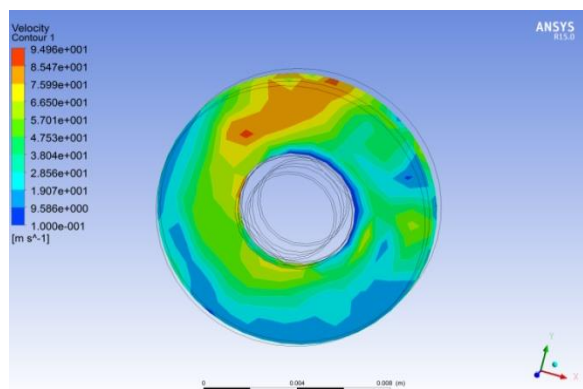
Релативна брзина флуида (између дискова) је усвајана као транслаторна (Слика 8 и Слика 9) и као сложена(транслаторна и ротациона-Слика7 и Слика 10) у односу на ротационе дискове.



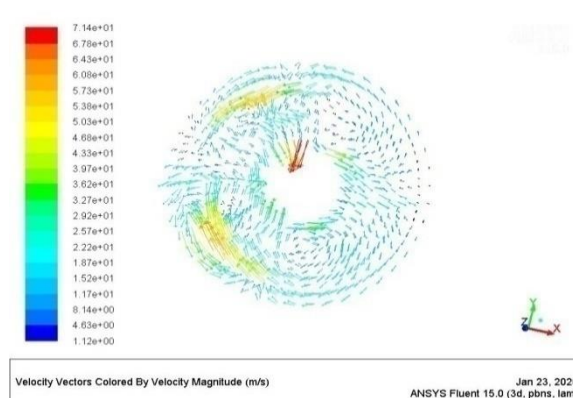
Слика 7. Дијаграм промене вектора брзине флуида у граничном слоју за улазну транслаторну брзину 0.1m/sec и усвојену релативну ротациону брзину 4 rad/sec.



Слика 8. Дијаграм прираштаја ротационе брзине флуида у контурном слоју између ротационих дискова (улазна транслаторна брзина између дискова је 0.01 m/sec)



Слика 9. Дијаграм прираштаја брзине флуида у контурном слоју између ротационих дискова (улазна транслаторна брзина у унутрашњем отвору је 0.1m/sec)



Слика 10. Дијаграм промене вектора брзине флуидног тока између ротационих дискова при улазној транслаторној брзини од 0.1 m/sec и усвојеној релативној ротационој брзини од 4 rad/sec.

2. Анализа резултата

На основу извршених нумеричких симулација усвојени су следећи резултати:

1. Резултати нумеричких симулација струјања флуида у елементарним дисковима (Слике 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10) указују на пораст брзина флуида у њиховим излазним пресецима и за унутрашње и за спољашње увођење флуида у радно коло.

2. Највећа брзина флуида између дискова са спољашњим увођењем је у зони непосредно уз улазни пресек флуида (износи око 1300 m/sec- Слика 6), и она је последица претпостављене релативне ротационе брзине флуида од 4 rad/sec.

3. Највећа брзина флуида између дискова са унутрашњим увођењем је у зони непосредно уз излазни пресек флуида (износи око 100 m/sec- Слика 10), и она је такође последица претпостављене релативне ротационе брзине флуида од 4 rad/sec.

4. Вредности брзина струјања флуида између ротационих дискова у излазним пресецима код претпостављених транслаторних струјања су далеко мање него у случају претпостављених сложених (ротационих и транслаторних) релативних струјања флуида између дискова.

3. Закључак

Резултати остварени симулацијама у приказаним специфичним условима у којима се одвија сложено кретање флуида указују на одређене хидрауличке феномене који су последица местимичних хидрауличких неравномерности и удара које проузрукују смањење њиховог укупног масеног протока. У неким зонама пресека цевовода кроз који се флуид транспортује у толикој мери се смањују брзине струјања да изазивају повратна струјања и чак турбуленцију.

Ово указује да се новим изборима радних кола циркулационих пумпи за транспорт флуида и нових избора експлоатационих услова мора избећи наведена хидрауличка неравномерност у што већој мери, јер то постаје један од основних захтева у данашњим системима транспорта флуида.

Наведена анализа може послужити као један од начина којим се наведени проблеми у транспорту флуида могу уочити и може бити смерница за њихово решавање.

4. References

- [1] *** ANSYS Introduction to CFD Analysis, Introductory FLUENT Notes, FLUENT v 6.3 Decembar 2006
- [2] N. Tesla, "Fluid Propulsion," U.S. Patent 1061142, 6 May 1913.
- [3] Branka Lukic, The Pennsylvania State University, "A passively-Suspended Tesla Pump Left Ventricular Assist ", US National library of Medicine- National Institutes of Health, Nov 2010
- [4] Dragan Mandic, CFD modeling of hydrodynamic phenomena and heat transfer in channels of plate heat exchangers, 4th International Conference of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (FFHMT'17) Toronto, Canada – August 22 – 23, 2017
- [5] Dragan Mandic, CFD modeling of turbulence in channels of plate heat exchangers , 5th International Conference of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (FFHMT'18) Niagara Falls, Canada – June 7 – 9, 2018