

FRI-9.3-1-THPE-09

---

## CFD ANALYSIS FOR CAVITATION FLOW THROUGH A CONVERGING-DIVERGING NOZZLE

---

**Eng. Georgi Panchev**

Department of Power Engineering,  
Technical University of Gabrovo, Bulgaria  
Tel.: +359 (0)66 827 393  
E-mail: gpanchev@tugab.bg

**Assoc. Prof. Hristo Hristov, PhD**

Department of Power Engineering,  
Technical University of Gabrovo, Bulgaria  
Tel.: +359 (0)66 827 393  
E-mail: christo@tugab.bg

***Abstract:** Converging-diverging nozzles (Venturi tubes) play a very important role in various engineering fields. Due to its specific geometric dimensions, this CD is used to determine and visualize the conditions under which the cavitation phenomenon arises. In this paper, a numerical CFD (Computational Fluid Dynamics) method is used to simulate the internal flow field passing through the CD nozzle and the conditions in which cavitation occurs, the working fluid being a hydraulic oil. The ultimate volume method is used to convert differential equations from fluid mechanics into algebraic equations using the first order sampling approach. To solve the pair of pressure-velocity dispersion equations, a typical SIMPLE algorithm was used. In the present work the conditions in which cavitation occurs in a converging-diverging nozzle are discontinued. Results can be used to prevent this process from being triggered in various hydraulic machines.*

***Keywords:** Cavitation, CFD, GPS, Venturi tubes.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Кавитационните изследвания при хидравличните машини са определящи за работата им, като влияе негативно на коефициентът на полезно действие и значително съкращава техния живот. За изследването на условията на възникването ѝ успешно се използват CFD модели. Най-простия пример за изследване на кавитация е през стесняващо-разширяващо се дюза /тръбата на Вентури/. При непрекъснато флуидно течение сумата от всички форми на енергия е еднакъв във всички точки - общата кинетична енергия и потенциалната енергия остават постоянни. По този начин нарастването на скоростта на течността става пропорционално с увеличаването както на динамичното налягане, така и на кинетичната енергия, както и на намаляването на нейното статично налягане и потенциалната енергия (Kumar J., Singh J., Kansal H., Narula G., Singh P. 2014).

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### CFD моделиране на CD дюза.

В настоящия статия е използван един от комерсиалните софтуери за числено моделиране (CFD софтуер) ANSYS FLUENT 18.2. Прилага се математичният метод на крайните обеми, за да преобрзува диференциалните уравнения от механиката на флуидите в алгебрични уравнения, като се използва подходът на дискретизация от първи ред. За решаване на двойката наналягане-скорост дисперсни уравнения, е използван алгоритъм SIMPLE, в който конвергентната стойност, която е разликата между две променливи стойности на съчетание от редуване, е по-малка от  $10^{-4}$ .

Освен уравнението за непрекъснатост (1) и уравнението на Навие-Стокс (2) се добавя и уравнението на Рейнолдс за турбулентност на течението. В Декартова координатна система уравненията имат имат следния вид

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u U) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + F_x$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v U) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + F_y \quad (2),$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w U) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w + F_z$$

където  $t$  е времето,  $U$  е вектор на скоростта на потока,  $u, v, w$  са стойностите на  $U$  по трите направления  $x, y, z$ ;  $\rho$  и  $\mu$  са съответно плътността и коефициента на динамичния вискозитет на протичащия флуид (в този случай хидравлично масло);  $p$  е налягането на хидравличното масло в един безкрайно малък обем от флуида;  $F_x, F_y, F_z$  са масовите сили на флуидната частица по направления  $x, y, z$ .

Като се отчете гравитационната се получава:

$$F_x = 0, F_y = 0, F_z = -\rho g$$

В стандартен  $k$ - $\varepsilon$  турбулентен модел, изразът на кинетичната енергия на турбулентния поток  $k$  и степента на дисипацията  $\varepsilon$  са представени както следва:

$$k = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad \varepsilon = 2\nu(s_{ij}s_{ij}) = \nu \left\{ \left\langle \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right\rangle + \left\langle \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right\rangle \right\},$$

където  $u', v', w'$  са пулсационните компоненти на вектора на скоростта по направление на трите оси  $x, y, z$ .

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (4)$$

Стойността на останалите компоненти в уравнения (3) и (4) може да бъде видяно в (ANSYS 2013) и (Zwart, P. J., Gerber, A. G., and Belamri, T. A. 2004).

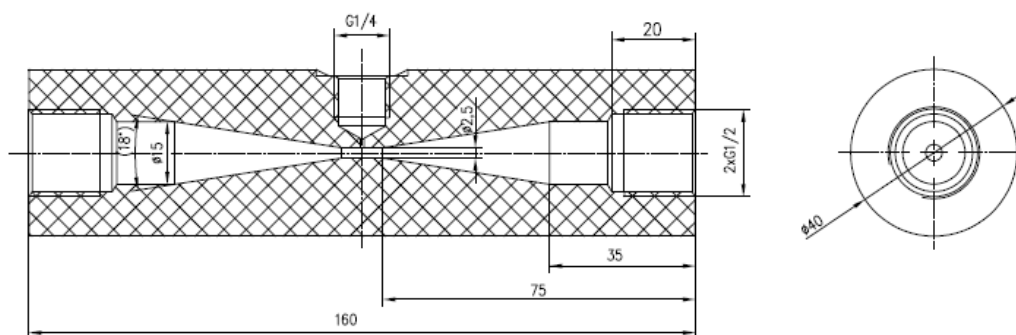
Моделът на кавитация, използван за симулациите, е този, разработен от Zwart, P. J., Gerber, A. G., and Belamri, T. A. 2004), като в течаща течност с нулева скорост на приплъзване между течността и мехурчетата, уравнението на динамиката на мехурчетата може да се изведе от общото уравнение на Rayleigh-Plesset

$$\frac{p_B(t) - p_\infty(t)}{\rho_L} = R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{4\nu_L}{R} \frac{dR}{dt} + \frac{2S}{\rho_L R}. \quad (5)$$

Като се пренебрегнат членовете от втори порядък и силата на повърхностното напрежение, уравнение (5) добива вида:

$$\frac{DR}{Dt} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_B - p_\infty}{\rho_L}}. \quad (6)$$

По-подробна информация за възникването и разрастването на кавитацията при различни условия, както и още числени модели могат да се намерят в (Brennen, С.Е. 1995) и (Franc, J. P., Michel, J.M., 2004).

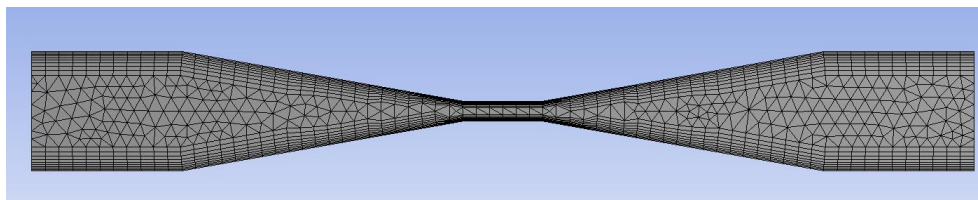


Фиг. 1. Схема на експерименталната стесняващо-разширяваща се дюза

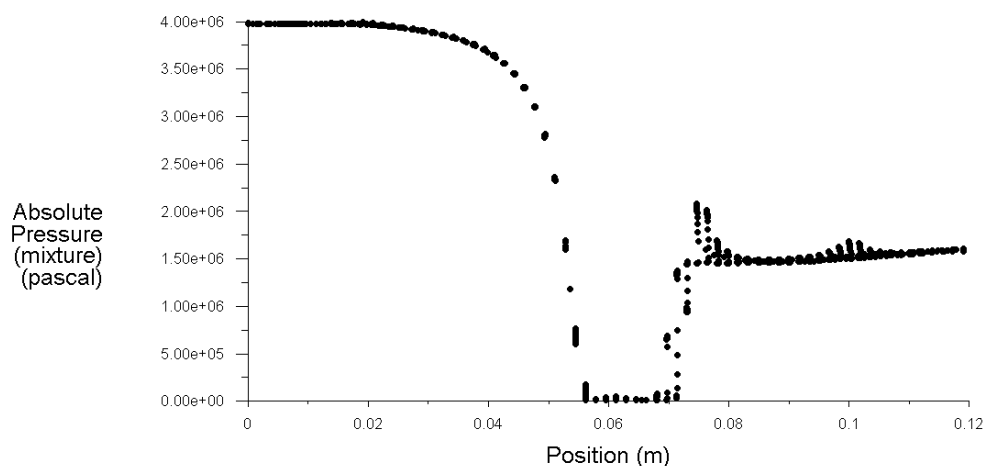
### Резултати

На Фиг.1 е представено графично изображение със съответните размери на физическият и виртуален модел на CD дюзата. Като работният флуид (хидравлично масло) постъпва от ляво на дясно. Както е описано в точка 2, използваната среда за симулиране на поведението, на течението е ANSYS FLUENT 18.2. Подходът е следния:

- Първо се създава геометрията на дюзата в модула DesignModeler на база размерите от Фиг. 1. Поради симетрията на CD дюзата геометричният модел на дюзата е 2D.
- Пристъпва се към генериране на мрежа от крайни обеми, като в граничния пристенен слой мрежата се насища с елементи както е представено на Фигура 2. Мрежата се състои от 1758 елемента и 1605 възела с размери на елементите не по-големи от 1.74 mm.
- В Setup модула се задават граничните условия. Протичащият през дюзата работен флуид е хидравлично масло МНМб-32. Налягането на входа на дюзата е 39 bar ( $39 \times 10^5$  Pa), а на изхода 15 bar ( $15 \times 10^5$  Pa). Численото решение е описано в точка 2, като се приемат условията в които протича процеса да бъдат изотермични и температурата на маслото да е 40°C.

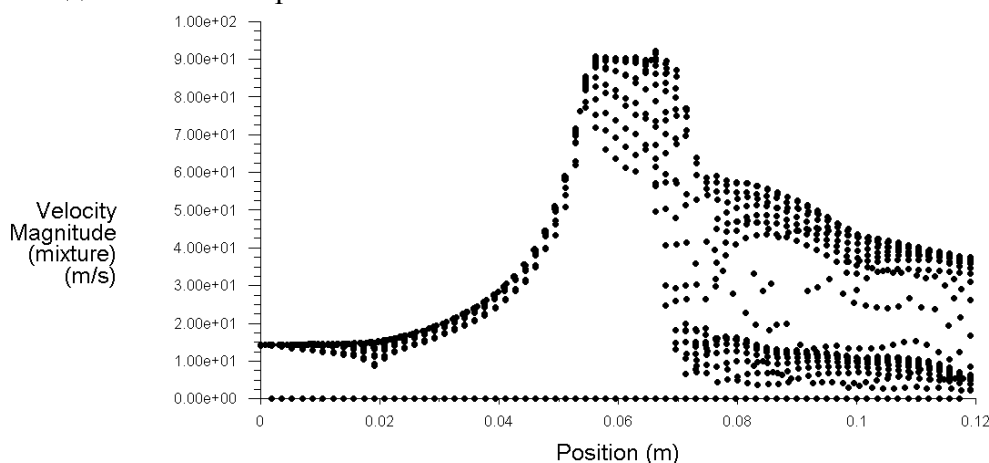


Фиг. 2. Мрежа от крайни обеми на CD дюзата

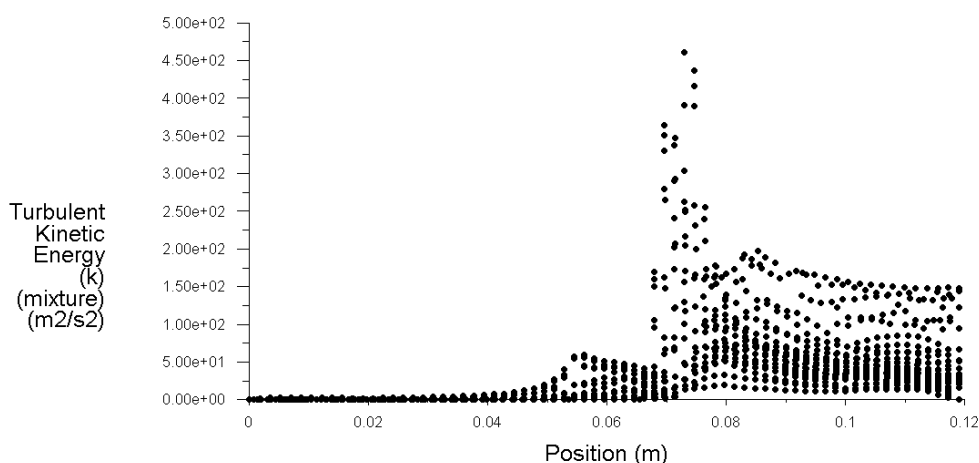


Фиг. 3. Разпределение на налягането по продължение на тръбата

Резултатите от численото решение в Solution модула са получени на 64-ботов компютър с процесори 2xIntel Xeon 6-Core E5 2620 2.0 GHz и RAM 64 GB. По-долу са представени графиките на разпределение на валичните по продължение на стесняващо-разширяващата се дюза, като на Фиг. 3, Фиг. 4 и Фиг. 5 са показани изменението на налягането, скоростта и турбулентната кинетична енергия, а на фиг. 6 разпределението на дисипацията по дължината на тръбата.

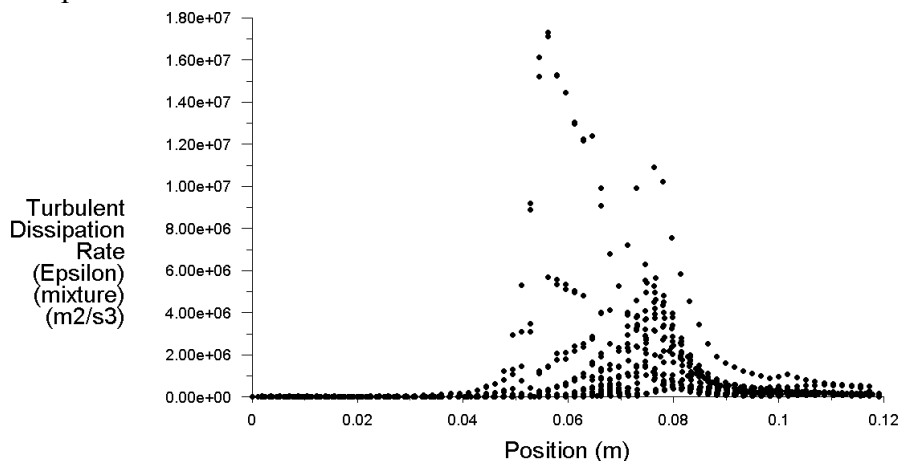


Фиг. 4. Разпределение на скоростта по продължение на тръбата

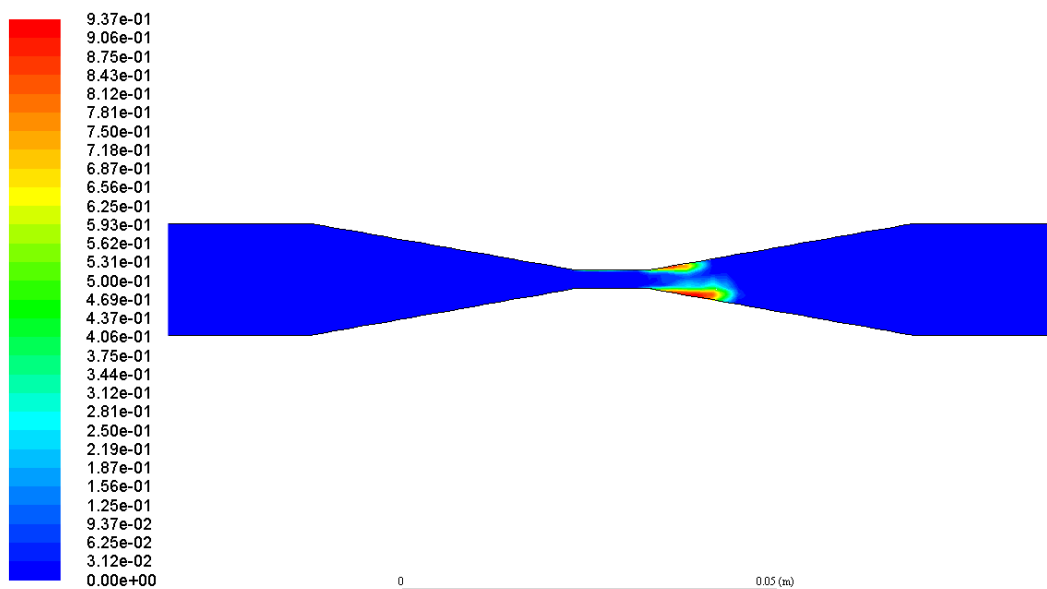


Фиг. 5. Разпределение на турбулентната кинетична енергия  $k$

На Фиг. 7 са показани зоните, в които се е образували наситени пари в следствие кавитацията на хидравличното масло.



Фиг. 6. Разпределение на дисипацията  $\epsilon$



Фиг. 7. Обемно съдържание на пари мехури.

## ИЗВОДИ

На база изчислителната механика на флуидите могат да се симулират течения на флуиди при различни условия, като получените резултати да се използват с цел повишаване КПД-то на конструкциите. В настоящата статия са преразглеждани условията при които възниква кавитацията в стесняващо-разширяваща се дюза. Тези резултати могат да бъдат използвани за предотвратяване предизвикването на този процес в различни хидравлични машини.

## REFERENCES

- ANSYS *Fluent Theory Guide*, November 2013.
- Antonov, I., (2016). *Prilojna mehanika na fluidite (Оригинално заглавие: Антонов И., 2016, Приложна механика на флуидите, София).*
- Brennen, C. E., (1995). *Cavitation and Bubble Dynamics*. Oxford University Press.
- Franc, J. P., Michel, J. M., (2004). *Fundamentals of Cavitation*. Kluwer Academic Publishers.
- Huang X., Li G., Wang M. (2009) *Cfd Simulation To The Flow Field Of Venturi Injector*. In: Li D., Zhao C. (eds) *Computer and Computing Technologies in Agriculture II*, Volume 2. CCTA 2008. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 294. Springer, Boston, MA.
- Kumar J., Singh J., Kansal H., Narula G., Singh P., (2014) *CFD Analysis of Flow Through Venturi*, *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology*, 214-2017.
- Zwart, P. J., Gerber, A. G., and Belamri, T., (2004) *A two-phase flow model for predicting cavitation dynamics*. ICMF International Conference on Multiphase Flow.