

FRI-9.3-1-THPE-05

---

## NUMERICAL MODELING OF THE HEAT TRANSFER PROCESS AT MOVEMENT OF AIR IN TUBE

---

**Assist. Zhivko Kolev, PhD**

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering, “Angel Kanchev”  
University of Ruse, Bulgaria  
Tel.: +359 82 888 304  
E-mail: zkolev@uni-ruse.bg

**Assoc. Prof. Plamen Mushakov, PhD**

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering, “Angel Kanchev”  
University of Ruse, Bulgaria  
Tel.: +359 82 888 304  
E-mail: pgm@uni-ruse.bg

**Assist. Pencho Zlatev, PhD**

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering, “Angel Kanchev”  
University of Ruse, Bulgaria  
Tel.: +359 82 888 303  
E-mail: pzlatev@uni-ruse.bg

***Abstract:** In this paper, numerical modeling of heat transfer process by forced convection of atmospheric air in tube, has been presented. The process of heat transfer between the flowing fluid and the environment has been modeled. For this purpose, computer simulations have been realized using ABAQUS software. Certain peculiarities have been analyzed. The initial conditions have been determined. Different variants to perform numerical modeling of heat transfer processes in order to obtain the temperature field in the fluid and in the tube wall, have been discussed. The presented study is an initial stage of a summarized investigation of the possibilities of numerical modeling of different heat transfer processes, realized in heat exchangers.*

***Keywords:** Numerical modeling, Computer simulation, Heat transfer processes, Heat exchangers.*

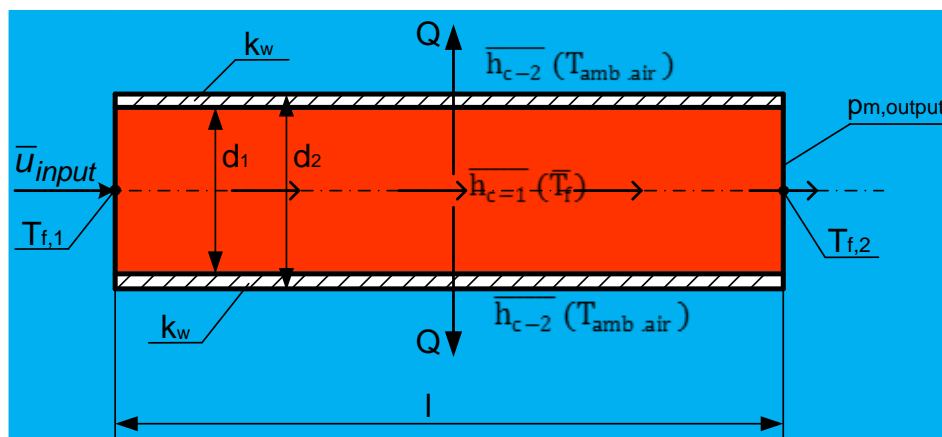
### ВЪВЕДЕНИЕ

Численото моделиране на процесите на топлообмен позволява да се получат резултати за разпределение на определени параметри, като температура, налягане, скорост и други (Bratianu, C., & Negreanu, G., 1987; Dhotre, M., & Joshi, J., 2004; Han-Taw Chen, Yu-Jie Chiu, Chein-Shan Liu, Jiang-Ren Chang, 2017; Majewski, K., & Gradziel, S., 2016; Osley, W., Droegemueller, P., Ellerby, P., 2013). Така получените резултати могат да бъдат използвани за анализиране на процесите, изчисляване на определени параметри, характеризиращи тези процеси и др. При топлообменните апарати, численото моделиране на различни топлообменни процеси, може да се използва за изчисляване на коефициенти на топлопредаване и топлопреминаване, характеризиращи ефективността на съответния топлообменен апарат. Един от специализираните софтуерни продукти, подходящ за компютърно симулиране на топлообменни процеси, е софтуерният продукт ABAQUS. Той работи на принципа на метода на крайните елементи и намира приложение в много области от инженерната практика. Целта на настоящето изследване е да се определят температурните полета във флуида и в стената на тръбата, чрез числено моделиране на топлообменните процеси. За постигане на тази цел са разгледани последователно процесът на топлопредаване между движещия се флуид и вътрешната повърхност на тръбата, и процесът на топлопроводност в стената на тръбата.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

### Обект на изследване

Обектът на изследване е процесът на топлопреминаване между флуид (атмосферен въздух), движещ се принудително в стоманен тръбопровод, и околната среда (фиг.1).



Фиг. 1. Принципно схемата на разглежданият топлообменен процес:  $T_{f,1}$  - температура на флуида в центъра на входното напречно сечение на тръбата;  $T_{f,2}$  - температура на флуида в центъра на изходното напречно сечение на тръбата;  $\bar{T}_f$  - средна температура на флуида;  $T_{amb.air}$  - температура на околната среда (околния въздух);  $d_1$  - вътрешен диаметър на тръбата;  $d_2$  - външен диаметър на тръбата;  $\bar{U}_{input}$  - средна скорост на флуида на входното напречно сечение на тръбата;  $Q$  - топлинен поток;  $p_{m,output}$  - манометрично налягане на флуида в изходното напречно сечение на тръбата;  $k_w$  - коефициент на топлопроводност на материала, от който е изработена тръбата;  $\bar{h}_{c-1}$  - среден коефициент на топлопредаване между флуида и вътрешната топлообменна повърхност на тръбата;  $\bar{h}_{c-2}$  - среден коефициент на топлопредаване между външната топлообменна повърхност на тръбата и околния въздух;  $l$  - дължина на тръбата

### Числено моделиране на процеса на топлопредаване между флуида и вътрешната топлообменна повърхност на тръбата

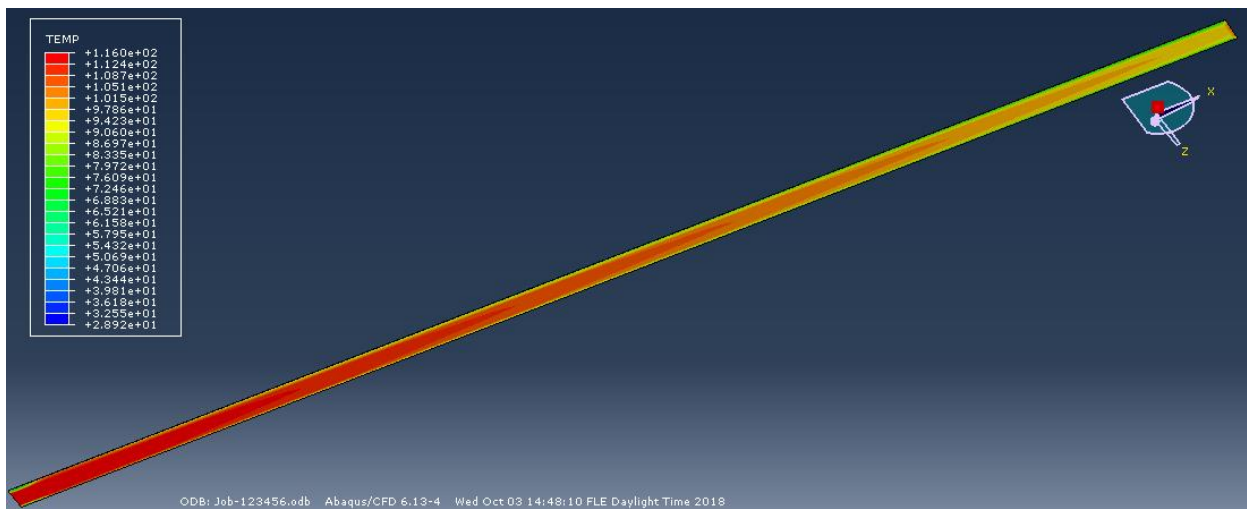
Граничните условия при осъществяване на компютърната симулация са следните:  $d_1 = 0,038$  m;  $l = 1,928$  m;  $T_{f,1} = 116$  °C;  $T_{f,2} = 105$  °C;  $\bar{U}_{input} = 7,3$  m/s;  $p_{m,output} = 0$  Pa;  $\dot{q}_{internal} = 791,6$  W/m<sup>2</sup> (специфичен топлинен поток, отдаван от флуида към вътрешната топлообменна повърхност на тръбата); неподвижна външна цилиндрична повърхност на флуида (липсва преплъзване между нея и вътрешната повърхност на тръбата).

На фиг.2 е показано полученото, в резултат на осъществена компютърна симулация, температурно поле във флуида, в централното надлъжно сечение, по дължина на тръбата.

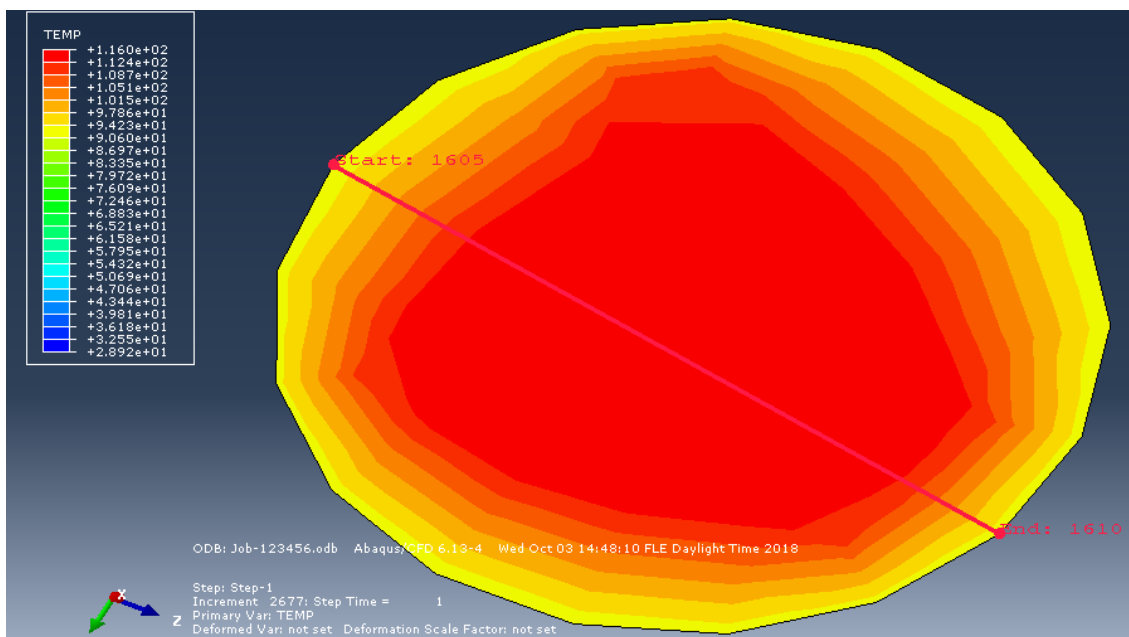
На фиг.3 е показано температурното поле в напречно сечение, намиращо се на 0,27 m от входа на тръбата. С цел, графично изобразяване изменението на температурата между две произволни точки, разположени на външната цилиндрична повърхност на флуида (вътрешната топлообменна повърхност на тръбата), е построена линия, която ги свързва.

На фиг.4 е показана графичната зависимост за изменението на температурата по построената на фиг.2 линия. По хоризонталната ос на диаграмата са изброени изчислителните клетки между двете точки.

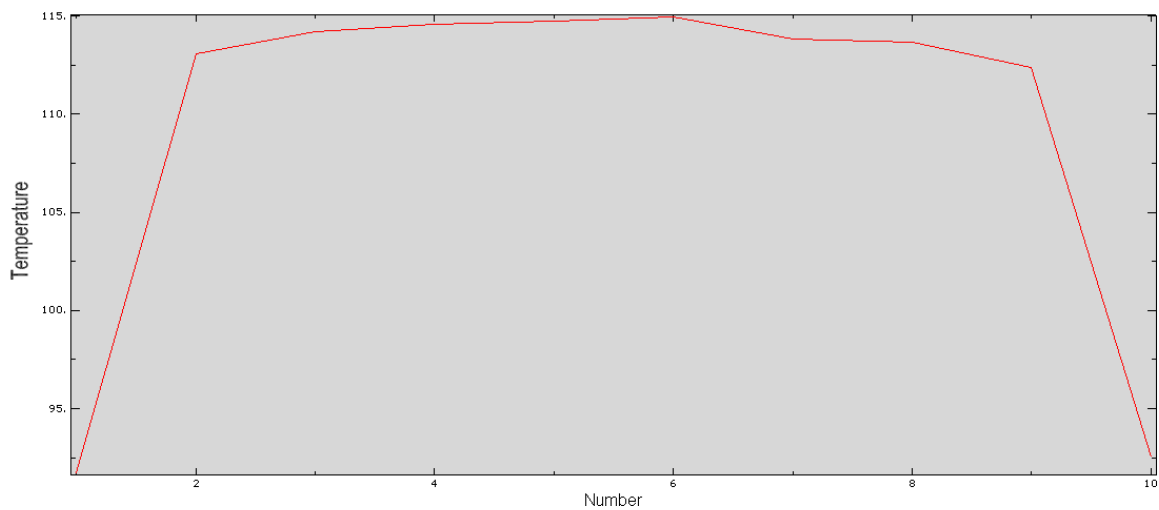
На фиг.5 е показано сравнение между измерени температури на вътрешната повърхност на тръбата, в определени напречни сечения, и получените симулационни данни за температурата по външната топлообменна повърхност на флуида (вътрешната повърхност на тръбата), в същите сечения.



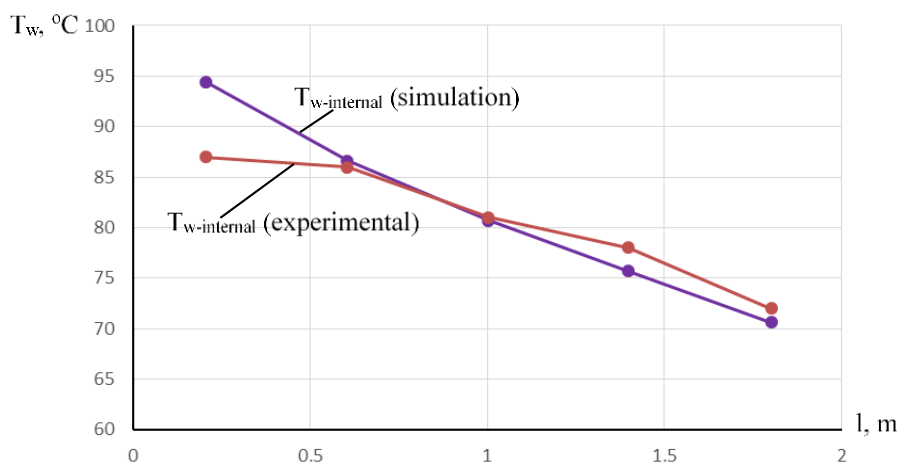
Фиг. 2. Температурно поле в централното надлъжно сечение на флуида



Фиг. 3. Температурно поле в напречно сечение на флуида, намиращо се на 0,27 m от входа на тръбата



Фиг. 4. Графично изменение температурата по дължина на построената линия, между две точки от външната топлообменна повърхност на флуида



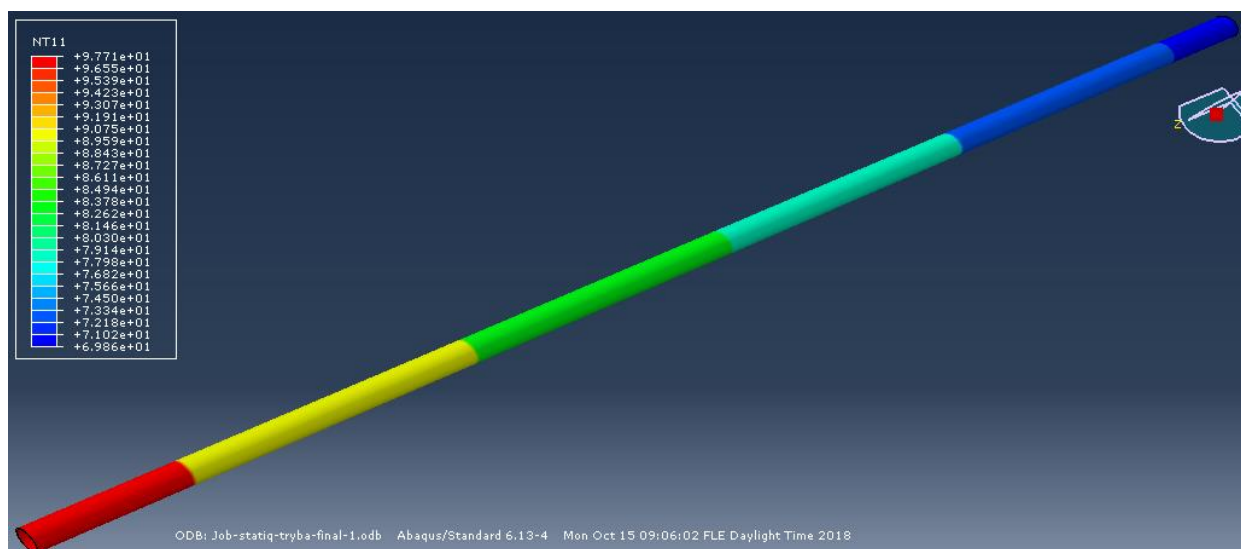
Фиг. 5. Сравнение между експериментални и симулационните данни за температурата по вътрешната топлообменна повърхност на тръбата:  $T_{w\text{-internal}}$  (experimental) – експериментално определена температура;  $T_{w\text{-internal}}$  (simulation) – температура, определена като резултат на извършената компютърна симулация на флуида

От резултатите, показани на фиг.5 се вижда, че изменението на симулационно определената температура по дължина на тръбата, е почти линейно. Една от причините за получената разлика между експерименталните и симулационните резултати (особено отчетлива в близост до входа на тръбата) е това, че температурите  $T_{w\text{-internal}}$  (simulation) са изчислени като средни стойности по отношение на общо 17 надлъжни сечения, докато температурите  $T_{w\text{-internal}}$  (experimental) са измерени само в едно надлъжно сечение.

#### Числено моделиране на процеса на топлопроводност в стената на тръбата

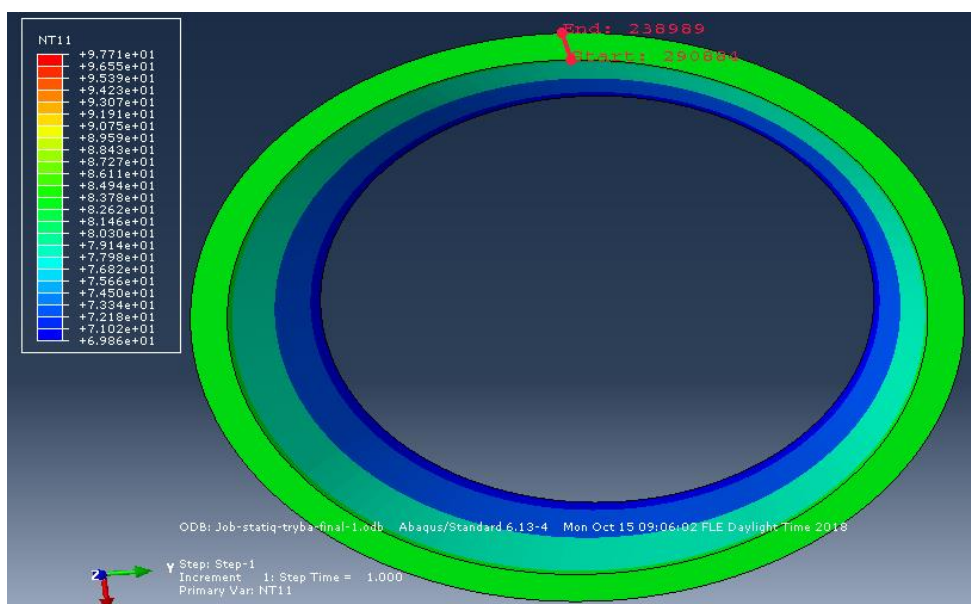
Граничните условия, при осъществяване на компютърната симулация са следните:  $d_1 = 0,038 \text{ m}$ ;  $d_2 = 0,042 \text{ m}$ ;  $l = 1,928 \text{ m}$ ;  $k_w = 45 \text{ W/(m.K)}$ ;  $\dot{q}_{\text{external}} = 461,2 \text{ W/m}^2$  (специфичен топлинен поток, отдаван от външната топлообменна повърхност на тръбата към околната среда);  $T_{w\text{-internal}}$  (simulation) – температура на вътрешната топлообменна повърхност на тръбата, получена като резултат от симулацията на флуида.

На фиг.6 е показано полученото, в резултат на осъществена компютърна симулация, температурно поле на външната топлообменна повърхност на тръбата. При тази симулация са използвани изчислени средни температури  $\overline{T_{w\text{-internal}}}$  (simulation) в няколко зони по дължина на тръбата.



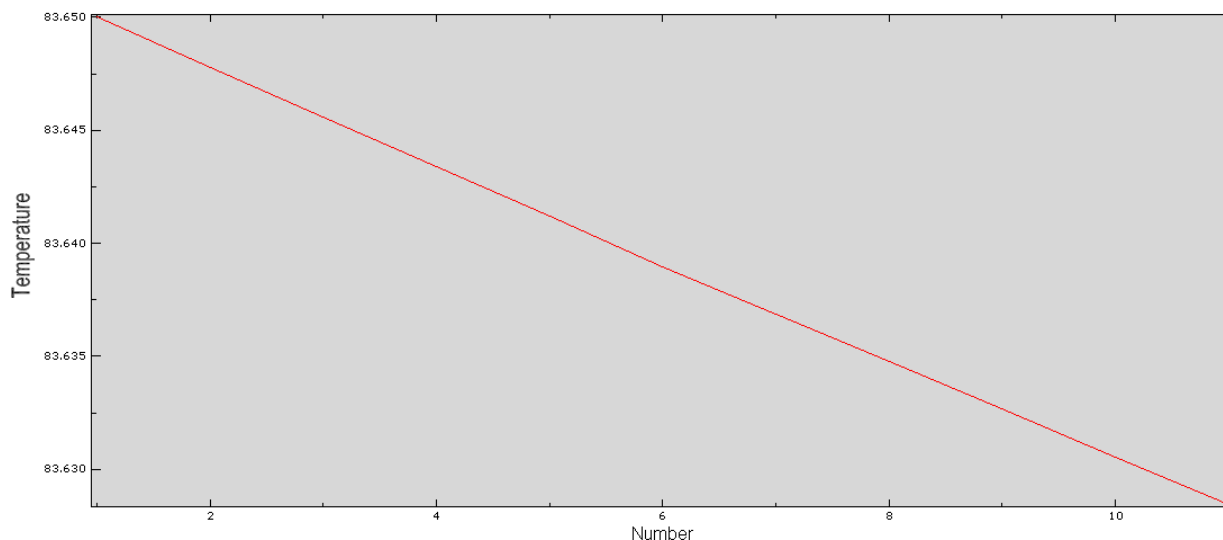
Фиг. 6. Температурно поле на външната топлообменна повърхност на тръбата

На фиг.7 е показано температурното поле в напречно сечение, намиращо се на 0,964 m от входа на тръбата.



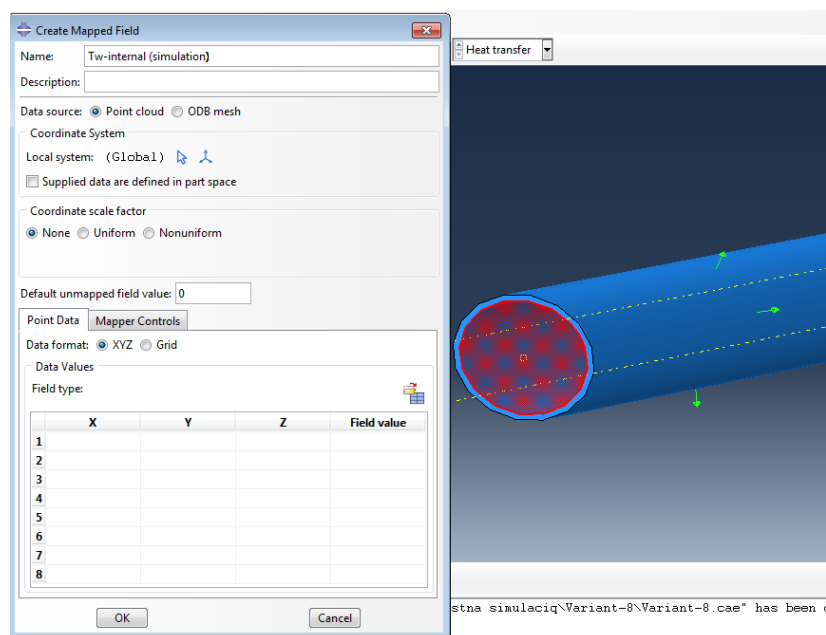
Фиг. 7. Температурно поле в напречно сечение, намиращо се на 0,964 m от входа на тръбата

На фиг.8 е показана графичната зависимост за изменението на температурата по изобразената на фиг.7 линия през стената на тръбата.



Фиг. 8. Графично изменение температурата през стената на тръбата

Причината за сравнително малката температурна разлика в стената на тръбата (фиг.7 и 8) е малката стойност на термичното съпротивление. За да се постигне по-голяма точност на осъществяване на симулацията на процеса на топлопроводност в тръбата, е възможно да бъдат зададени средни температури  $T_{w\text{-internal}}(\text{simulation})$  в голям брой напречни сечения (фиг.6). Като се има предвид, обаче, че в дадено напречно сечение температурата по външната повърхност на флуида (вътрешната повърхност на тръбата) има различни стойности в различни надлъжни сечения (фиг.2 и 3), възниква необходимостта при отчитането на получените резултати от симулацията на процеса на топлопредаване между флуида и вътрешната повърхност на тръбата, температурата  $T_{w\text{-internal}}(\text{simulation})$  да бъде отчетена като масив от данни, който да бъде въведен като гранично условие при осъществяване на симулацията на процеса на топлопроводност в стената на тръбата (фиг.9).



Фиг. 9. Възможност за задаване на температурата  $T_{w\text{-internal}}$  (simulation) като масив от данни

## ИЗВОДИ

Симулационните резултати за температурата  $T_{w\text{-internal}}$  са сравнително близки до експериментално получените, като изключение прави напречното сечение, близо до входа на тръбата, в което при симулацията се получава по-голяма интензивност на процеса на топлообмен между движещият се флуид и вътрешната повърхност на тръбата.

Чрез отчитане на масив от данни за получени като резултат от дадена симулация температури и задаването им като входни данни за осъществяване следваща симулация, могат да бъдат получени резултати за разпределение на температурата и на други параметри при процеси на толопреминаване или на толопроводност през многослойни стени, което е особено полезно при изследване на различни толообменни апарати.

## REFERENCES

Bratianu, C., & Negreanu, G. (1987). *Finite-element numerical applications to nonlinear thermal fields generated in power installations*. Politechnical University of Bucharest, Bucharest, Romania. *Energetica*, 35 (3), pp.118-125.

Dhotre, M., & Joshi, J., (2004). *CFD Simulation of Heat Transfer in Turbulent Pipe Flow*. Institute of Chemical Technology, University of Mumbai, India. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie0342311>.

Han-Taw Chen, Yu-Jie Chiu, Chein-Shan Liu, Jiang-Ren Chang, (2017). *Numerical and experimental study of natural convection heat transfer characteristics for vertical annular finned tube heat exchanger*. Department of Mechanical Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan; Center for Numerical Simulation Software in Engineering and Sciences, College of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing, China; Department of Systems Engineering and Naval Architecture, National Taiwan Ocean University, Taiwan. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 109, pp. 378–392.

Majewski, K., & Gradziel, S., (2016). *CFD Simulation of Heat Transfer in Internally Helically Ribbed Tubes*. Cracow University of Technology, Cracow, Poland. *Chemical and Process Engineering*, 37 (2), pp.251-260.

Osley, W., Droegemueller, P., Ellerby, P., (2013). *CFD Investigation of Heat Transfer and Flow Patterns in Tube Side Laminar Flow and the Potential for Enhancement*. Cal Gavin Limited, Minerva Mill Innovation Center, Warwickshire, UK. *Chemical Engineering*, 35, pp.997-1002.