

HŐÁTADÁSI TÉNYEZŐK KÖZVETETT MEGHATÁROZÁSA DUPLIKATÚRÁS KÉSZÜLÉKEK KÖPENYTERÉBEN

INDIRECT DETERMINATION OF THE CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENTS IN JACKETED REACTOR SHELL CHAMBER

Venczel Gábor*, Dr. Szepesi Gábor**, Dr. Siménfalvi Zoltán***

ABSTRACT

During the heat transfer process the convective heat transfer coefficients can be determined if adequate data are available. In the relevant literature we found empirical equations for the mixture tank with jacket cooling. In this paper we show two methods to calculate the convective heat transfer coefficients.

A rendelkezésre álló adatok alapján azt feltételezzük, hogy a munkatérben a fal mentén kialakuló kevert folyadékszint magassága megegyezik a köpenyben a hűtővíz szintmagasságával. Az adathalmaz tehát az alábbi quasi-stacioner összetartozó adatokat tartalmazza: a köpenytérbe érkező hűtővíz hőmérséklete (t_{Hbe}), a köpenytérből kilépő hűtővíz hőmérséklete (t_{Hki}), a hűtővíz térfogatárama (H) és a munkatér hőmérséklete (t_R).

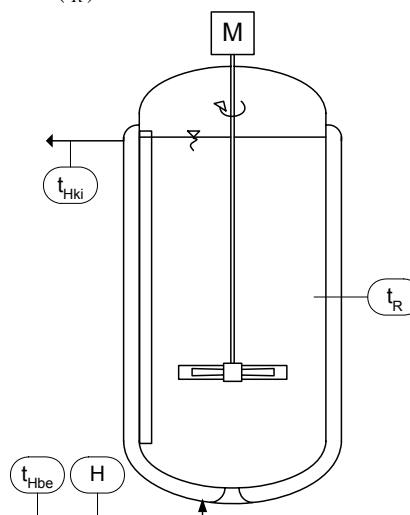
1. BEVEZETÉS

A hőátviteli folyamatok számítása során a hőátadási tényezők kritériális egyenletekből határozhatók meg, amennyiben a szükséges geometriai és műveleti adatok, valamint az anyagtulajdonsági jellemzők rendelkezésre állnak. Az 1. ábrán vázolt duplikatúrás keverős készülék hőátviteli folyamatának a jellemzésére mindössze négy mért adat áll a rendelkezésünkre. A cikkben egy olyan számítási eljárást ismertetünk, amely segítségével a mért üzemi adatokból meghatározhatóak a hőátadási tényezők.

2. A VIZSGÁLT KÉSZÜLÉK JELLEMZÉSE

A munkatérben lejátszódó reakció exoterm folyamat, ezért a reakcióhőt el kell távolítani, hogy a munkatér hőmérséklete az előírt érték legyen. A szabad készülék felületektől eltekintve a berendezésből az energia elvonás a duplikatúrán keresztül valósul meg. A munkatér állandó hőmérséklete a köpenytérbe érkező t_{Hbe} hőmérsékletű hűtővíz mennyiségének szabályozásával biztosított. A szabályozókörök és mérőberendezések regisztrált értékeiből nagy mennyiségű diszkrét mérési adatok képezik az elemzés alapját.

A munkatér homogenitását lapkeverő biztosítja, melynek fordulatszámát a folyamat alatt végig állandó.



1. ábra. A vizsgált készülék modellje

3. HÖELVONÁS A KÉSZÜLÉKBŐL

A készülékből időegység alatt elvont energia (\dot{Q}) (hőáram) az energiaegyenletből számítható. A számítással meghatározható, hűtővízzel elvont energia nemcsak a készülék belső teréből elvont hőt, hanem a környezettel érintkező falon keresztül elvont hőt is tartalmazza. Elvégzett számításaink szerint ez az érték az elvont energia 1-2 %-a, és ezért elhanyagolhatjuk. A

* tanársegéd, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

*** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

felületi hőcserélők alapegységéből a köpeny közepes hőátadó felülete (A_h) és a hőmérsékletesés (Δt_{ln}) ismeretében a hőátviteli tényező (k) meghatározható [3].

A hőátviteli tényező értékét a hőátvitelben szerepet játszó három részfolyamat határozza meg:

- a munkatérben lévő közeg és a köpenyfal közötti hőátadás (α_b),
- a köpenyfal hővezetése $\left(\sum_{i=1}^2 \frac{s_i}{\lambda_i} \right)$,
- a köpenyfal és a hűtővíz közötti hőátadás (α_k).

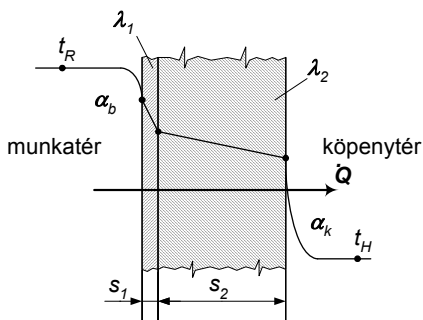
A többretegű hengeres falra vonatkozó (1) egyenletből a készülék hőátviteli tényezője meghatározható:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b \cdot \frac{A_b}{A_h}} + \sum_{i=1}^2 \frac{s_i}{\lambda_i \cdot \frac{A_i}{A_h}} + \frac{1}{\alpha_k \cdot \frac{A_k}{A_h}}} \quad (1)$$

ahol:

- α_b a munkatérre jellemző hőátadási tényező;
- α_k a köpenytérre jellemző hőátadási tényező;
- s_i a készülékfal i -edik rétegének a vastagsága;
- λ_i a készülékfal i -edik rétegének a hővezetési tényezője;
- A_b a készülék belső hőátadó felülete;
- A_k a készülék külső hőátadó felülete;
- A_i a készülékfal i -edik rétegének közepes hőátadó felülete.

A (1) összefüggésben szereplő, a köpenyfalra vonatkozó értékek állandóak, a munkatéri és a köpenyoldali hőátadási tényezők az üzemeltetési körülményektől függően változóak lehetnek. A 2. ábrán a jellemző hőmérsékletváltozás látható a köpenyben és a környezetben.

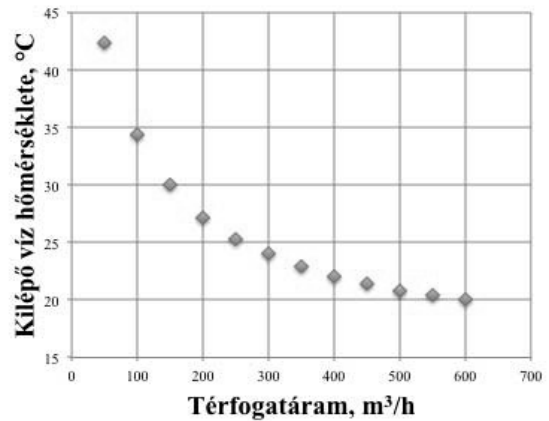


2. ábra. Hőmérsékletváltozás a köpenyben

4. HŐÁTADÁSI TÉNYEZŐK MEGHATÁROZÁSA

Az időegység alatt elvont hő mennyisége természetesen függ a hűtővíz mennyiségétől, ezáltal a hőátviteli tényező értéke is függ tőle [3]. Az (1) összefüggést megvizsgálva ez azt jelenti, hogy a hőátviteli tényező változását a külső hőátadási tényező változása eredményezi.

Nyilvánvaló, hogy a belső hőátadási tényező a folyamat során állandónak tekinthető. A köpenytéri hőátadási tényezőjének meghatározására a szakirodalom igen sok összefüggést közöl. A Reynolds-szám (Re) a hűtővíz térfogatáramának a függvényében számolható.



3. ábra. Kilépő hűtővíz hőmérsékletének változása

Feltételezve, hogy a köpenytérben turbulens áramlás alakul ki, a hőátadási tényező meghatározására a turbulens áramlásra vonatkozó (2) kritériális összefüggést közöljük.

$$Nu = A \cdot Re^B \cdot Pr^C \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{fal}} \right)^D \quad (2)$$

ahol: Nu Nusselt-szám: $Nu = \frac{\alpha_k \cdot d_e}{\lambda}$

Pr Prandtl-szám: $Pr = \frac{c \cdot \eta}{\lambda}$

A, B, C, D állandók.

A hőátviteli tényező meghatározására vonatkozó (1) összefüggés átalakításával nyerhető (3) kifejezést alapul véve következtetés vonható le a hőátadási tényezőkre.

$$\frac{1}{A_h \cdot k} - \sum_{i=1}^2 \frac{s_i}{A_i \cdot \lambda_i} = \frac{1}{A_b \cdot \alpha_b} + \frac{1}{A_k \cdot \alpha_k} \quad (3)$$

A köpenytéri hőátadási tényező a (2) összefüggés alapján a Nusselt-számból számítható. Az anyagjellemzőket állandónak tekintve az α_k a köpenytérbe belépő hűtővíz térfogatáramától függ:

$$\alpha_k = E \cdot \text{Re}^B \quad (4)$$

A (4) összefüggésben az E állandó az anyagi jellemzőkből és a geometriai méretekből adódó érték, a B állandó az köpenytérbe belépő H térfogatáramból adódó sebesség hatványkitevője.

Az α_b belső hőátadási tényező állandónak tekinthető. Bevezetve a

$$y = \frac{1}{A_h \cdot k} - \sum_{i=1}^2 \frac{s_i}{A_i \cdot \lambda_i} \quad (5)$$

$$x = \frac{1}{\text{Re}^B} \quad (6)$$

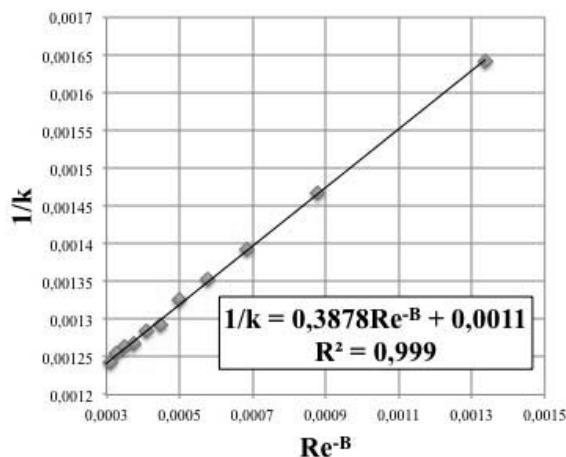
$$a = \frac{1}{A_k \cdot E} \quad (7)$$

$$b = \frac{1}{A_b \cdot \alpha_b} \quad (8)$$

jelöléseket a (4) összefüggés a következő formában írható fel:

$$y = a \cdot x + b \quad (9)$$

A (9) összefüggés lehetőséget teremt arra, hogy ismert, összetartozó y_i és x_i értékek esetén az a és b állandók a regressziós egyenes segítségével meghatározhatók legyenek. A vonatkozó szakirodalom a Reynolds-szám hatványkitevőjére $B = 0,8$ értéket javasol ([4] 103. old.). Esetünkben – téglalap keresztmetszetű áramlási csatornában – a kitevő értéke $B = 0,61$ -re adódott.



4. ábra. Regressziós egyenes

A számítások eredményét a 4. ábrán mutatjuk be. Az ábrán feltüntettük a hőátadási tényező számításához

szükséges állandók regresszióval meghatározott értékeit.

A (3-9) és a meghatározott regressziós egyenes egyenletekből a köpenytéri hőátadási tényező a köpenytérbe belépő térfogatáram függvényében meghatározható. A munkatéri hőátadási tényező b ismeretében számítható a (8) összefüggésből.

5. HŐÁTADÁSI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSA KRITÉRIÁLIS EGYENLETEK SEGÍTSÉGÉVEL

A hőátviteli tényező (k) számítása során a hőátadási tényező meghatározása nehézségekbe ütközhet. A problémát az okozza, hogy a hőátadási tényező nem csupán az áramló közeg anyagi tulajdonságaitól, hanem az áramlási viszonyoktól, sebességi állapottól és hőmérséklettől is függ. A vegyipari és áramlástani műszaki gyakorlatban általánossá vált, hogy mérések segítségével, hasonlósági kritériumokból előállított kritériális egyenlettel írjuk le a keresett függvényt. Ezen eljárást felhasználva, a (2)-es egyenlet segítségével közelítő függvényt állítunk fel a köpenytéri hőátadási tényező meghatározására. A keresett függvény:

$$\text{Nu} = A \cdot \text{Re}^B \cdot \text{Pr}^C \quad (10)$$

ahol a keresett paraméterek: A, B, C állandók.

A fenti ismeretlen paraméterek meghatározásához a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazhatjuk. Matematikailag megfogalmazva, az alábbi feltételes szélsőérték feladat megoldását keressük:

$$\psi(A, B, C) = \sum_{i=1}^n (\text{Nu}_{m,i} - \text{Nu}_{c,i})^2 \rightarrow \min \quad (11)$$

ahol $\text{Nu}_{c,i} = A \cdot \text{Re}_i^B \cdot \text{Fr}^C$ a keresett paraméterekből számolt Nu-szám, míg a $\text{Nu}_{m,i}$ az i -ik mérési ponthoz tartozó Nu-szám.

A megoldandó algebrai egyenletrendszer:

$$\frac{\partial \psi(A, B, C)}{\partial A} = 0, \quad (12)$$

$$\frac{\partial \psi(A, B, C)}{\partial B} = 0, \quad (13)$$

$$\frac{\partial \psi(A, B, C)}{\partial C} = 0, \quad (14)$$

A feltételek: $A, B, C \neq 0, A, B, C > 0$.

A differenciálhányadosok (15-17):

$$\frac{\partial \psi}{\partial A} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n (Nu_{m,i} - [A' + B \ln Re_i + C \ln Pr_i]) = 0$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial B} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n (Nu_{m,i} - [A' + B \ln Re_i + C \ln Pr_i]) \cdot \ln Re_i = 0$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial C} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n (Nu_{m,i} - [A' + B \ln Re_i + C \ln Pr_i]) \cdot \ln Pr_i = 0$$

ahol $A' = \ln A$.

A feltételeket vektoros alakban írva:

$$g(X) = [-A \quad -B \quad -C]^T < 0 \quad (18)$$

Formálisan a feltételes szélsőérték feladat:

$$\psi(X) \rightarrow \min, \quad g(X) < 0 \quad (19)$$

A megoldáshoz használható a büntetőfüggvényes technika:

$$\Phi(X, \sigma) = \psi(X) + \sigma \sum_{y=1}^c \{ \max(g_y(X), 0) \}^2 \quad (20)$$

Az eljárás konvergens, ha σ sorozatnak a $\sigma_k = 10^{k-1}$ -et választunk.

A feladat megoldásához Matlab eljárást készítettünk, mely a Nelder-Mead eljárást használja az egyenletrendszer megoldásához. A szélsőérték feladat megoldása szolgáltatja az alábbi kritériális egyenletet a külső hőátadási tényező számításához szükséges Nu-szám meghatározására:

$$Nu = 0,21 \cdot Re^{0,633} \cdot Pr^{0,326} \quad (21)$$

A mért és számított eredmények közötti különbséget az 1. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatból látható, hogy a (21) egyenlettel meghatározott Nu és a mért értékek közötti különbség 5%-nál kisebb.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A hőátviteli folyamatok számítása során a hőátadási tényezők kritériális egyenletekből határozhatók meg, amennyiben megfelelő adatok állnak rendelkezésre. Köpenyhűtéssel ellátott keverős készülékekre vonatkozó összefüggések az ide vonatkozó irodalomban megtalálhatóak, amelyek esetünkben pontosításra

szorultak. Bemutattunk egy módszert, amellyel meghatározhatóak a hőátadási tényezők mérési adathalmaz segítségével. Megalkottunk egy olyan kritériális egyenletet, amely alkalmas köpenytéri, téglalap keresztmetszetű áramlási csatorna hőátadási tényezőjének meghatározására.

Ssz	Re	Nu _m	Nu _c	Hiba
1	51 323	390,36	378,64	3,01%
2	102 647	592,00	587,15	0,82%
3	153 970	761,76	758,93	0,38%
4	205 293	891,41	910,49	-2,14%
5	256 617	1014,84	1048,60	-3,33%
6	307 940	1222,29	1176,86	3,72%
7	359 263	1282,33	1297,47	-1,18%
8	410 587	1449,59	1411,89	2,60%
9	461 910	1492,64	1521,17	-1,91%
10	513 233	1599,56	1626,06	-1,66%
11	564 557	1747,73	1727,17	1,18%
12	615 880	1828,94	1824,96	0,22%

1. táblázat. Eredmények

A kutatói tanulmány a TÁMOP- 4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. IRODALOM

- [1] E.E. Wilson, A basis of rational design of heat transfer apparatus, ASME Journal of Heat Transfer 37 (1915) 47–70.
- [2] W. Nusselt, Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes, Z. Ver. Dt. Ing. 60 (1916) 541–546.
- [3] VENCZEL G.: Hőelvonás polimerizációs reaktorból. Miskolci Egyetem Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, 2003.
- [4] Donald Q. KERN: Process Heat Transfer. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1950.
- [5] H.F. Khartabil, R.N. Chistensen, D.E. Richards, A modified Wilson plot technique for determining heat transfer correlations, UK National Conference on Heat Transfer 2 (1998) 1331–1357.
- [6] T.B. Styrylska, A.A. Lechowska, Unified Wilson plot method for determining heat transfer correlations for heat exchangers, ASME Journal of Heat Transfer 125 (2003) 752–756.

CONTENTS

1. Kamondi L.
Innovative mechanical engineering product development 3
Quick and economic solution of the product functions needs large research works and strict quality management. In this paper some most important subjects of development- methodology and function- solution are presented, which can offer the possibility of application and orientation for the developers.
2. Ecsedi I., Baksa A.
Analytical solution of a one-dimensional steady state heat conduction problem 9
A one-dimensional steady state heat conduction problem is formulated and its analytical solution is presented. The considered one-dimensional structural component consists of straight and circular arc bar segments. The heat is generated within the solid as a result of an applied constant voltage difference. The generated heat by the constant voltage heat source is assumed to be dissipated by convection into a medium at a constant temperature.
3. Daróczy L., Jármai K.
Automatization of design of frame and truss structures using topology optimization..... 13
The current article proposes a method to fully automatize the design of truss and frame structures using topology optimization, image interpretation and finally through a sizing problem, and focuses especially on the image interpretation part by introducing a flexible and fast method to extract the cross-section and number of joints, and the number, location and type of connections between them. Finally, some examples are presented in 2D and 3D for the image interpretation.
4. Dúl R., Palotás Á.B., Jármai K., Barkóczy P.
Development of heat exchanger for domestic fireplace to preheat air for burning..... 19
In this paper authors describe the methodology used for finding an optimum solution for a welded steel heat exchanger mounted on a domestic fireplace. The heat exchanger is used to preheat the primary and secondary air necessary for burning wood logs in the fireplace. The optimization process is combined with Computational Fluid Dynamics simulation to calculate values of design variables and the aim function.
5. Farkas J., Jármai K.
Volume and cost minimization of a tubular truss with displacement constraint 23
The minimum volume and cost of a simply supported planar truss with N-type bracing is optimized. The lower chord of the truss is horizontal, but the symmetric upper chord parts are non-parallel and their inclination angle as well as the cross-sectional area of CHS (circular hollow section) rods are optimized.
6. Jármai K., Farkas J.
Minimum cost design of a cellular plate under unidirectional compression..... 29
Cellular plates consist of two cover plates and stiffeners between them. Half I-beams employed as stiffeners for fabrication purposes. The cells are very rigid, due to their high torsional rigidity. In case of unidirectional compression overall buckling constraint comes from the Huber equation. Two optimization methods have been used, the PSO, Particle swarm optimization and the IOSO, response surface methods.
7. Kota L.
Comparison of genetic programming and taboo search at the optimization of technical inspection and maintenance systems 33
This paper describes a comparison between single phase genetic programming algorithm for the fixed destination multi-depot multiple travelling salesman problem with multiple tours (mmTSP) and the generalized taboo search algorithm. This article shows the advantage of the developed genetic programming algorithm through numerous tests.
8. Kovács Gy.
Optimal design of a composite sandwich structure ... 37
This study shows the optimization method of a new complex structural model [laminated carbon fiber reinforced plastic (CFRP) deck plates with polystyrene foam (EPS) inner layer]. The structure was designed for both minimal cost and minimal weight taking into consideration 6 design constraints.
9. Vírág Z., Jármai K.
Fatigue design of stiffened plates for different shapes of ribs 41
In this overview of compressed stiffened plates with various shapes of ribs a special cost analysis has been investigated. Recommendations on fatigue of welded components of the IIW are investigated for the compressed plate. The unknown is the number of stiffeners in the optimization. The trapezoidal stiffeners had the best performance.
10. Mannheim V.
Priority order for thermic treatment processes with complex model by pops wastes..... 45
There are green chemistry methods and some other treatment approaches for decreasing the quantity of the organic industrial waste, but currently thermic treatment processes are the most popular alternatives. This paper summarises thermic utilisation processes with a comparison between the different technologies, stressing factors affecting their applicability and operational suitability.
11. Venczel G., Szepesi G., Siménfalvi Z.
Indirect determination of the convective heat transfer coefficients in jacketed reactor shell chamber..... 49
During the heat transfer process the convective heat transfer coefficients can determinate if adequate data available. In the relevant literature we found criterial equations to the mixture tank with jacket cooling. In this paper we show two methods to calculate the convective heat transfer coefficients.

GÉP

INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of
Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám

President of Editorial Board

Vesza József

General Editor

Dr. Jármai Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

Deputy

Dr. Barkóczy István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kulcsár Béla

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Rittinger János

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Cooperation in the editing:

Dr. Jármai Károly

Dear Reader,

The second issue of the journal Gép contains those researches in continuation of the first issue, which are elaborated in the 4th Centre of Excellence, entitled Innovative Mechanical Engineering Design and Technologies at the University of Miskolc and made within the framework of the TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project supported by the European Union and co-funded by the European Social Fund. The activity of the Centre of Excellence is serving the research, development, innovation and the education. The Centre aim is to develop the research potential by research in which innovative modelling, design and technological processes are implemented. This is in line with the European Union's drive to encourage innovation in the most efficient way, using environmentally friendly technologies and improve them.

The Centre of Excellence is divided into seven Scientific Workshops, which are department related. These are: Mechanical Technology, Production Engineering, Fluid and Heat Engineering, Chemical Machinery, Mechanics, Machine and Product Design and Materials Handling and Logistics Departments. The teachers involved BSc, MSc and PhD students into the research, so that they provide a good opportunity to young people to familiarize themselves with the scientific work. During the three-quarter-year of operation of the Centre of Excellence several students already provided outstanding performance and quality of so called TDK (Science Student Team) works.

The question arises that where the results can be applied? Within the Scientific Workshops there are twenty R & D topics, which are very diverse. Some of them approached the basic research, while others are more applicable in practice, some results were already visible, while others promise long-term results. In order to make these achievements to professional audiences available a considerable number of publications produced by researchers and reported in national and international conferences, national and international professional journals. Of course, the results are incorporated into the education. These articles in this journal serve the purpose to show the Scientific Workshops' latest scientific results in the Centre of Excellence.

Prof. Dr. Károly Jármai

leader of the Center of Excellence

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.
Postage-address: 3501. Pf. 55. Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1027 Budapest, Fő u. 68.

Postage-address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Internet: www.gte.mtesz.hu

Responsible Publisher: Dr. Igaz Jenő Managing Director

<http://www.gepujsag.hu>

Printed by Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67.

Price per month: 1260 Ft.

Distribution in foreign countries by Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat H-1389

Budapest, Pf. 149. and Magyar Média H-1392 Budapest, Pf. 272.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

All articles are peer reviewed.