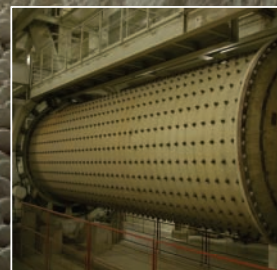


## A TARTALOMBÓL:

- Mechanikai feszültségek relaxációja a hetero-modulusú és hetero-viszkózusú komplex kerámiákban
- Nanorészecske-polimer kölcsönhatások új molekuláris megközelítése: alkalmazási példa lizofosfolipid micellapoliakrilsav rendszerre
- Az üvegszálgyártás optimalizálásának lehetséges módszerei
- Az  $Al_2O_3$ -Al porelegy keverési idejének hatása az alumínium-oxid kerámiák minőségére
- Szalmabála anyagú falak tűzvédelmi kérdései



Sika – 100 év a beton szolgálatában



## Sika – a betonminőség garanciája

Megújuló világunkban lejárt a kísérletezések időszaka. Környezetünk fenntartása érdekében kész megoldásokra van szükség, amelyek garantálják a beton tartósságát és problémamentes használatát.

Megfelelő betonminőséget ma már csak nagy szakértelemmel alkalmazott, kiváló anyagokkal lehet elérni. Megoldásaink erre épülnek, és messzemenően figyelembe veszik a gazdaságosság szempontjait is.



**Sika Hungária Kft.**

1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 6.

Tel.: (+361)3712020 Fax: (+361)3712022

E-mail: [info@hu.sika.com](mailto:info@hu.sika.com), [www.sika.hu](http://www.sika.hu)



**Innovation & Consistency** | since 1910

## TARTALOM

- 98** Mechanikai feszültségek relaxációja a hetero-modulusú és hetero-viszkózusú komplex kerámiákban  
*GÖMZE A. László ■ Ludmila N. GÖMZE*
- 102** Nanorészecske-polimer kölcsönhatások új molekuláris megközelítése: alkalmazási példa lizofoszfolid micella-poliakrilsav rendszere  
*Yves CHAPRON ■ Alain PORQUET ■ Montserrat FILELLA*
- 108** XXV. Téglás Napok  
*TÓTH-ASZTALOS Réka*
- 110** Az üvegszályártás optimalizálásának lehetséges módszerei  
*SZEMÁN József*
- 114** Beszámoló üvegipari szakmai konferenciáról  
*LIPTÁK György*
- 116** Az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al porelegy keverési idejének hatása az alumínium-oxid kerámiák minőségére  
*Anton KAYGORODOV ■ Vladimir KHRUSTOV*
- 119** ICC3 – Beszámoló a 3. Nemzetközi Kerámia Kongresszusról  
*EGÉSZ Ádám ■ MAGYAR Ádám*
- 120** Szalmabála anyagú falak tűzvédelmi kérdései  
*MÓDER István Ferenc ■ LUBLÓY Éva ■ TAKÁCS Lajos Gábor*
- 124** Egyesületi és szakhírek

## CONTENT

- 98** Mechanical stress relaxation in hetero-modulus, hetero-viscous complex ceramic materials  
*László A. GÖMZE ■ Ludmila N. GÖMZE*
- 102** New molecular approach for the simulation of nanoparticle – polymer interactions: application to the system formed by a lysophospholipidic micelle and polyacrylic acid  
*Yves CHAPRON ■ Alain PORQUET ■ Montserrat FILELLA*
- 108** 25<sup>th</sup> “Days of Brick”  
*Réka TÓTH-ASZTALOS*
- 110** Possible methods of optimising glass fibre production  
*József SZEMÁN*
- 114** Report of glass conference in Hungary  
*György LIPTÁK*
- 116** The influence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al powders stirring time on the quality of alumina based ceramics  
*Anton KAYGORODOV ■ Vladimir KHRUSTOV*
- 119** 3rd International Congress on Ceramics  
*Ádám EGÉSZ ■ Ádám MAGYAR*
- 120** Fire safety questions of straw bale walls  
*MÓDER István Ferenc ■ LUBLÓY Éva ■ TAKÁCS Lajos Gábor*
- 124** Society and professional news

**A finomkerámia-, üveg-, cement-, mész-, beton-, téglá- és cserép-, kő- és kavics-, tűzállóanyag-, szigetelőanyag-iparágak szakmai lapja**

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG • EDITORIAL BOARD

Dr. GÖMZE A. László – elnök/president  
TÓTH-ASZTALOS Réka – főszerkesztő/editor-in-chief  
Prof. dr. TALABÉR József – örökös tiszteletbeli elnök/senior president  
WOJNÁROVITSNÉ dr. HRAPKA Ilona – örökös tiszteletbeli felelős szerkesztő/senior editor-in-chief

### ROVATVEZETŐK • COLUMNISTS

Anyagtudomány • Materials science – Prof. Dr. SZÉPVÖLGYI János  
Anyagtechnológia • Materials technology – Dr. KOVÁCS Kristóf  
Környezetvédelem • Environmental protection – Prof. Dr. CSÓKE Barnabás  
Energiaüzemeltetés • Energetics – Prof. Dr. SZÜCS István  
Építőanyag-ipar • Building materials industry – Prof. Dr. TAMÁS Ferenc

### TAGOK • MEMBERS

Prof. Dr. Parvin ALIZADEH, APAGYI Zsolt,  
Prof. Dr. BALÁZS György, Dr. BOKSAY Zoltán,  
Prof. Dr. David HUI, Prof. Dr. GÁLÓS Miklós,  
Prof. Dr. Kozo ISHIZAKI, Dr. JÓZSA Zsuzsanna,  
Prof. Dr. KAUSAY Tibor, KÁRPÁTI László,  
Prof. Dr. Sergey N. KULKOV, MATTYASOVSKY ZSOLNAY Eszter, Prof. Dr. OPOCZKY Ludmilla,  
Dr. PÁLVÖLGYI Tamás, Dr. RÁCZ Attila,  
Dr. RÉVAY Miklós, Prof. Dr. Tomasz SADOWSKI,  
SCHLEIFFER Ervin

### TANÁCSADÓ TESTÜLET • ADVISORY BOARD

Dr. BERÉNYI Ferenc, FINTA Ferenc, KATÓ Aladár,  
KISS Róbert, KOVÁCS József, Dr. MIZSER János,  
SÁPI Lajos, SOÓS Tibor, SZARKÁNDI János

A folyóiratot referálja: Cambridge Scientific Abstracts, ProQuest.

A szakmai rovatokban lektorált cikkek jelennek meg.

Kiadja a Szilikátipari Tudományos Egyesület  
Székhely: 1027 Budapest, Fő u. 68.

Postacím: 1034 Budapest, Bécsi út 122-124.

Telefon és fax: +36-1/201-9360

E-mail: info@szte.org.hu

Felelős kiadó: Dr. SZÉPVÖLGYI János SZTE ELNÖK

Egy szám ára: 1000 Ft

A lap az SZTE tagok számára ingyenes.

A 2010. évi megjelenést támogatja:

„Az Építés Fejlődéséért” alapítvány

Nyomdai munkák: Sz & Sz Kft.

Tördelőszerkesztő: NÉMETH Hajnalka

Belföldi terjesztés: SZTE

Külföldi terjesztés: BATHYANY KULTUR-PRESS KFT.

### HIRDETÉSI ÁRAK 2010:

B2 borító színes	139 000 Ft + ÁFA
B3 borító színes	128 000 Ft + ÁFA
B4 borító színes	150 000 Ft + ÁFA
1/1 oldal színes	105 000 Ft + ÁFA
1/1 oldal fekete-fehér	58 000 Ft + ÁFA
1/2 oldal fekete-fehér	29 000 Ft + ÁFA

Az előfizetési és hirdetési megrendelő letölthető az SZTE honlapjáról.

A lap teljes tartalma olvasható a [www.szte.org.hu](http://www.szte.org.hu) honlapon.  
HU ISSN 00 13-970x INDEK: 2 52 50 ■ 62 (2010) 97-128

A címlapfotó a Creaton Hungary Kft. cserépgyárában készült.

### A SZILIKÁTIPIARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

#### TÁMOGATÓ TAGVÁLLALATI

3B Hungária Kft. ■ Air Liquide Kft. ■ Altek Kft. ■ Anzo Kft.  
Baranya Téglá Kft. ■ Basalt Középkő Kőbányák Kft.  
Berényi Téglai Kft. ■ Betonopus Bt. ■ Budai Téglá Zrt.  
Cemkut Kft. ■ Colas-Északkő Kft.  
Complexlab Kft. ■ Deco-Mat Kft.  
Duna-Dráva Cement Kft. ■ G&B Elastomer Trade Kft.  
Gamma-Kerámia Kft. ■ GE Hungary Kft. ■ Geoteam Kft.  
Hunext Kft. ■ Imerys Magyarország Tűzállóanyaggyártó Kft.  
Interkerám Kft. ■ Keramikum Kft. ■ KK Kavics Beton Kft.  
KŐKA Kő- és Kavicsbányászati Kft. ■ Kötés Kft.  
KTI Nonprofit Kft. ■ Kvarc-Ásvány Kft.  
Lambda Systeme Kft. ■ Libál Lajos ■ Licht-Tech Kft.  
Magyar Téglás Szövetség ■ Mályi Téglá Kft.  
Messer Hungarogáz Kft. ■ MFL Hungária Kft.  
Mineralholding Co. Ltd.  
MTA KK Anyag- és Környezetkémiai Intézet  
Nagykanizsa Téglagyár Kft. ■ OMYA Hungária Kft.  
Pannon-Perlit Kft. ■ Perlit-92 Kft.  
Saint-Gobain Construction Products Hungary Kft.  
Szema-Makó Kft. ■ SZIKKTI Labor Kft.  
Téglá- és Cserépipari Szolgáltató Kft. ■ Wienerberger Zrt.  
WITEG Kőporc Kft. ■ Xella Magyarország Kft.  
Zalakerámia Zrt. ■ Zsolnay Porcelánmanufaktúra Zrt.

# Mechanical stress relaxation in hetero-modulus, hetero-viscous complex ceramic materials

**LÁSZLÓ A. GÖMZE** ■ Department of Ceramics and Silicate Engineering, University of Miskolc  
 ■ femgomze@uni-miskolc.hu

**LUDMILA N. GÖMZE** ■ IGREX Engineering Service Ltd. ■ igrex@freemail.hu

Received: 22.11.2010. ■ Érkezett: 2010.11.22.

Hetero-modulus, hetero-viscous complex materials have several advantages in accordance to mechanical and thermal properties comparing with the traditional ceramics and ceramic matrix composites. In this paper the authors examined in details the high speed collision processes between flying metallic objects and ceramics, such as  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>ON<sub>2</sub>, SiAlON, AlN and 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>SiO<sub>2</sub> reinforced alumina matrix hybrid materials, as well as their rheo-mechanical structures and properties. Understanding the high speed collision process, material structures, rheological properties of such a complex hybrid material, the authors in this paper mathematically describe the mechanical shear stress and its relaxation during and after high speed collisions in  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>ON<sub>2</sub>, SiAlON, AlN and 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>SiO<sub>2</sub> reinforced alumina matrix composites. The dynamic strength of the developed and examined corundum matrix complex materials was tested through collision with high density metallic flying bodies, with speed higher than 900 m/sec and described in works [27, 29, 42]. Analytical methods applied in this research were scanning electron microscopy, X-ray diffraction and energy dispersive spectrometry. Digital image analysis was applied to microscopy results, to enhance the results of transformation.

Keywords: ceramics, CMC, elasticity, hybrid materials, plasticity, stress relaxation, viscosity

## 1. Introduction

In the last 15–20 years scientists, engineers and experts working in laboratories of universities and research institutes or in ceramic manufactory plants have been engaged in development of more efficient ceramic materials and items for different industrial purposes [1–4]. The sophisticated industry and technology [5–7] require higher and higher assumption against to mechanical properties, such as hardness [8–13], strength [14–20], wear resistance [21–24], toughness [25, 26] and dynamic strength [27–29]. Till today several types of ceramic materials and ceramic matrix composites (CMC) are develop with excellent mechanical properties, with high values of mechanical strength and hardness, but most of these materials have microstructures with relatively large crystals, having high rigidness and strong inclination to nick, pitting and rigid fractures. Generally materials with these kind of crystal structures do not have required dynamic strength, and they are not suitable for collisions with other materials and bodies under high speeds. Because of this substantial research has been done in ceramic industry to reduce grain size [30–34] aiming to increase the above favourable mechanical properties. However to increase mechanical properties the authors often use a simultaneous pressure during sintering applying hot isostatic pressing sintering [20, 33, 35] or spark plasma sintering [36, 37], as presence of pore in the ceramic structure results a significant decrease in its mechanical strength. To obtain high density alumina-zirconia ceramics Wang, Huang and Wu [38] used two-step sintering process, and by Hernández, Torre and R. Rangel [39] Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrix cermet were produced from mechanically mixed powders containing Al, Fe and Ti metals as reinforcements.

**László A. GÖMZE**

is head of Department of Ceramics and Silicate Engineering in the University of Miskolc since 1999. He has got scientific degree „Candidate of Technical and Engineering Sciences” at Moscow University M. I. S. I. in 1985, and has a wide range of experiments both in engineering and research works at different companies and in teaching of students at universities. Finishing the Civil Engineering University of Moscow (Russia) in 1973, L. A. Gómze started his working activity as structural engineering at the design department in Hungarian firm Building Ceramics (Épületkerámia) in Budapest. In 1986 he was already the managing director of the famous Hungarian porcelain manufactory HOLLÓHÁZA. Leaving Hollóháza in 1990 he used to work as associated professor at University of Miskolc. Laszlo A. Gómze is member of several Hungarian and international organization in fields of ceramics, material sciences and chemistry. He is member of „Kerpely Antal Doctoral School” of material sciences and technologies. Since 1996 he has successfully supervised several PhD students in fields of ceramics and ceramic matrix composites.

**Ludmila N. GÖMZE**

is the managing director of engineering service firm IGREX Ltd. Finishing the Civil Engineering University of Moscow (Russia) in 1974 she started her working activity as structural engineer at Hungarian design institution VIZITERV in Budapest. Further she continued her job as designer engineer at firm KEVITERV in city Miskolc. In her working experiments she met with the problems of productions and technologies of ceramic items at the porcelain manufactory HOLLÓHÁZA in 1987. Since then she has a wide range experiments in examination, research and development of new material compositions and technologies both of traditional and high-tech structural ceramics as well as of ceramic matrix composites. The research works of Ludmilla N. Gómze are presented in several research reports, conference publications and 5 scientific articles in different German and Hungarian journals.

Examining the material structure and excellent mechanical properties of SiAlON ceramic composites the advantages of hetero-modulus materials first was described by German scientist Dr. Hasselman and his co-authors [40] in early of 1980's. The values of Young's modulus and melting temperatures of advance materials, metal alloys and ceramics (Fig. 1.) was introduced by Igor Shabalin [41] as CE6 Session chair in Symposium ceramics and Engineering of XIV<sup>th</sup> International Clay Conference (14 ICC).

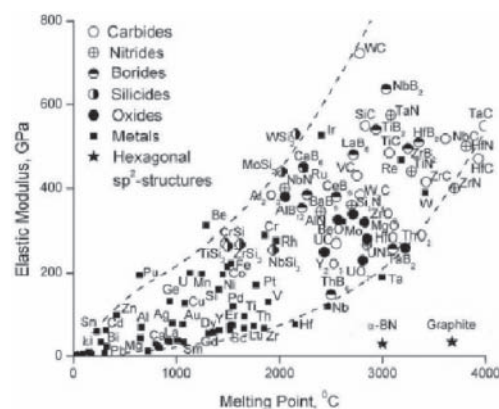


Fig. 1. Melting points and elastic modulus of advanced technical materials (Taken from Igor Shabalin, 14-icc, Session CE6)

1. ábra Korszerű műszaki anyagok olvadáspontja és rugalmassági modulusa

From Fig.1. it is obvious that most of ceramics, borides, nitrides and carbides have both high values of Young's elastic modulus and melting points. Constructing a new material structure from particles – components – having different Young's modulus and melting temperatures a new hybrid material could be create with the following valuable advantages:

- high damage tolerance,
- ability to absorb and dissipate the elastic energy during crack propagation,
- good thermal shock resistance.

Understanding the advantages of hetero-modulus materials new corundum matrix ceramic composites reinforced with  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Si}_2\text{ON}_2$ ,  $\text{SiAlON}$ ,  $\text{AlN}$  and  $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$  particles were successfully developed by the authors [27, 29, 42]. In this work our aims are the following:

- understand the mechanical behaviour and properties of hetero-modulus, hetero-viscous complex materials and create their rheo-mechanical model,
- describe mathematically the mechanical stress development and relaxation during and after high speed collision in this kind of complex materials.

## 2. Materials and experimental procedures

The high speed collision process and energy engorgement through fractures of traditional and hetero-modulus ceramics were already described in details by authors in works [27, 32, 42]. The thermic part of collision energy also was described in the above works and in [29], but there is no works in accordance to high speed collision behaviour of hetero-modulus and hetero-viscous complex and hybrid materials in spite of their following advantages are obvious:

- high damage tolerance,
- higher deformation tolerance,
- ability to absorb and dissipate the collision energy,
- relax by time mechanical stress developed in body during high speed collisions.

The mechanical model of complex material structures completed from particles having different values of elastic modulus and viscosity could be modelled by Fig. 2.

To achieve this kind of mechanical model with several Young's modulus, plasticity and viscosity, our high purity  $\text{Al}_2\text{O}_3$  powder was polluted and mixed with submicron particles of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiAlON}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  and other oxides and elements. This new material composition was milled in planetary-ball mill through several hours, and finally a powder mix containing 92 m% of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  was got. This powder mix were compacted uni-axially, using high speed flying punches with high kinetic energy by principle as shown in Fig. 3.

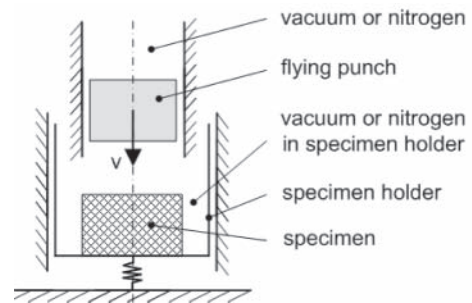


Fig. 3. Principle of compacting specimens under high speed flying punches with high kinetic energy

3. ábra A nagy kinetikai energiájú sajtolás elve nagy sebességű repülő prés-szerszámmal

There are several methods are used to develop  $\text{SiAlON}$  particles and transform  $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$  into  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ , but all of them used sintering temperatures much about 1700 °C or hot pressing at 1800 °C under pressure of 23 MPa or more [43–47]. In our case we used multi-steps sintering technology processes in which the compacted specimens first were pre-sintered in nitrogen ( $\text{N}_2$ ) atmosphere under special firing curves. Due to phase transformation and recrystallization occurred during the following steps of sintering a new hetero-modulus and hetero-viscous corundum matrix composite (CMC) was developed reinforced with micron and submicron whiskers, nano-particles and viscous glass-like phases as it is shown in Fig. 4.

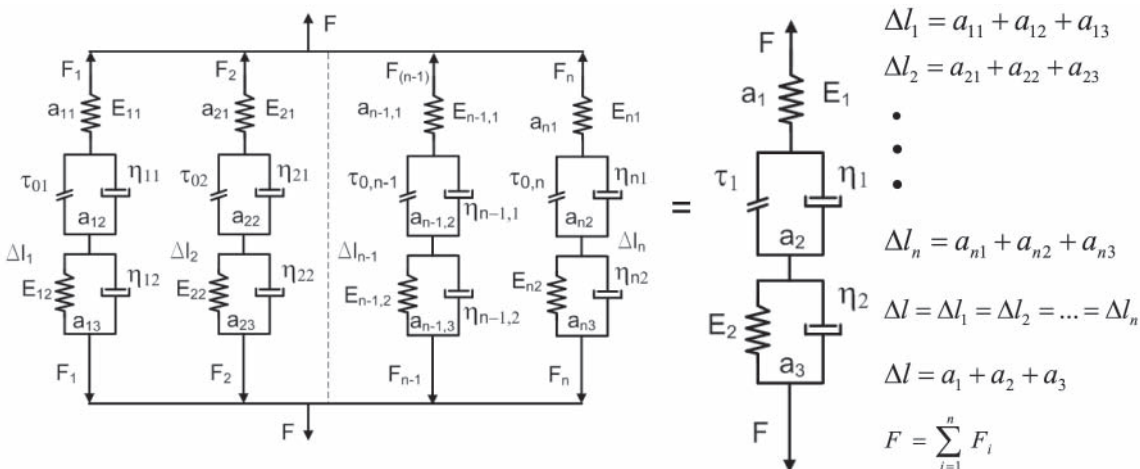


Fig. 2. Mechanical model of hetero-modulus, hetero-viscous complex materials

$a_{11} \dots a_{n1}$  – deformations of elastic particles;  $a_{12} \dots a_{n2}$  – deformation of viscous-plastic particles;  $a_{13} \dots a_{n3}$  – deformation of viscous-elastic particles;  $E_{11} \dots E_{n1}$  – Young's modulus of Hooke particles;  $E_{12} \dots E_{n2}$  – Young's modulus of viscous-elastic particles;  $F_1 \dots F_n$  – forces on material particles;  $\eta_{11} \dots \eta_{n1}$  – viscosity of viscous-plastic particles;  $\eta_{12} \dots \eta_{n2}$  – viscosity of viscous-elastic particles;  $\tau_{01} \dots \tau_{0n}$  – static yield stress in viscous-plastic particles;  $\Delta l_1 \dots \Delta l_n$  – total deformation of particles

2. ábra A hetero-modulusú és hetero-viszkozitású komplex anyagok mechanikai anyagmodellje

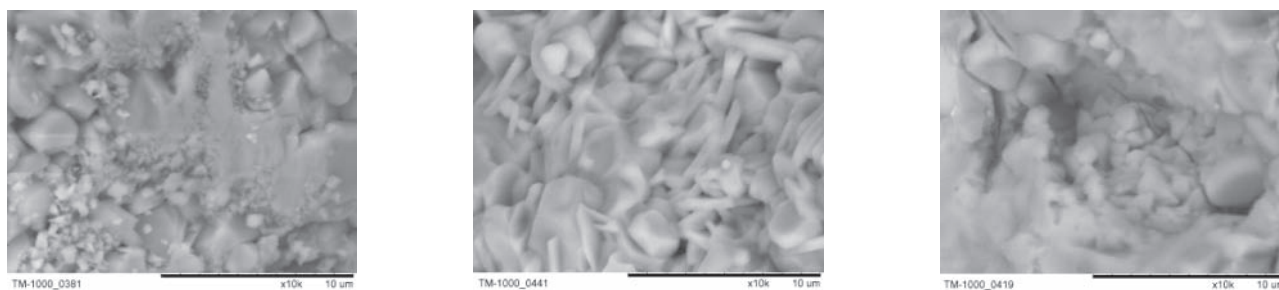


Fig. 4. Achieved microstructures after sintering  
4. ábra A szinterelés során előállított hibridanyagok mikroszerkezete

### 3. Results and discussion

The shear stresses developing during high speed collisions in the above introduced (Fig. 4.) hetero-modulus and hetero-viscous hybrid materials could be described by Eq. 1.

$$\tau_0 - \tau \left[ \frac{\eta_1}{\eta_e} + 1 + n_\tau - n_\gamma \left( 1 + \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \right] + \frac{\eta_1 n_\gamma}{\eta_e} \dot{\tau} - n_\tau n_\gamma \ddot{\tau} = 0 \quad (1)$$

where:

- $\eta_1, \eta_2$  and  $\eta_e$ : viscosities of elastic-viscous-plastic, elastic-viscous parts and effective viscosity of the hybrid hetero-modulus and hetero-viscous body,
- $\tau_0$  and  $\tau$ : static yield point of body and shear stress developed during deformation and destruction in the material,
- $n_\tau$  and  $n_\gamma$ : stress relaxation time and delay time of elastic deformation,
- $\dot{\tau}$  and  $\ddot{\tau}$ : first and second derivatives of shear stresses developed in hetero-modulus and hetero-viscous ceramic and CMC bodies during high speed collision with flying objects.

The effective viscosity of the hetero-modulus and hetero-viscous complex materials could be determined by Eq. 2. as the following:

$$\eta_e = \frac{\tau_0 + \eta_1 \dot{\gamma} + \eta_1 n_\gamma \ddot{\gamma}}{\dot{\gamma} + n_\tau + n_\gamma \ddot{\gamma} + \dot{\gamma} \left[ n_\tau - n_\gamma \left( 1 + \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \right]} \quad (2)$$

where:

- $\dot{\gamma}, \ddot{\gamma}$  and  $\ddot{\gamma}$ : the first, second and third derivatives of deformation-speed gradients.

Involving the following new symbols:

$$A = -n_\tau n_\gamma, \quad (3.1)$$

$$B = \frac{\eta_1 n_\gamma}{\eta_e}, \quad (3.2)$$

$$C = - \left[ \frac{\eta_1}{\eta_2} + 1 + n_\tau - n_\gamma \left( 1 + \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \right], \quad (3.3)$$

$$D = \tau_0, \quad (3.4)$$

$$x = \tau, \quad (3.5)$$

the Eq. 1. could be rewrite to the following well known form:

$$A\ddot{x} + B\dot{x} + Cx + D = 0. \quad (4)$$

During the high speed collision ( $u \geq 1000$  m/s) there is no plastic deformation in materials, so  $D=0$  and Eq. 4 could be rewrite as:

$$A\ddot{x} + B\dot{x} + Cx = 0 \quad (5)$$

The Eq. 5. is well-known as the mathematical equation of damped harmonic oscillation, the solutions of which are the followings:

$$\bar{x} = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} \quad (6.1)$$

$$\lambda_{1,2} = -\frac{B}{2A} \pm \sqrt{\frac{B^2}{4A^2} - \frac{C}{A}} \quad (6.2)$$

$$X^* = -\frac{D}{C}, \quad (6.3)$$

where :

- $C_1$  and  $C_2$  are the constants of integration.

Substitute the above expressions the general equation of shear stress relaxation in hybrid hetero-modulus and hetero-viscous ceramics and CMC after high speed collision could be described as:

$$\tau = C_1 e^{\left( -\frac{B}{2A} + \sqrt{\frac{B^2}{4A^2} - \frac{C}{A}} \right) t} + C_2 e^{\left( -\frac{B}{2A} - \sqrt{\frac{B^2}{4A^2} - \frac{C}{A}} \right) t} - \frac{D}{C} \quad (7)$$

Substitute the A, B, C and D with the original material constants the value of the mechanical shear stress developed in hetero-viscous and hetero-modulus particles reinforced corundum matrix composite material during high speed collision and its relaxation mathematically could be described as the following:

$$\tau = C_1 e^{\left( -\frac{\eta_1}{2\eta_e n_\tau} + \sqrt{\frac{\eta_1^0}{4\eta_e^2 n_\tau^2} - \frac{\frac{\eta_1}{\eta_2} + 1 + n_\tau - n_\gamma \left( 1 + \frac{\eta_1}{\eta_2} \right)}{n_\tau n_\gamma}} \right) t} + C_2 e^{\left( -\frac{\eta_1}{2\eta_e n_\tau} - \sqrt{\frac{\eta_1^0}{4\eta_e^2 n_\tau^2} - \frac{\frac{\eta_1}{\eta_2} + 1 + n_\tau - n_\gamma \left( 1 + \frac{\eta_1}{\eta_2} \right)}{n_\tau n_\gamma}} \right) t} + \frac{\tau_0}{\frac{\eta_1}{\eta_2} + 1 + n_\tau - n_\gamma \left( 1 + \frac{\eta_1}{\eta_2} \right)} \quad (8)$$

### 4. Conclusion

Understanding the high damage and deformation tolerance and ability to observe and dissipate the collision energy of hetero-modulus and hetero-viscous submicron and nano-

particle reinforced corundum matrix hybrid ceramics and CMCs, the authors successfully created a rheo-mechanical model (Fig. 2.) and mathematical equation (Eq. 8.) to mechanically characterize such a complex material structures of ceramics and composites.

This kind of mechanical model and mathematical equation can help in development high damage and deformation tolerance complex materials like  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>ON<sub>2</sub>, SiAlON, AlN, 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>2SiO<sub>2</sub> submicron and nano-particle and liquid phase particle (glass) reinforced alumina matrix hybrid materials.

## Acknowledgement

The authors acknowledge to Igrey Ltd. for the technical support of our research for several years and to young teaching staff and PhD students of Department of Ceramic and Silicate Engineering at the University of Miskolc (Hungary) for laboratory tests and assistance.

## References

- S. Matsumoto – N. Miyoshi – T. Kanazawa – M. Kimura – M. Ozawa – S. Yoshida – N. Tabezawa – T. Ono: (Eds.) *Catalysis science and technology* 1, 335 (1991)
- Morikawa – T. Suzuki – K. Kikuta – A. Suda – H. Shinjo: *Epitoanyag*, Vol. 61, pp. 2. (2009)
- E. S. Lukin – N. A. Makarov – A. I. Kozlov – N. A. Popova – E. V. Anufrieva – M. A. Vartanyan – I. U. A. Kozlov – M. N. Safina – D. O. Lemeshev: *Steklo i Keramika*, No. 10, pp. 27 (2008)
- C. B. Carter – M. G. Norton: *Ceramic materials, science and Engineering* (2007)
- K. Katahira – Y. Watanabe – H. Ohmori – T. Kato: *Int. Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, pp. 1307 (2002)
- L. Shabalin – V. M. Vishnyakov – D. J. Bull – S. G. Keens – L. F. Yamshchikov – L. I. Shabalin: *J. Alloys and Compounds*, Vol. 472, p. 373 (2009)
- E. Rocha-Rangel – D. Hernández-Silva – E. Terrés-Rojas – E. Martínez-Franco – S. Díaz-De La Torre: *Epitoanyag*, Vol. 62, pp. 75 (2010)
- S. D. Skrovaneck – R. C. Bradt: *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 62 (3–4), pp. 215 (1979)
- N. I. Ershova – I. Yu. Kelina: *Epitoanyag*, Vol. 61, pp. 34 (2009)
- R. W. Rice – C. C. Wu – F. Borchelt: *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 77 (10), pp. 2539 (1994)
- Krell – P. Blank: *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 78 (4), pp. 1118 (1995)
- B. Venkataraman – G. Sundarajan: *Acta Materialica*, Vol. 44. No. 2. pp. 451. (1996)
- S. N. Kulkov – N. L. Savchenko: *Epitoanyag*, Vol. 61. No. 3. pp. 62. (2008)
- P. Chantikul – S. J. Bannison – B. R. Lawn: *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 73 (8), pp. 2419 (1990)
- J. Seidel – N. Claussen – J. Rödel: *J. Eur. Ceram. Soc.*, Vol. 15, pp. 395 (1995)
- J. B. Wachtman: *Mechanical properties of ceramics*, Wiley-Interscience Publication (1996)
- R. W. Rice: *J. Mater. Sci.*, Vol. 32, pp. 1673 (1997)
- J. Csányi – L. A. Gömze: *Epitoanyag*, Vol. 53, pp. 66 (2001)
- A. G. Tkachev – O. N. Tkacheva: *Steklo i Keramika*, No. 2, p. 15. (2009)
- Y. T. O – J. B. Koo – K. J. Hong – J. S. Park – D. C. Shin: *Mater. Sci. Eng. A*, Vol. 374, pp. 191 (2004)
- T. Senda – E. Yasuda – M. Kaji – R. C. Bradt: *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 82 (6), pp. 1505 (1999)
- R. S. Roy – H. Guchhait – A. Chanda – D. Basu – M. K. Mitra: *J. Eur. Ceram. Soc.*, Vol. 27, pp. 4737 (2007)
- S. N. Kulkov – N. I. Savchenko: *Epitoanyag*, Vol. 60, pp. 62 (2008)
- J. Csányi – L. A. Gömze: *Epitoanyag*, Vol. 60, pp. 2 (2008)
- Zer – R. Riedel – T. Sekine – J. E. Lowther – W. Y. Ching – I. Tanaka: *Advanced Materials (FRG)*, Vol. 18, pp. 2933 (2006)
- Muchtar – L. C. Lim: *Acta Mater.*, Vol. 46 (5), pp. 1683 (1998)
- L. A. Gömze – L. N. Gömze: *Epitoanyag*, Vol. 61, pp. 38 (2009)
- V. V. Yakushev – A. V. Utkin – A. N. Zhukov: *Proceedings of Int. Conf. XI Khariton's Readings, Extreme States of Substance*, pp. 204 (2009)
- L. A. Gömze – L. N. Gömze: *Proceedings of Int. Conf. XI Khariton's Readings, Extreme States of Substance*, pp. 324 (2009)
- M. C. Santos – A. R. A. Nogueira – J. A. Nogueira: *Journal of the Brazilian Chemical Society*, Vol. 16, pp. 108 (2005)
- F. Dellisanti – G. Valdre: *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 88, pp. 94 (2008)
- L. A. Gömze: *Mat. Sci. Forum*, Vol. 659, pp. 19 (2010)
- R. Apetz – M. P. B. Bruggen: *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 86, pp. 480 (2003)
- S. N. Kulkov – M. V. Grigoriev: *Epitoanyag*, Vol. 62, pp. 66 (2010)
- Krell – P. Blank – H. Ma – T. Hutzler – M. Nebelung: *Am. Ceram. Soc.*, Vol. 86 (4), pp. 546 (2003)
- Z. Shen – M. Johnson – Z. Zhao – M. Nygren: *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 85, pp. 1921 (2002)
- B. N. Kim – K. Hiraga – K. Morita – H. Yoshida: *Scripta Mater.*, Vol. 57 (7), pp. 607 (2007)
- J. Wang – C. Y. Huang – Y. C. Wu: *Ceramics International*, Vol. 35, pp. 1467 (2009)
- J. G. Miranda-Hernández – E. Rocha-Rangel – S. Díaz De La Torre: *Epitoanyag* Vol. 62, pp. 2 (2010)
- D. P. H. Hasselman – P. F. Becher – K. S. Mazdiyasi: *Zeitschrift Werkstofftech*, Vol. 11, No. 3, pp. 82 (1980)
- I. Shabalin: *International Clay Conference*, Book of Abstracts Vol. 1. pp. 93. (2009)
- L. A. Gömze – L. N. Gömze: *Mat. Sci. Forum*, Vol. 659, pp. 165. (2010)
- S. Hampshire – H. K. Park – D. P. Thompson – K. H. Jack: *Nature Vol. 274*, pp. 880 (1978)
- G. G. Deeley – J. M. Herbert – N. C. Moore: *Powder Metallurgy* Vol. 8 pp. 145 (1961)
- F. L. Riley: *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 83, pp. 245 (2000)
- Tsuge – K. Nishida: *Am. Ceram. Soc. Bull.*, Vol. 57, pp. 424 (1978)
- F. F. Laange: *J. Ceram. Soc. Japan*, Vol. 114, pp. 873 (2006)

## Mechanikai feszültségek relaxációja a hetero-modulusú és hetero-viszkózusú komplex kerámiákban

Mechanikai és termikus tulajdonságukat tekintve a hetero-modulusú és hetero-viszkózusú komplex anyagok számos előnnyel rendelkeznek a hagyományos kerámiákkal és kerámia mátrixú kerámiákkal szemben. Jelen publikációban a szerzők részletesen vizsgálták a nagy sebességgel repülő fémek és kerámiatestek közötti ütközés folyamatát, különösen a  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>ON<sub>2</sub>, SiAlON és 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>2SiO<sub>2</sub> szubmikron és nanoszemcsékkel erősített alumínium mátrixú hibrid anyagokra és azok reo-mechanikai szerkezetére és tulajdonságaira. Megértve a nagy sebességű ütközések folyamatát, valamint az ilyen hibrid anyagok anyagszerkezete és reológiai tulajdonságai közötti kapcsolatokat, jelen munkában a szerzők leírják az  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>ON<sub>2</sub>, SiAlON és 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>2SiO<sub>2</sub> erősített alumínium-oxid mátrixú kerámia-kompozitokban nagy sebességű ütközések során ébredő mechanikai nyírófeszültségek egyenletét és azok ütközés utáni relaxációját. A vizsgált korund mátrixú komplex anyagok nagy sebességgel történő ütközését és annak energiaelnyerését a szerzők a [27, 29, 42] munkákban is már ismertették részletesen. Jelen vizsgálatok során a szerzők Scanning elektronmikroszkópot, röntgendiffrakciós készüléket és energiadiszperz spektrométert alkalmaztak. Az eredmények feldolgozásához és kiértékeléséhez a digitális képelemzés módszerét használták. Kulcsszavak: feszültség-relaxáció, hibrid anyagok, képlékenységi, kerámiák, kompozitok, rugalmasság, viszkozitás

### Ref.:

László A. Gömze – Ludmilla N. Gömze: *Mechanical stress relaxation in hetero-modulus, hetero-viscous complex ceramic materials.* Építőanyag, 62. évf. 4. szám (2010), 98–101. p.

# New molecular approach for the simulation of nanoparticle – polymer interactions: application to the system formed by a lysophospholipidic micelle and polyacrylic acid

**YVES CHAPRON** ▪ Alpine Institute of Environmental Dynamics ▪ yves.chapron@aied.fr

**ALAIN PORQUET** ▪ Alpine Institute of Environmental Dynamics, SCHEMA

**MONTERRAT FILELLA** ▪ SCHEMA, Institute F-A Forel ▪ montserrat.filella@unige.ch

Received: 07.04.2010. ▪ Érkezett: 2010.04.07.

Better understanding of the forces between modified or unmodified nanoparticles would be beneficial for developing new strategies for the production of engineered nanoparticle suspensions, as well as for predicting their fate and transport in the environment. Molecular-level simulations, such as Molecular Dynamics can be useful for understanding the interactions between colloidal nanoparticles, but simulations of very large systems are constrained by the long calculation times and require enormous computer resources. A new computation approach that combines series of cycles of Rigid Body Dynamics and Molecular Dynamics has been applied to the study of the interaction of a lysophospholipidic micelle with polyacrylic acid. The results obtained show that the method makes it possible to reach a stationary interaction structure quite rapidly. The method is ready to be applied to the study of the interaction of a wide range of nanoparticles of industrial, environmental or biological interest via a widely-used and freely-accessible computer code.

Keywords: nanoparticle, micelle, polyacrylic acid, lysophospholipidic micelle, rigid body dynamics, molecular dynamics

## Introduction

There are currently more than 900 products on the market that contain nanoscale materials, and the development and commercial production of engineered nanoparticles (ENP) is expected to continue to grow rapidly. Many ENP applications (e.g., as composite materials, components of drug delivery agents, etc.) require ENP suspensions that remain stable in polar media such as water or polymeric resins. However, most ENP are strongly hydrophobic and bare ENP minimize their surface free energy by forming settleable aggregates in solution. To prepare uniform, well-dispersed mixtures, the ENP's exterior surface needs to be modified. Two different methods have been used to stabilize colloidal nanoparticles: either incorporation of functional groups through acid treatment or dispersion by surfactant or polymer adsorption. This means that a better appraisal of the forces between modified or unmodified nanoparticles would help to gain a better understanding of the effects of the above mentioned surface modifications and develop new strategies for producing ENP suspensions. Moreover, the aggregation state of ENP also has a strong influence on their fate and transport in the environment. Understanding the factors governing the aggregation behavior of ENP on its own and in contact with natural particles, surfaces and organic macromolecules, is a key to evaluating their environmental transport, fate and potential interaction with biological species.

Historically, the Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek (DLVO) theory has been used to describe electrostatic and van der Waals interactions in colloidal systems [1, 2]. However, the

**Yves CHAPRON**

received his "Doctorat d'Etat ès Sciences Physiques" from the University of Paris in 1970 (~PhD with 2 thesis). Scientist at Atomic Energy Authority (CEA) 1963-1999, former professor at the "Ecole Centrale de Paris" and leader of the Modelisation Biophysics Group at CEA/Grenoble. He worked on nuclear reactor physics, radioprotection, aerothermochemistry, electrochemistry (pioneering in pulse polarography). Later, on biophysics on vision, electrophysiology, pioneering in patch-clamp & ionic channel of cell membrane. Author of 100 communications (articles), movies and patents. Since 1999 president of the Alpine Institute of Environmental Dynamics (AIED). The AIED is dedicated to the study of the molecular biogeochemistry of waters, soils and materials.

**Alain PORQUET**

received his PhD in Theoretical and Computational Chemistry from the University of Strasbourg in 1997. After the PhD thesis, he became research associate at the universities of Lausanne and Geneva. He has worked in molecular dynamic simulations of phospholipids bilayers, theoretic calculations of aqua-complexes. He has created a program to generate molecular structures randomly to the study humic substances.

**Montserrat FILELLA**

received her PhD in Chemistry from the University of Barcelona in 1986. She teaches Environmental Chemistry at the University of Geneva, where she arrived in 1987. Since 2007 she also works in the development of a society specialised on fundamental research in environmental chemistry in Luxembourg. She is an IUPAC fellow and member of a number of scientific societies. Her main research interests focus on the understanding of the physicochemical processes regulating the behaviour of chemical elements in environmental and biological compartments. The three main axes of her research concern the study of: colloids in natural waters, natural organic matter and Group 15 elements.

DLVO theory was originally developed for micron-sized colloidal particles and relies on a continuum approximation that may not extend to nanosized objects. Existing opinions on this issue are contradictory up to this point. On the one hand, results from studies where the functional dependence of the aggregation rates on electrolyte concentration has been measured show that the behavior of nanoparticles follows the qualitative predictions of the DLVO theory in regard to the effect of counterion concentration and valence [3–13]. However, experiments in the literature show that DLVO theory does not always work for micrometer-scale particles at close separations [14–16] and modeling studies indicate that the classical theory might have less predictive power for nanocolloids of less than 10 nm in diameter than for larger particles. For instance, according to Fichthorn and Qin [17, 18], forces that are not taken into account by DLVO theory, such as solvation and depletion, could be very important in colloidal nanoparticle systems.

Molecular-level simulations, such as molecular dynamics (MD), can be useful in understanding the interactions between colloidal nanoparticles. These studies can yield atomic-scale detail and they can be used to resolve the origins and magnitudes of forces between those particles. However, MD simulations on very large systems, such as the ones formed by

several interacting nanoparticles, require very large computer resources which make them prohibitive, even with the current calculation capabilities. To overcome this limitation, we have tested a new strategy that combines series of cycles of Rigid Body Dynamics (RBD) and MD. Its application to the study of the interaction of a lysophospholipidic micelle (LPE) with polyacrylic acid (PAA) is presented here. The same system constructed with explicit water in a parallelepiped box of minimum size would contain more than 120,000 atoms, implying very long calculation times (i.e., when the number of atoms increases in a system, as a consequence, a quadratical increase in the calculation time is observed). The substances used in this study have been chosen only as model compounds with the only objective being to test the new calculation strategy. However, they were not chosen arbitrarily. DLPE is involved in many aspects of living processes [19] and, recently, phospholipid micelles have been used, among other amphiphilic polymers, to encapsulate hydrophobic quantum dot nanoparticles to create water soluble materials suitable for biological applications [20, 21]. Polyacrylic acid (PAA) has been very often chosen as a polymer and polyelectrolyte model substance. A number of industrial processes rely on the use of polyelectrolytes to provoke the flocculation and/or the dispersion of colloidal particles and, in the past decades, the importance of polymer-colloid interaction has also been widely recognized in soil aggregation and pollutant transport in natural waters.

## 1. Methods

### 1.1. Computational methods

#### 1.1.1. Molecular Dynamics simulations

In MD, the Newtonian equations of motion are integrated to make it possible to follow the displacement of particles over a certain period of time. This procedure allows the phase space to be sampled and produces a physical dynamic trajectory that permits temporal analysis. MD simulations were performed using the following representation of potential energy:

$$E_{total} = \sum_{bonds} K_r (r - r_{eq})^2 + \sum_{angles} K_\theta (\theta - \theta_{eq})^2 + \sum_{dihedrals} \frac{V_n}{2} [1 + \cos(n\phi - \gamma)] + \sum_{nonbonded} \left[ \frac{B_{ij}}{R_{ij}^{12}} - \frac{A_{ij}}{R_{ij}^6} + \frac{q_i q_j}{\epsilon R_{ij}} \right] \quad (1)$$

where (i) bond stretching and valence angle deformation are represented by an harmonic potential where  $K_r$  and  $K_\theta$  are the constant forces and  $r_{eq}$  and  $\theta_{eq}$  are reference values; (ii) a torsional term, defined by a set of  $V_n$ ,  $n$  and  $\gamma$  parameters, is associated with the dihedral angles; (iii) the non-bonded interactions are split up into Van der Waals interactions, represented by a Lennard-Jones potential defined by parameters  $A_{ij}$  and  $B_{ij}$ , and electrostatic interactions modelled by a Coulombic potential. Electrostatic and van der Waals interactions are only calculated between atoms in different molecules or for atoms in the same molecule separated by at least three bonds. MD calculations have been performed using XPLOR [22, 23]. The united-atoms (UA) approach has been used in the calculations. UA force fields for MD simulations provide a higher computational efficiency with little sacrifice in accuracy when compared to

all-atom force fields, especially in aliphatic chain simulations where very few specific interactions exist [24].

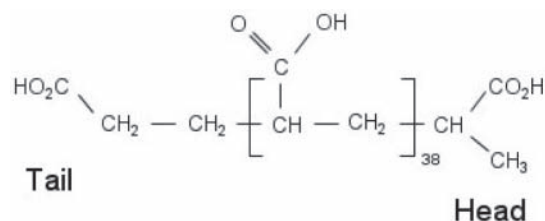
#### 1.1.2. Rigid Body simulations

Rigid Body (RB) dynamics solves Newton equations of motion for rigid collections of atoms. Atoms are grouped into rigid groups, the motion of which is determined by summing the forces acting on all elements of a group and integrating the RB equations of motion. The XPLOR implementation of RB dynamics follows the algorithm described by Head-Gordon and Brooks [25]. This algorithm treats each group as a continuous mass dislocated at the center-of-mass position and characterized by its inertia tensor. Only the non-bonded interactions are computed as RB dynamics energy interactions. However, all atoms are taken into account for the calculation of the general energy. The theoretical details are can be found in the XPLOR manual ([22], pages 136–140).

### 1.2. Choice of the polymer and micelle models

Polyacrylic acid (PAA) monomers were simulated using a united-atom (UA) approach. Other parameters needed for the UA model were the standard parameters proposed by the Charmm/XPLOR force field for united atoms [27]. Table 1. shows the atomic charges of the protonated PAA polymer chains used in the MD simulations.

The lysophosphatidylethanolamine (LPE) monomer was derived from the crystal structure of dilaurylphosphatidylethanolamine (DLPE) [28] by replacing the fatty acid substituent of the central glycerol oxygen with a hydroxyl group. Atomic charges were computed with semi-empirical quantum chemistry [26]. They are shown in Figure 1. The Kerubin program [29] was used to build the micelle from the LPE monomers.



CH <sub>3</sub>	tail CH <sub>2</sub>	any other CH <sub>2</sub>	CH	C in CO	O	H in HO
-0.35	-0.35	0.15	-0.15	0.16	-0.40	0.64

Table 1. Atomic charges of the protonated PAA polymer chains used in the MD simulations

1. táblázat MD szimulációban használt protonált PAA polimer láncok atomtöltései

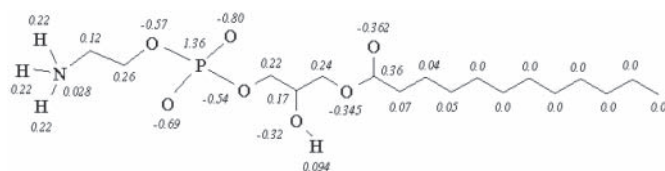
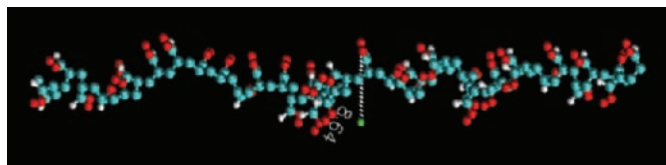


Fig. 1. Formula and atomic charges of the lysophosphatidylethanolamine (LPE) monomers used in the MD simulations

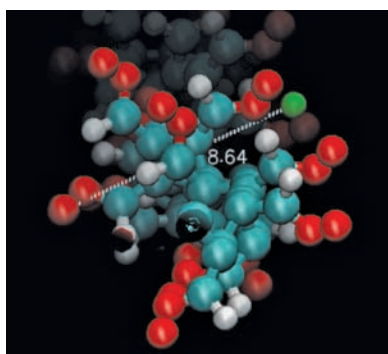
1. ábra Az MD szimulációkban vizsgált lizofatidil-etanolamin (LPE) monomerek összegképlete és atomtöltései

## 2. Results and discussion

A PAA polymer chain of 40 monomers (330 atoms), all with trans-conformation, was used to create the initial structure of the complex. This polymer chain was immersed in a periodic box of 6516 water molecules ( $\epsilon = 1$ ) and simulated by MD with XPLOR using the UA model for 10 ps. The water molecules of the first hydration shell of the polymer chain (258 water molecules) were kept for later in the simulation of the interaction between the polymer and the micelle.



(a)



(b)

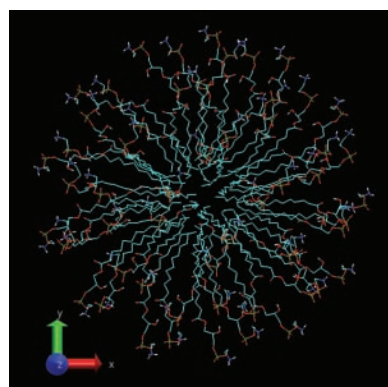
Fig. 2. Longitudinal (a) and cross-section (b) snapshots of the hydrated polyacrylic acid (PAA) polymer build with 40 monomers

2. ábra A 40 monomerből álló hidratált poliakril sav hosszmenti (a) és keresztmet-szeti (b) képe

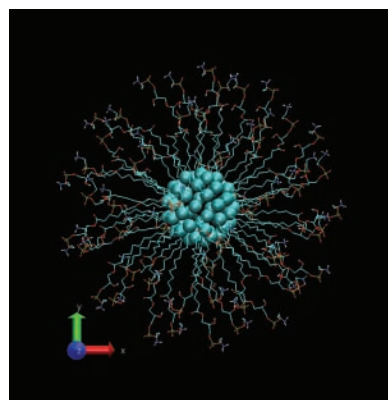
Figure 2. shows snapshots of the hydrated PAA polymer. The simulated PAA has the following dimensions: mean diameter  $\sim 8\text{-}9$  Å, hydrated mean diameter = 33 Å, length = 78.6 Å, hydrated length = 105 Å.

A non-charged and equilibrated micelle composed of 56 LPE monomers (2441 atoms) was built with the Kerubin program. The cohesion of the micellar structures is partly due to the interactions between the polar heads of the phospholipid chains of the micelle and water molecules in the first hydration shells. Thus the introduction of explicit water molecules ( $\epsilon = 1$ ) around the micelles is crucial in order to maintain this cohesion during the MD simulations. For this reason, the LPE micelle was equilibrated by 0.1 ps of MD simulation in a spherical box of 2784 water molecules without periodicity. Only 2441 water molecules were kept to hydrate the micelle in further simulations.

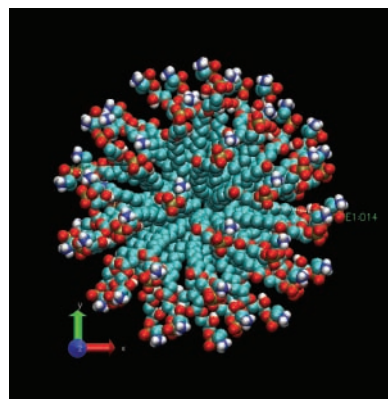
Figure 3. shows snapshots of different steps in the process of building the LPE micelle. The simulated micelle has the following dimensions: mean diameter (from opposite N atoms) = 53 Å, hydrated mean diameter (from opposite N atoms) = 62 Å. Slightly lower diameters are obtained if the distance from opposite P atoms is measured instead. In this case, mean diameter = 50 Å, hydrated mean diameter = 61 Å.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Snapshots showing different steps in the process of building the LPE micelle: (a) first micelle built up with Kerubin, (b) first minimisation of the LPE, (c) micelle

3. ábra Az LPE micella felépülésének különböző lépéseit bemutató képek (a) az első micella felépülése Kerubin-nel, (b) az LPE első minimalizálódása, (c) a micella

For the RB simulation, two groups of atoms were defined: the hydrated micelle and the hydrated polymer chain. The polymer chain-micelle system included 10 011 atoms. To equilibrate the system, the procedure alternated between RB simulation phases, to displace the micelle relatively to the polymer chain ( $\epsilon_{\text{water}} = 80$ ), and MD simulation phases, to re-equilibrate the water molecules. In order to reduce calculation times, all the atoms of the micelle and of the polymer chain are frozen during each MD phase without modifying the positions of the 'dry' parts of each rigid body obtained in the previous RBD cycle.

Different time step values were tested with two temperature coupling modes [30]. The Langevin method was opted for, since the Berendsen coupling method induced too many temperature fluctuations. Integration times ranging from 1 to 15 fs were tested using this method, and an optimum integration time of 5 fs was finally chosen. The alternating RB/MD cycles lasted for 10 ps and included four successive series of 2.5 ps RB and 50 fs MD with an integration step of 1 fs. *Figure 4a* shows temperature fluctuations with a Langevin thermal bath ( $\beta = 30$ ,  $T = 300$  K), RBD only. Temperature fluctuations during four successive cycles of RBD and MD calculations are shown in *Figure 4b*; they reflect water reorganisation needed during the short MD runs.

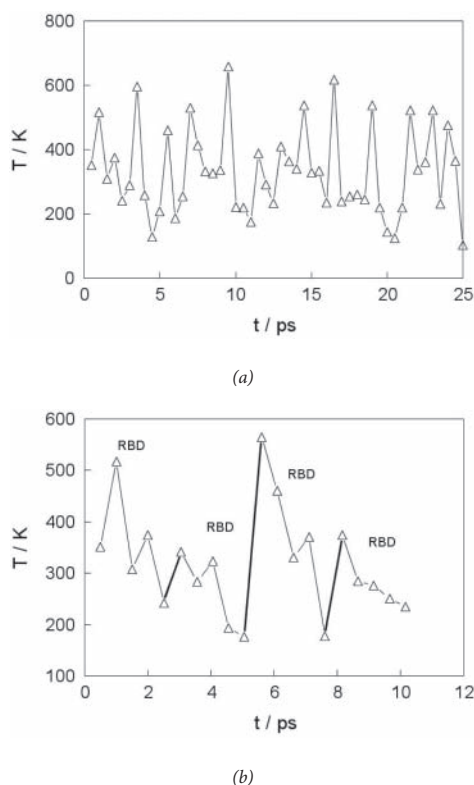


Fig. 4. (a) Temperature fluctuations with a Langevin thermal bath ( $\beta = 30$ ,  $T = 300$  K) RBD only. (b) Temperature fluctuations during four successive cycles of RBD and MD calculations

4. ábra (a) Hőmérsékletingadozások a Langevin hőfürdőben ( $\beta=30$ ,  $T=300$  K) csak RGB-vel számolva, (b) Hőmérsékletingadozások RBD és MD módszerek kombinációjával számolva, négy egymást követő ciklusban

Quick equilibration of the interaction energies was observed by using the RB/MD method. *Figure 5*. shows the evolution of the non-bonded interaction energies, van der Waals and electrostatic, between the LPE micelle and the PAA polymer chain during four mixing RBD and MD cycles. The initial repulsion, resulting from the arbitrary initial position of the two objects, evolves quite rapidly to a thermodynamic stabilisation. The MD trajectory Van der Waals energy decreases from +2500 to -1000 kcal.mol<sup>-1</sup>, thus showing good contact reorganisation of the system configuration. Simultaneously, the MD trajectory electrostatic energy relaxes from an initial value of -500 kcal.mol<sup>-1</sup> to a more equilibrated value of -100 kcal.mol<sup>-1</sup>. The evolution of the non-bonded atomic interactions and the temperature fluctuations during the simulations clearly shows that water reorganised itself during MD phases (50 fs).

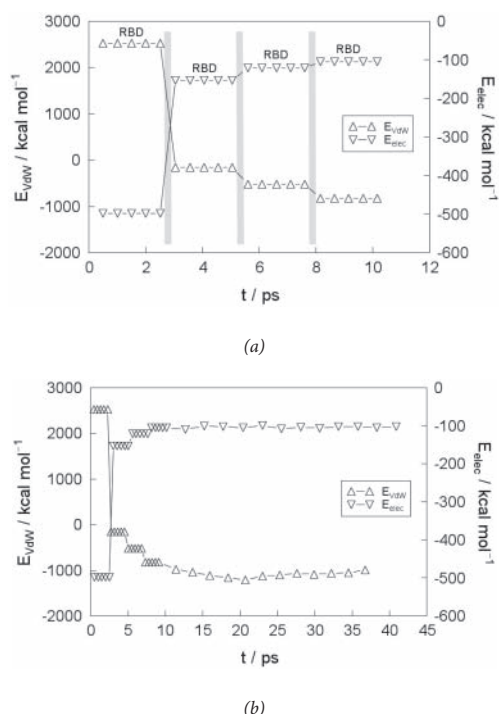


Fig. 5. Evolution with time of the non-bonded interaction energies between the LPE micelle and the PAA polymer chain during (a) the initial four successive cycles of RBD and MD calculations, (b) the complete simulation (40 ps) van der Waals interactions:  $\Delta$ ; electrostatic interactions:  $\nabla$ . RBD (2.5 ps) and MD (50 fs) steps are clearly indicated in (a)

5. ábra Az LPE micella és a PAA polimer közötti nem-kötő kölcsönhatások energiájának időbeli alakulása (a) az RBD és MD módszerek kombinációjával számolva, az első négy egymást követő ciklusban, (b) a van der Waals kölcsönhatások teljes szimulációja (40 ps),  $\Delta$ ; elektrostatikus kölcsönhatások,  $\nabla$ . RBD (2,5 ps) és MD (50 fs) lépések jól láthatók az (a) ábrán

The evolution of the distances from the head and the tail of the PAA monomer to the LPE micelle center is shown in *Figure 6*. Interestingly, the head and the tail of the PAA position themselves at a similar distance from the micelle center at the end of the equilibration. *Figure 7*. shows the evolution of the angles PAA head – micelle – tail PAA (larger angle) and the one formed by two oxygen atoms of the residue 10 of the PAA with the micelle (smaller angle). A correlation between the two angles is observed, as if the micelle rolling over the polymer perturbed them. Finally, a split snapshot of the initial structure of the PAA polymer chain - LPE micelle complex is shown in *Figure 8*.

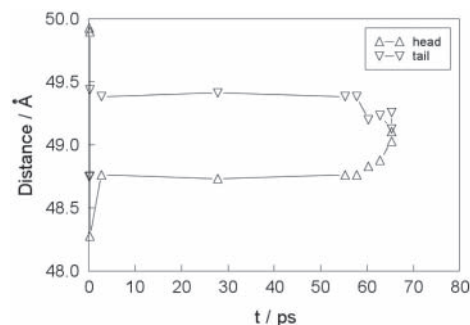


Fig. 6. Evolution with time of the distances from the head ( $\Delta$ ) and the tail ( $\nabla$ ) of the PAA polymer chain to the LPE micelle center during four successive cycles of RBD and MD calculations

6. ábra LPE micella középpontja és a PAA polimer lánc fej ( $\Delta$ ), illetve oldal ( $\nabla$ ) része közötti távolság változása az idő függvényében az RBD és MD számítások négy egymást követő ciklusában

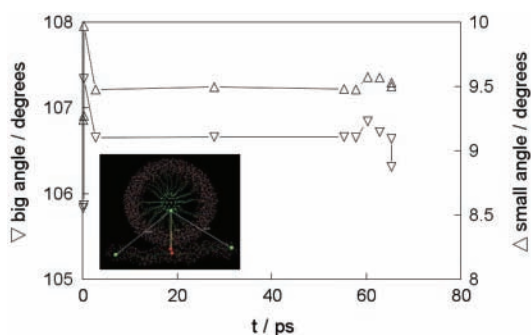


Fig. 7. Evolution of the angles formed by head of the PAA - micelle - tail PAA (big angle) and the OX10 PAA - micelle - OY10 PAA (small angle)

7. ábra A PAA fejrésze - micella - PAA oldalrésze közötti szög (nagy szög) és az OX10 PAA - micella - OY10 PAA közötti szög (kis szög) alakulása

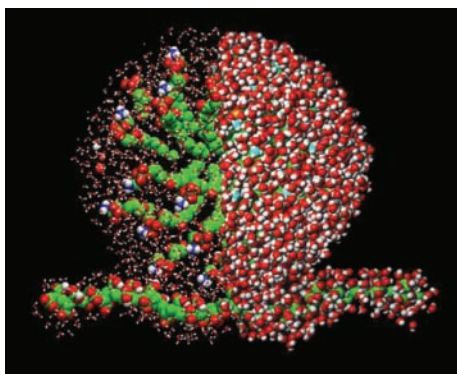


Fig. 8. Snapshot of the initial structure of the PAA polymer chain - LPE micelle complex. At the left hand-side the water molecules are represented in wireframe to clearly show the polymer chain and the micelle monomers. At the right hand-side the water molecules are represented in CPK to show the hydration shell

8. ábra A PAA polimer lánc - LPE micella komplex kezdeti szerkezetének képe. A bal oldalon a vízmolekulákat drótvázal ábrázoltuk azért, hogy a polimer lánc és a micella monomerek jól láthatók legyenek. A jobb oldalon a vízmolekulák CPK-ban láthatók a hidratációs burok bemutatására

In the procedure explained above, the  $\epsilon_{\text{water}}$  was kept at 80, so that the electrostatic energy was screened and a reduced number of water molecules moved simultaneously during the MD steps. This procedure has no effect on the van der Waals energies. Once the dynamic equilibrium was reached, water was allowed to reorganise by performing some calculation cycles with implicit water in all the space for RBD and explicit water ( $\epsilon_{\text{water}} = 1$ ) for MD. Since the initial position was not far from the final one, spatial and energetic convergences were very rapid. Kinetic parameters associated with such quick processes are not accessible experimentally, but are easy to determine from the results obtained. In the study system, a half time of about 3 ps was calculated. The effect of the sampling cut-off on the final result was also tested and the smallest value (19 Å) for which results were not affected by the choice was used.

The Constraint Interaction Energy (CIE) and the distance between the two objects were computed at the end of the simulation. The corresponding value of the van der Waals energy (of CIE) between the PAA polymer chain and the LPE micelle (-10.9 kcal.mol<sup>-1</sup>) and the distance between the two objects obtained from this calculation (10.6 Å) can be used to estimate the value of the Hamaker constant [31]. The so-called Hamaker-De Boer theory is often used to compute van der Waals interactions between macrobodies. This theory is an

approximate treatment in which the total attraction energy is obtained by pair-wise summation of London-Van der Waals energies between all molecules of the interacting bodies. Retardation is disregarded. A detailed description as well as a discussion of its limitations can be found in Lyklema [32].

Van der Waals energies and the corresponding Hamaker constants have been computed in the Hamaker-De Boer approximation for a host of geometries but expressions for many geometries are still not well-established. The system being studied can be approximated by the expression for the interaction of a sphere with an infinite plane [32]:

$$E_{\text{vdW}} = -\frac{A_{\text{H}}}{6} \left[ \frac{r_{\text{s}}}{h} + \frac{r_{\text{s}}}{h + 2r_{\text{s}}} + \ln \left( \frac{h}{h + 2r_{\text{s}}} \right) \right] \quad [2]$$

where:  $E_{\text{vdW}}$  is the van der Waals energy (J),  $A_{\text{H}}$  is the Hamaker constant (J),  $r_{\text{s}}$  the radius of the micelle (Å) and  $h$  the minimum distance between the micelle and the polymer (Å). This gives a value of  $4.0 \times 10^{-19}$  J for the Hamaker constant. However, according to [33], this approximation can only be applied if the ratio between the distance  $h$  and the radius of the sphere  $r_{\text{s}}$  is  $\leq 1$  (0.4 in our case) and the ratio of the cylinder radius to the sphere radius is larger than 10, regardless of the ratio of the cylinder length to its radius. The second condition is not fulfilled in our case. Thus, the value calculated here for the Hamaker constant can only be considered to be an approximation. The value obtained is close, but slightly higher, than the range of values reported for protein-protein interactions in water ( $1.0 \times 10^{-20} - 3.6 \times 10^{-20}$  J) [34-40]. It should be mentioned that Rosenfeld and Wasan [41] have put forward an expression for the interaction between a finite cylinder and a sphere. However, we found an error in relation to the integration domain of their expression when we tried to implement it in Mathcad. Since the objective of this study was to show the capabilities of the modeling approach rather than to calculate an accurate value of the Hamaker constant for the given model system, no further effort was devoted to correcting the equation.

### 3. Conclusions

The results obtained show that the combination of RBD and MD in an explicitly partially hydrated system is a powerful tool for studying interactions between heterogeneous systems because they make it possible to perform complex calculations while keeping calculation times reasonable. It should be pointed out that the same system constructed with explicit water in a parallelepiped box of minimum size contains more than 120,000 atoms. Although it can be solved by using computer codes such as XPLOR [22, 23], VMD [42] and NAMD [43], the high number of atoms present makes the calculation long and the calculation procedure cumbersome because it requires files of structures and atom coordinates be written in hexadecimal notation and the calculation be run by using it.

### Acknowledgements

We are grateful to Eric Desrues for sharing his mathematical insight with us. His help in analysing the expression proposed by Rosenfeld and Wasan was invaluable.

## References

- [1] B. V. Derjaguin – L. Landau: *Acta Physicochimica USSR* 14 (1941) 633–662.
- [2] E. J. Verwey – J. T. G. Overbeek: *Theory of the Stability of Lyophobic Colloids*, Elsevier, New York, 1948.
- [3] K. L. Chen – M. Elimelech: *Langmuir* 22 (2006) 10994–11001.
- [4] K. L. Chen – S. E. Mylon – M. Elimelech: *Environ. Sci. Technol.* 40 (2006) 1516–1523.
- [5] K. L. Chen – M. Elimelech: *J. Colloid Interface Sci.* 309 (2007) 126–134.
- [6] K. L. Chen – S. E. Mylon – M. Elimelech: *Langmuir* 23 (2007) 5920–5928.
- [7] T. Phenrat – N. Saleh – K. Sirk – R. D. Tilton – G. V. Lowry: *Environ. Sci. Technol.* 41 (2007) 284–290.
- [8] K. L. Chen – M. Elimelech: *Environ. Sci. Technol.* 42 (2008) 7607–7614.
- [9] Y. T. He – J. Wan – T. J. Tokunaga: *Nanopart. Res.* 10 (2008) 321–332.
- [10] N. B. Saleh – L. D. Pfefferle – M. Elimelech: *Environ. Sci. Technol.* 42 (2008) 7963–7969.
- [11] T. C. Preston – M. Nuruzzaman – N. D. Jones – S. Mittler: *J. Phys. Chem.* 113 (2009) 14236–14244.
- [12] B. Smith – K. Wepasnick – K. E. Schrote – A. R. Bertele – W. P. Ball – C. O'Melia – D. H. Fairbrother: *Environ. Sci. Technol.* 43 (2009) 819–825.
- [13] D. Velegol – G. L. Holtzer – A. F. Radovic-Moreno – J. D. Cuppett: *Langmuir* 23 (2009) 1275–1280.
- [14] D. Velegol – J. L. Anderson – S. Garoff: *Langmuir* 12 (1996) 4103–4110.
- [15] S. H. Behrens – M. Borkovec – P. Schurtenberger: *Langmuir* 14 (1998) 1951–1954.
- [16] D. Velegol – P. K. Thwar: *Langmuir* 17 (2001) 7687–7693.
- [17] K. A. Fichthorn – Y. Qin: In: *Nanotechnology and the Environment: Applications and Implications*. Eds. B. Karn, T. Masciagnoli, W.-x. Zhang, V. Colvin, P. Alivisatos, ACS Symposium Series 890, chapter 15 (2005), pp. 128–132.
- [18] K. A. Fichthorn – Y. Qin: *Ind. Eng. Chem. Res.* 45 (2006) 5477–5481.
- [19] J. J. Wendoloski – S. J. Kimatian – C. E. Schutt – F. R. Salemme: *Science* 243 (1989) 636–638.
- [20] B. Dubertret – P. Skourides – D. J. Norris – V. Noireaux – A. H. Brivanlou – A. Libchaber: *Science* 298 (2002) 1759–1762.
- [21] X. Michalet – F. F. Pinaud – L. A. Bentolila – J. M. Tsay – S. Doose – J. J. Li – G. Sundaresan – A. M. Wu – S. S. Gambhir – S. Weiss: *Science* 307 (2005) 538–544.
- [22] A. T. Brünger: *XPLOR Version 3.1. A System for X-ray Crystallography and NMR*, Yale University Press, New Haven, 1993.
- [23] C. D. Schwieters – J. J. Kuszewski – N. Tjandra – G. M. Clore: *J. Magn. Res.* 160 (2003) 66–74.
- [24] L. D. Schuler – W. F. van Gunsteren: *Molecular Simulation* 25 (2000) 301–319.
- [25] T. Head-Gordon – C. L. Brooks: *Biopolymers* 31 (1991) 77–100.
- [26] J.-P. Duneau – S. Crouzy – N. Garnier – Y. Chapron – M. Genest: *Biophys. Chem.* 76 (1999) 35–53.
- [27] B. R. Brooks – R. E. Bruccoleri – B. D. Olafson – D. J. States – S. Swaminathan – M. Karplus: *J. Comp. Chem.* 4 (1983) 187–217.
- [28] M. Elder – P. Hitchcock – R. Mason – G. G. Shipley: *Proc. R. Soc. London A (Math. Phys. Sci.)* 354 (1977) 157–170.
- [29] A. Porquet: *Kerubin* 4.5, 2002; <http://perso.wanadoo.fr/kerubin/>.
- [30] H. J. C. Berendsen – J. P. M. Postma – N. F. van Gunsteren – A. A. DiNola – J. R. Haak: *J. Chem. Phys.* 81 (1984) 3684–3690.
- [31] H. C. Hamaker: *Physica IV* 10 (1937) 1058–1072.
- [32] J. Lyklema: *Fundamentals of Interface and Colloid Science. Volume I: Fundamentals*. Academic Press, London, 1991.
- [33] Y. Gu – D. Li: *J. Coll. Interface Sci.* 127 (1999) 60–69.
- [34] W. Eberstein – Y. Georgalis – W. Saenger – J. Cryst: *Growth* 143 (1994) 71–78.
- [35] M. Muschol – F. Rosenberger: *J. Chem. Phys.* 103 (1995) 10424–10432.
- [36] M. R. Charies – L. N. Brian – M. L. Abraham: *Biophys. J.* 70 (1996) 977–987.
- [37] D. E. Kuehner – C. Heyer – C. Ramsch – U. M. Fornefeld – H. W. Blanch – J. M. Prausnitz: *Biophys. J.* 73 (1997) 3211–3224.
- [38] J. Z. Wu – M. P. John: *Fluid Phase Equilibria* 155 (1999) 139–154.
- [39] S. X. Li – D. Xing – J. F. Li – J. Biol: *Phys.* 30 (2004) 313–324.
- [40] K. Onuma – N. Kanzaki – *J. Phys. Chem. B* 107 (2003) 11799–11804.
- [41] J. I. Rosenfeld – D. T. Wasan – *J. Coll. Interface Sci.* 47 (1974) 27–31.
- [42] W. Humphrey – A. Dalke – K. Schulten – *J. Molec. Graphics*, 14 (1996) 33–38.
- [43] J. C. Phillips – R. Braun – W. Wang – J. Gumbart – E. Tajkhorshid – E. Villa – C. Chipot – R. D. Skeel – L. Kale – K. Schulten – *J. Comput. Chem.* 26 (2005) 1781–1802.

### Nanorészecske-polimer kölcsönhatások új molekuláris megközelítése: alkalmazási példa lizofoszfolipid micella-poliakrilsav rendszerre

A módosíthatlan vagy módosított nanorészecskék közötti erők jobb megértése előnyösen járulhat hozzá olyan új stratégiák kifejlesztéséhez, amelyek egyrészt alkalmasak előre tervezett tulajdonságú nanorészecske szuszpenziók előállítására, másrészt ezen anyagok környezeti mozgásának és lebomlásának nyomonkövetésére. A molekula szintű szimulációk, köztük a Molekula Dinamika (MD), nagyban elősegítik a kolloid nanorészecskék közötti kölcsönhatások értelmezését. Ugyanakkor e módszerekkel nagyon nagy rendszerek nem modellezhetők, különleges számítástechnikai háttérigényük, és a számításokhoz szükséges hosszú idő miatt. Közleményünkben egy új, a Merev Testek Dinamikájának (RBD) és a Molekula Dinamikájának kombinált ciklusain alapuló számítási módszert alkalmazásait mutatjuk be lizofoszfolipid micellák-ból és poliakrilsavból álló rendszerre. Eredményeink szerint a módszerrel viszonylag gyorsan el lehet jutni a stationárius kölcsönhatás-szerkezetekhez. Módszerünk alkalmas lehet környezeti, vagy biológiai szempontból érdekes, legkülönbözőbb nanorészecskék kölcsönhatásainak tanulmányozására, egy széles körben használatos és szabadon hozzáférhető számítógépes program segítségével.

Kulcsszavak: nanorészecske, micella, poliakril sav, lizofoszfolipid micella, merev test dinamika, molekula dinamika

#### Ref.:

Yves **Chapron** – Alain **Porquet** – Montserrat **Filella**: *New molecular approach for the simulation of nanoparticle – polymer interactions: application to the system formed by a lysophospholipidic micelle and polyacrylic acid*. Építőanyag, 62. évf. 4. szám (2010), 102–107. p.

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁGI MEGJEGYZÉS

Az utóbbi két-három évben a korszerű kerámia és szilikát anyagrendszerek területén egyre nagyobb szerephez jut a komplex, szerves és szervetlen anyagokat egyaránt tartalmazó hibridanyagok kutatása és fejlesztése. Ezt jól tükrözi, hogy a 2010. november 14–18. között Oszakában megrendezett 3. Nemzetközi Kerámia Kongresszuson (ICC3) az előadások számát tekintve a hibrid és nano-szerkezetű anyagok kutatása területén elért új eredményeket bemutató 5. Szimpózium a harmadik legnépesebb szekciója volt a rendezvénynek. Ettől több előadást és posztert Japánban csak a korszerű elektrotechnikai kerámia szekció (Szimpózium 6.) és az élenjáró műszaki kerámiák és kompozitok (Szimpózium 14.) tudott felvonultatni. *Lapunkban az Yves Chapron, Alain Porquet és Montserrat Filella szerzők által fentiekben közölt cikkkel szeretnénk az első lépést megtenni a hibridanyagok kutatása, publikálása felé.* Ezek az anyagok gyakran nem csak szerves és szervetlen anyagok szimbiózisából épülnek fel, de olykor egyidejűleg tartalmaznak – vagy tartalmazhatnak – a szilárd kerámia szemcsék és kristályok mellett szerves folyadékokat és/vagy gáz halmazállapotú részecskéket.

## XXV. Téglás Napok

TÓTH-ASZTALOS RÉKA

A Szilikátipari Tudományos Egyesület és a Magyar Téglás Szövetség közös szervezésében idén 25. alkalommal került megrendezésre a hagyományos évi konferencia. A rendezvény helyszínéül ezúttal Lenti-Gosztola volt.

A konferenciát október 28-án **Kiss Róbert**, az SZTE Téglá és Cserép Szakosztályának elnöke nyitotta meg.

Az első előadást **Horváth Sándor**, az ÉMI Nonprofit Kft. vezérigazgató-helyettese tartotta *Az új építési termék rendelethe (CPR) való felkészüléssel* kapcsolatban. Az építési termékek megfelelőségét jelenti egyrészt, ha építési célra alkalmas (ha a gyártó utasításának és a műszaki tervnek megfelelő beépítés esetén az építmény kielégíti az alapvető követelményeket); másrészt, ha megfelelőségi igazolással rendelkezik (szállítói megfelelőségi nyilatkozat, CE jelölés). Forgalomba hozatalhoz megfelelőségre, megfelelőségi igazolásra van szükség. A jelenleg is érvényben levő szabályozás, az Építési Termék Irányelv (CPD) bonyolult, költséges és hosszadalmas eljárást takar. Az új Építési Termék Rendelet (CPR) ezzel szemben egyszerű, hiteles, átlátható és olcsó lesz; irányelv helyett rendelet, megfelelőségi igazolás helyett teljesítmény nyilatkozat. Változás a következő területeken várható elsősorban: az alapvető követelmények számának növekedése, a megfelelőség-értékelési eljárások számának mérséklődése, a mikroállalkozások speciális kezelése, a CE jelölés elérésének pontosítása, az értékeléseknél a számítási módszerek preferálása, az intézményrendszerben új szereplők megjelenése. Az új rendelet hatása az építési és építőanyag gyártó piacra nézve várhatóan volumenváltozásokban, az export-import arányok, a minőségi mutatók, a munkaerőigény, a profitabilitás, valamint a versenyképesség változásában figyelhető majd meg. Az új rendelet várhatóan hatással lesz a kormányzati intézményrendszerre, az építési termékek gyártóira, az építési termékek forgalmazóira, a tervezőkre, a kivitelező építőiparra, az építetőkire (felhasználókra), a kijelölt szervezetekre és a jóváhagyó szervezetre.

Ezután **Lahki Katalin és Veresné Szűcs Éva**, a Nemzeti Fogyasztóvédelmi Hatóság vezető főtanácsosai tartottak előadást az *NFH piacfelügyeleti tevékenységéről*. A forgalmazott termékekkel kapcsolatban egyrészt a gyártó felelőssége az áru biztonságáról gondoskodni, másrészt a forgalmazó nem hozhat forgalomba olyan árut, amelyről tudja, vagy a rendelkezésre álló tájékoztatás vagy szakmai ismeret alapján tudnia kellene, hogy az áru nem biztonságos. Az NFH a forgalmazott termékeket kétféleképpen ellenőrzi. Egyrészt az árusítás helyszínén, ahol sor kerül az üzlet működésének és a forgalmazott termékeknek az ellenőrzésére, másrészt mintavételt követően saját laboratóriumában ellenőrzi a termék jellemzőit. A forgalmazás körülményeinek ellenőrzésekor az alábbi szempontokat vizsgálják: működési engedély üzletben történő elhelyezése, az áru eredetét igazoló bizonylat megléte, nyitvatartási idő, az árfeltüntetést megléte és megfelelősége, nyugtaadási kötelezettség, a vásárlók könyve és a panasz fórumokról szóló tájékoztatás.

*A fogyasztóvédelemről szóló 1997. évi CLV törvény 13. §-a alapján azok a termékek, amelyekre vonatkozóan jogszabály megfelelőségértékelési kötelezettséget ír elő, csak az előírt mód*

*szerinti megfelelőségi tanúsítvánnyal, megfelelőségi nyilatkozattal, illetve megfelelőségi jelöléssel együtt forgalmazhatók.*

A BM-GKM-KvVM 3/2003.(I.25.), az építési termékek műszaki követelményeinek, megfelelőség igazolásának, valamint forgalomba hozatalának és felhasználásának részletes szabályairól szóló együttes rendelete alapján a szállítói megfelelőségi nyilatkozat tartalma a következő: az építési termék szállítójának (gyártójának, forgalmazójának) neve, azonosító jele és címe; az építési termék rendeltetési célja és azonosításához szükséges adatai, a gyártás dátuma, a termék típusa; azon kijelölt (vizsgáló, vagy tanúsító) szervezetek megnevezése, azonosítási száma, amelyek tanúsítványai alapján a megfelelőségi nyilatkozat kiadásra került; azon műszaki specifikációk felsorolása, amelyeknek az építési termék vizsgálaton igazoltan megfelel; a megfelelőségi nyilatkozat érvényességi ideje; a szállító (gyártó, vagy forgalmazó) megfelelőségi nyilatkozat aláírására felhatalmazott képviselőjének neve és beosztása; a megfelelőségi nyilatkozat azonosító száma, a kiadás dátuma, a kiállító cégszerű aláírása.

Az NFH az építőanyagok területén a következő termékcsoportokat ellenőrizte 2009-ben: cement, habarcs, betonacél, falazóelem, tetőfedő anyag, transzportbeton, valamint hő- és vízszigetelő anyagok; 2010-ben: építési fatermékek, bádogos termékek, radiátorok, ivóvízzel érintkező csővezetékek és ivóvízzel nem érintkező csővezetékek.

Büfébedet követően **Dr. Kiss Tibor**, a PTE Közgazdaságtudományi Kar docense tartott előadást *Kék gazdaság az építészetben* címmel. Az ökológiai rendszereken alapuló gazdaság megteremtése megoldás lehet a világszerte tapasztalható gazdasági és ökológiai válságra. Célja, hogy az ember legfontosabb alapszükségeit – ivóvíz, élelem, munka és menedék – kielégítését a gazdaság a természetben található eszközök, környezeti feltételek segítségével biztosítsa, az erőforrások kimerítése nélkül. A tápanyagok és az energia folyamatos visszaforgatásával – a bioszféra működésének körforgásához hasonlóan – elkerülhető a hulladék keletkezése.

A kék gazdaság koncepciójának alapját a természet, a fizikai törvények adják. Ezt felhasználva merült fel például a selyemmel helyettesíthető titán, a gombatermesztéshez használható kávézacc, a szélenergiából, emberi testből nyerhető elektromos energia ötlete, melyek némelyike már a gyakorlatban is működik, és alapja lehet az új gazdasági modellnek. A mögöttes erők, a fizikából következő rendszerfeltételek figyelembe vételével működő kék gazdaság fenntarthatóságot eredményez azzal, hogy csökkenti, vagy kiküszöböli az energiabefektetést, a hulladékot, a nem hatékony anyaghasználatot és ezek költségeit is.

Az új gazdasági koncepció alapjait Günter Pauli *Kék Gazdaság* című könyvében írja le. Pauli azt állítja, ha a bemutatott 100 módszert alkalmaznák a különböző iparágakban, azzal 10 év alatt 100 millió munkahely teremthetőne világszerte, a több-



# Az üvegszálgyártás optimalizálásának lehetséges módszerei

**SZEMÁN JÓZSEF** • jszeman@freemail.hu  
Érkezett: 2010.08.31. • Received: 31.08.2010.

## Possible methods of optimising glass fibre production

The paper presents the glass fibre production sketchily, the spinner deals with some components of a technique and his interactions in detail. Analyse the viscosity, the temperatures, the spinner forming, the bore diameter, the uptime, the conceptual and practical effects of the glass load, the rev. The glass fibre production formulates proposals optimising his possible methods.

Keywords: glassfiber, fiber diameter, spinner, velocity, viscosity, temperature

**SZEMÁN József**

(1949) 1973-ban végzett a Veszprémi Vegyipari Egyetemen, nehézipari szak, folyamatszabályozás ágazaton.  
Munkahelyei: Salgótarjáni Kohászati Üzemek, Nógrádi Szénbányák, Salgótarjáni Üvegyaport Rt, jelenleg nyugdíjas. Publikációi: cikkek az ÉPÍTŐANYAG-ban.

## Bevezetés

A szilikátszálás anyagok felhasználása napjainkban széles skálát ölel fel például hőszigetelés, hangszigetelés, szűrőtechnika, műszertechnika, száloptika, szálerősítésű műanyagtermékek stb. A különböző alkalmazások egységesen megkövetelik a stabil, homogén szerkezetű, közel azonos átmérőjű üvegszálakat. Dolgozatomban az üvegszálak gyártásával, azon belül is a spinner technika néhány összetevőjével és kölcsönhatásaival foglalkozom.

## Az üvegszálak gyártása

Alapvetően két technikája van az üvegszál előállításának a szálhúzásos és a centrifugás, azaz spinner módszer. Mindkét eljárásnál jól nyújtható, homogén üveget kell előkészíteni, olvasztani és azt eljuttatni a szálazóhoz. A szálhúzásos módszerrel az olvadt üveget vékony furatokon húzzák át, majd felcsévélik. Így általában hosszú szálakat gyártanak optikai és műszertechnikai célokra. A centrifugás eljárásnál az olvadt üveg az olvasztókemencéből a feederen át egy felül nyitott, forgó hengerbe, a spinnerbe folyik. A henger palástján több ezer 0,3–1 mm átmérőjű furaton préselődik át az üveg a centrifugális erő hatására. A képződött egyedi vastag üvegszálak olyan hőmérsékletűek, hogy még tovább nyúlnak, vékonyodnak. Ez a technika rövidebb, de vékony szálakat eredményez. Fő gyártási terület az üvegyapot, ásványgyapot és a natúr üvegszál előállítása. Az üvegyapot készítésénél a megolvasztott, homogenizált üveg a feeder végénél egy-egy megfelelő lyukátmérőjű platina testen folyik át a spinnerbe. Ezeket speciális gázégőkkel is melegítik, hűtik a megfelelő hőmérsékletek biztosítása céljából. Egy másik gázégő és terelőlevegő rendszer elősegíti a képződött, viszonylag vastag üvegszálak további nyújtását, a szálátmérő csökkentését, homogenizálását. A szálak felületére, hőre keményedő speciális ragasztót, úgynevezett kötőanyagot permeteznek. A képződött szálhalmazt egy alulról megszívott rácsos szerkezetű szállítószalagon gyűjtik össze, ami továbbítja azt a kikeményítő kemencébe, ahol a termék vastagsága is beállítható. Itt a korábban a szála szőtt kötőanyag a hő hatására polikondenzálódik, és rugalmasan rögzíti egymáshoz az elemi szálakat. Ezután automata vágórendszer eltávolítja a nem homogén széleket és a megfelelő hosszúságú egyedi darabokat alakítja ki. A terméket a gyártósor végén általában automata rendszer csomagolja.

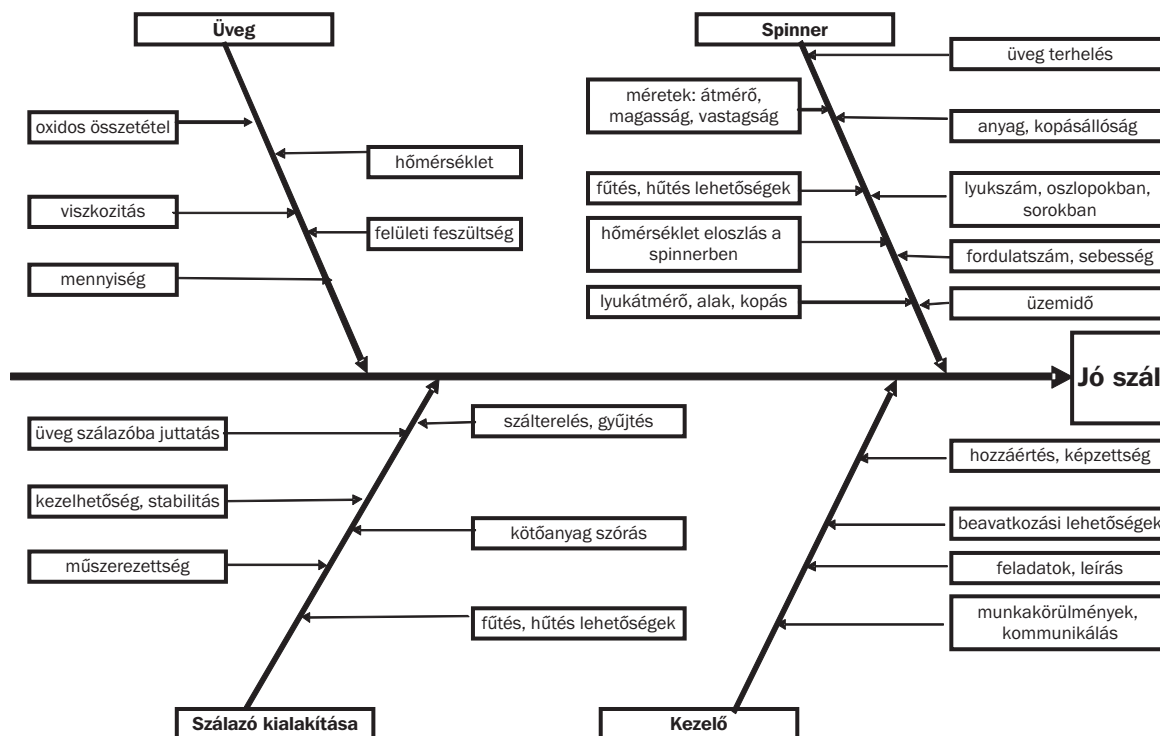
## A szálképzésről

Az olvadt üveg alkalmazott technológiától, üvegösszetételétől függő hőmérsékleten, a platina kifolyókon a szálazótárcsába csurog. Viskozitását az üvegalkotók, és a hőmérséklet határozza meg. A hőmérséklet emelkedésével exponenciálisan csökken az olvadék viszkozitása [1]. A 300–1500 mm átmérőjű és 30–100 mm palástmagasságú, palástján több ezer furattal ellátott forgó tárcsában, a spinnerben az üveget a centrifugális erő a palástra kényszeríti. Az alsó furatokon kifolyik az olvadék egy része, a maradék üveg felkúszik a paláston a következő lyuksorhoz is és ez a folyamat, addig ismétlődik, míg az összes üveg el nem távozik a lyukakon át. Tehát az alkalmazott feltételek hatására beáll egy egyensúly és elképzelhető, hogy a palást tetején található lyukakhoz már nem jut üveg, azokon nem folyik át, illetve kevesebb folyik ki az alsó lyukakon és a palást tetején felgyülemlik, és ott megdermed. Fontos megjegyezni, hogy a szálazótárcsa hőmérséklete lyuksorról lyuksorra változik. Ez azért jelentős tény, mert az üveg viszkozitása drasztikusan emelkedik a hőmérséklet csökkenésével [1] és a magas viszkozitás nagyobb ellenállást eredményez, azaz nehezebben folyik át a furatokon, kevésbé nyújtható, formázható. A lyukakon kijutott üveg a kifolyási sebesség, a viszkozitás és felületi feszültség hatására megnyúlik, vékonyodik, és rosszabb esetben elszakad, azaz aprózódik és üveggöbökké alakul. Az olvadt üveg spinner furataiból történő kifolyási sebességét a viszkozitás, a fordulatszámotól függő centrifugális erő és a lyukátmérő befolyásolja.

A magas hőmérsékletű (900–1100 °C) üvegolvadék természetesen idővel koptatja a spinner apró furatait, így azok kibővülnek és a nagyobb nyíláson több üveg jut át.

Az előző rövid ismertetőből is látszik, hogy a homogén megfelelően vékony szál előállítását számos paraméter befolyásolja, és ezeket esetenként más-más hatáserősséggel kell figyelembe venni. A befolyásoló tényezők jól szemléltethetők egy a minőségbiztosításban már klasszikusnak tekinthető eljárással az Ishikawa ok-hatás diagramos (1. ábra) feldolgozással [2]. A módszer közismert, már a középszintű képzésben is oktatják és előnye, hogy racionális összefüggések tárhatók fel vele a mindennapi gyakorlatban is.

A tapasztalati és logikai úton kapott, illetve ábrázolt befolyásoló tényezők, okok hatáserősségét XY típusú koordináta rendszerben ábrázolva a mérhető jellemzőknél egyszerűen szemlél-



1. ábra A szálképzést befolyásoló tényezők Ishikawa diagramja  
Fig. 1. Ishikawa diagram for fiberising

tethetjük. Ha a pontsereg valamilyen tendenciát követ, akkor azt számszerűsíthetjük is pl. regressziós elemzéssel. Az így nyert és bizonyított hatások már alkalmasak arra, hogy aktívan beavatkozzunk és irányítsuk a szálképzés folyamatát.

Munkámban a szálképzést befolyásoló, numerikus okozókat gyakorlati tapasztalatok és irodalmi hivatkozások alapján választottam ki.

A gyártó érdeke, hogy berendezéseit az optimális maximális hatékonyság közelében üzemeltesse. Ez az üvegterhelés, a gyártókapacitás és a gép üzemidejének minél nagyobb értékét követeli meg. Célszerűen ezek hatásait elemzem először.

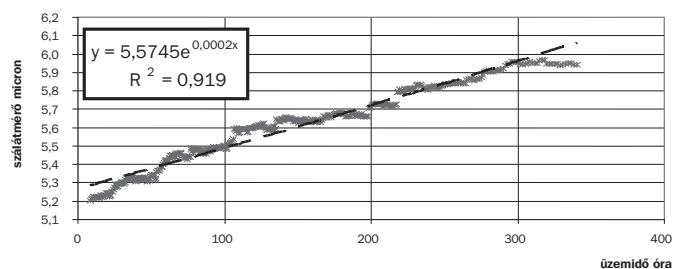
A feldolgozás során tendenciákat mutatok be, ehhez pedig az egyedi adatok okozta nagymértékű szóródást elkerülendő, a mozgóátlag módszerrel nyert simított értékeket használom. A mozgóátlag mintaszámát egyedi becslésekkel határoztam meg, általában  $n = 15 - 30$  értékű egyedi adatok mozgó átlagaival.

### Az üzemidő hatása

Az általános impresszió az, hogy a szálátmérő az üzemidővel arányosan emelkedik (2. ábra). Ez összhangban van azzal a szintén gyakorlati tapasztalattal, hogy a spinner furatai kopnak, bővülnek. A feldolgozott adatok hosszú, több hónapos időszak értékeit ölelik át, így egy-egy résztendencia is megfigyelhető. Ezek az üvegösszetevők s vele együtt a viszkozitás, a technológia, a spinnerok változásai, amelyek természetesen tendenciákat, pontsűrűségeket eredményeznek. Ezek néhány hatását a későbbiekben elemzem, mutatom be.

Összességében megállapítható, hogy a vizsgált ponthalmazra az exponenciális trend illeszkedik a legjobban. Ez egyúttal azt is sugallja, hogy a használati idő emelkedésével a szálátmérő is egyre drasztikusabban nő. Viszonylag egyenletes és alacsony

átmérőjű üvegszál gyártásánál tehát ügyelni kell arra, hogy a gyártósoron ne azonos, hanem különböző üzemidejű spinnernek legyenek használatban.



2. ábra Az üzemidő hatása a szálátmérőre  
Fig. 2. Effect of working time for fiber diameter

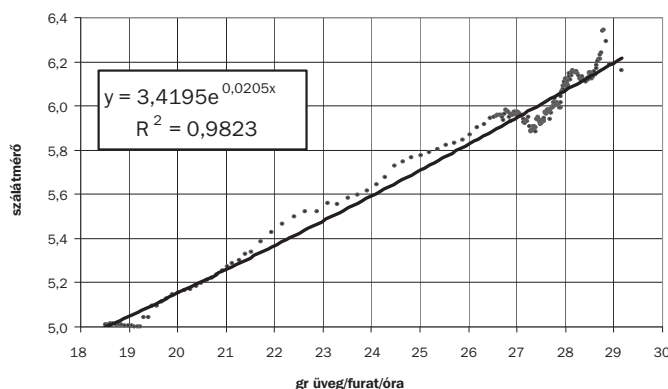
### Az üvegterhelés hatása a szálátmérőre

A különböző kialakítású spinnerok összehasonlításához be kell vezetni egy fajlagos terhelés mutatószámot. Ez a mutatószám célszerűen a furatokon átfolyó üveg átlagos mennyisége, mértéke: gr üveg/furat/óra. Az átfolyó üveg mennyiségét a furat átmérője, a furat hossza, azaz a palást vastagsága, a furat kiképzése, az üveg hőmérséklete és viszkozitása, azaz folyékonysága, az üveget a furaton áthajtó centrifugális erő nagysága, azaz a spinner fordulatszáma alapvetően befolyásolja. A vizsgált adatokat feldolgozva a 3. ábra mutatja be a kapcsolatot a szálátmérő és a fajlagos terhelés között.

A legkisebb terhelési tartományban közel független a terheléstől a gyártott üvegszál átmérője. A vizsgált tartomány (18–30 gr üveg/furat/óra) utolsó negyedében (27–30 gr üveg/furat/óra) már nagyobb ingadozásokkal követi a pontok elhelyezkedése az általános trendet, és itt már jelentősen inhomogén

az átmérő. A jellemző trend az exponenciális közelítéssel adja a legjobb illeszkedést a pontok között. A leíró függvény nagyon jól közelíti a mért értékeket,  $r^2 = 0,9823$ , szálmérő ( $\mu\text{m}$ ) =  $3,4195e^{0,0205x}$  ahol  $x$ : a fajlagos üvegterhelés gr üveg/furat/óra.

Összességében megállapítható, hogy 20–23 gr üveg/furat/óra értéknél kaphatunk 5,5  $\mu\text{m}$ -nél alacsonyabb szálmérőjű homogén terméket. Fontos tehát az optimális furatszám meghatározása az adott technológiához, üvegterheléshez.



3. ábra Az üvegterhelés hatása a szálmérőre  
Fig. 3. The effect of the glass load onto the diameter

### Spinner hőmérsékletek

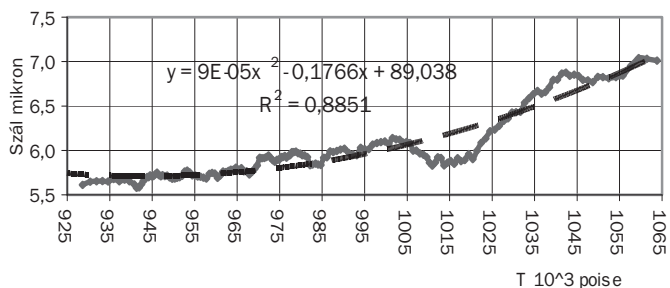
Beavatkozás nélkül a számozótárcsa hőmérséklete a palást mentén fölfelé csökken. Ennek hatására a viszkozitás meredeken emelkedik [3]. A magasabb viszkozitású folyadék, esetünkben az üvegolvadék sűrűdési ellenállása is nagyobb. A lyukakon való átfolyást előidéző nyomóerő a hidrosztatikus nyomás, a folyadékoszlop magasságával a forgó mozgásból eredő gyorsulással és a sűrűséggel arányos.

A folyadékoszlop magassága a palást mentén egyre csökken, hiszen az alsóbb furatokon eltávozik az üveg bizonyos hányada, így a nyomóerő is kisebb lesz (v.ö. 6. ábra). Két azonos hatást eredményező következmény összegződik és a magasabban elhelyezkedő furatokon egyre kevesebb üveg jut át. Az alsóbb furatok fajlagos üvegterhelése nagyobb, mint a fölötte levőké, itt magasabb az üveg furatbővítő koptató hatása, így inhomogén átmérőjű szálat nyerünk. Ezeket kiküszöbölendő a palást hőmérsékletprofilját egy speciális égőrendszerrel célszerű átalakítani úgy, hogy a hőmérséklet kissé emelkedjen a csökkenés helyett. Esetenként a gázégőket csak levegővel javasolt üzemeltetni, ha túl magas a hőmérséklet.

**Viszkozitás hatása a szálmérőre:** Az üveg viszkozitása a gyártás, a feldolgozás során  $10^0$ – $10^{16}$  dPas (poise) tartományban van és a hőmérséklettel exponenciálisan, illetve hiperbolikusan változik. A különböző folyadékok viszkozitás hőmérséklet függésére Vogel [1] a következő összefüggést dolgozta ki:  $\log \eta = A+B/(T-T_0)$  ahol  $\eta$  a viszkozitás  $A$   $B$   $T_0$  konstansok, és  $T$  a hőmérséklet. Az alkalmazott üveg viszkozitását a mért értékekből a [3]-ban ismertetett módszerrel viszonylag egyszerű meghatározni.

A mindennapi gyakorlatból ismert, hogy az üvegtípus, az üvegösszetétel változtatás a szálmérő jelentős változásával, romlásával jár. Az adott üveg viszkozitását az 1000 poise hőmérsékletével és az üvegösszetétel jellemezhetjük, ez a  $\Delta T$ : a  $10^4$  és  $10^{7,65}$  poise hőmérsékletei közötti különbség.

**Az 1000 poise hőmérséklete  $T^{\Delta 3}$ :** A különböző üvegösszetételhez tartozó adatokat ábrázolva a 4. ábrán bemutatott kapcsolat található a szálmérő és az 1000 poise hőmérséklete  $T^{\Delta 3}$  közt.

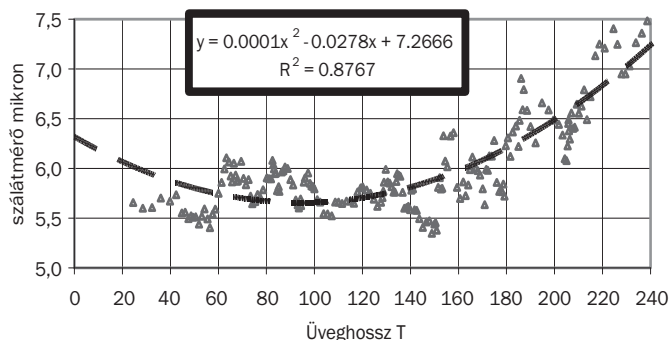


4. ábra A viszkozitás hatása a szálmérőre  
Fig. 4. Effect of viscosity for fiber diameter

Az adatpontokhoz a másodfokú polinom illeszthető a legjobban. Ezt felhasználva 950 °C-nál van az általános minimum, de a görbén 1015 °C-nál is találunk helyi minimumot.

### Az üvegösszetétel hatása

A számolt üvegösszetétel  $\Delta T$ : a  $10^4$  és  $10^{7,65}$  poise hőmérsékletei közötti különbség és szálmérő kapcsolatát az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra Az üvegösszetétel hatása a szálmérőre  
Fig. 5. Effect of the glass length onto the fiber diameter

A mérési pontokhoz itt is a másodfokú polinom illeszthető a legjobban.

A diagram alapján a 80–130 °C között található a minimális szálmérőhöz tartozó optimális üvegösszetétel,  $\Delta T$  értéke.

### Viszkozitás hatása a szálmérőre

Jellemző	Hatása
$T^{\Delta 3}$ magas	üvegszál nem nyúlik, korán dermed $\rightarrow$ vastag szál
$T^{\Delta 3}$ alacsony	üvegszál túlzottan nyúlik, elszakad, a felületi feszültség összetartja az üveget $\rightarrow$ vastag szál, üveggöngyképződés
$\Delta T$ rövid	üvegszál hamar dermed $\rightarrow$ vastag szál, kristályosodási veszély a szálmérő tárcsában
$\Delta T$ hosszú	üvegszál sokáig alakítható, elszakadhat $\rightarrow$ üveggöngy képződés

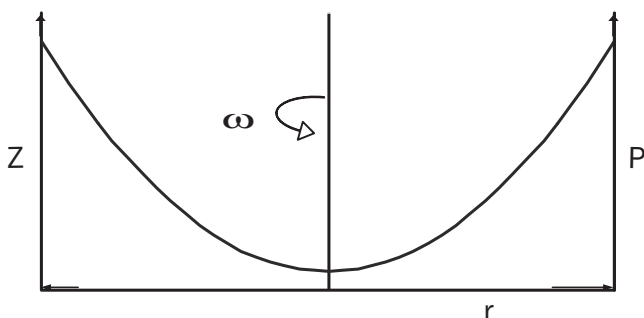
## A szálazótárcsa beavatkozás nélküli viselkedése, kialakuló tendenciák

A szálazótárcsa első közelítésben hasonló egy alul zárt forgó hengerhez, amiben a folyadék, esetünkben az olvadt üveg felszíne forgásparelelloid alakot vesz fel a következő paraméterekkel  $r$  a henger sugara,  $\omega$  a forgó henger szögsebessége,  $n$  a fordulatszám,  $\rho$  az olvadt üveg sűrűsége,  $z$  a függőleges, palást irányú üveg magassága:

$$z = r^2\omega^2/2g + \text{konstans} = 2\pi^2r^2n^2/2g + \text{konstans} \quad (1)$$

A nyomáseloszlás pedig:

$$P = p_0 + \rho r^2\omega^2/2 - \rho gz = p_0 + \rho r^2 2\pi^2 n^2 - \rho gz \quad (2)$$



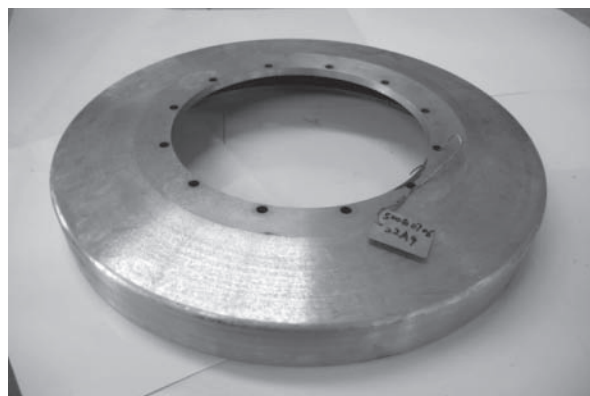
6. ábra Forgó folyadék felülete és nyomása  
Fig. 6. The surface and pressure of the rotating liquid

A forgó mozgás és a szálazótárcsa méreteinek hatása a közelítés szerint úgy összegezhető, hogy mindkét paraméter,  $r$  és  $n$  változtatása négyzetesen hat a  $z$  irányú folyadékmozdulásra. A forgó henger belső felületének minél nagyobb lefedéséhez a henger átmérőjét és a fordulatszámot is növelni kell az (1) összefüggés alapján. A palástra ható nyomás  $z = 0$  értéknél, azaz a henger alján a legnagyobb és  $z$  emelkedésével arányosan csökken, egyébként a henger átmérőjével és a fordulatszámmal is négyzetesen emelkedik a (2) összefüggés szerint.

Azonos furatátmérőket feltételezve és figyelembe véve azt, hogy a nagyobb nyomás több folyadék átfolyását eredményezi a szálazótárcsa furatain, megállapítható, hogy a spinner alsó lyuksorain magasabb az üvegterhelés, mint a fölötté elhelyezkedőkön. A nagyobb üvegterhelés vastagabb üvegszalát eredményez, tehát beavatkozás nélkül már eleve inhomogén az üvegszalátméter eloszlása.

## Furatkialakítások és hatásuk a szálazásra

A tényleges szálképzést a szálazótárcsa palástján több sorban elhelyezkedő 8000~40000 furat végzi. A szálazótárcsa extrém feltételeknek kell, hogy megfeleljen. 800–1000 °C üzemi hőmérséklet, az olvadt üveg korróziót okozó és koptató hatása, több ezres fordulatszám mellett is masszív, stabil legyen a furatok mechanikai, statikai gyöngítése ellenére. Természetes, hogy a tárcsagyártók féltett titokként őrzik, és általában szabadalommal védik a speciális ötvözetek összetételét és a lyukkiosztást. A furatok általában nem egy oszlopban, hanem különböző eltolásokkal helyezkednek el egymás fölött. A szálazótárcsa általános kialakítása a 7. ábrán látható.



7. ábra Szálazótárcsa kialakítása  
Fig. 7. Spinner disc

A szálazótárcsa teljesítményét egyéb feltételek mellett alapvetően a furatok száma határozza meg. A 3. ábrának megfelelően, gyakorlatomban a 20~23 gr üveg/furat/óra furatterhelés eredményezett 5,5 μm-nél alacsonyabb szálátmérőt. Így a furatszám nagyságrendi meghatározása a következő összefüggéssel számolható:

$$\text{Furatszám} = \text{tervezett kapacitás (kg/h)} / (20 \sim 23 \text{ gr üveg/furat/h}) * 1000 \quad (3)$$

A szálazási kapacitás növelése több furatot igényel, kérdés, hogy ezek hogyan helyezhetők el a szálazótárcsa palástján?

Lehetséges megoldások:

- a furatátmérő csökkentése,
- a szálazótárcsa átmérőjének növelése,
- a szálazótárcsa palást magasságának emelése,
- a furatkiosztás optimalizálása, hogy a furatok minél közelebb kerüljenek egymáshoz.

A furatátmérő csökkentésénél és a furatkiosztás optimalizálásánál figyelembe kell venni, hogy az üzemi emelkedésével az olvadt üveg furatbővítő, koptató hatása is jelentkezik. Megfigyeléseim szerint 500 órás használatnál ez 40~45% átmérő növekedést is okoz. A szálazótárcsa átmérőjének növelése megköveteli a teljes szálazórendszer, a spinner átalakítását, a rögzítést, a meghajtást, a gáz-levegő-kötőanyag rendszer újratervezését. A szálazótárcsa palást-magasságának emelése, a szintén szükséges újratervezésen túl a korábbi hőmérséklet profil jelentős megváltozását is okozhatja. Ekkor viszont alaposan figyelembe kell venni a használt üveg viszkozitásának drasztikus átalakulását, lásd [3], mert a magasabb palást nagyobb üveghűlést eredményez és a felső lyuksorra, nem jut el az üveg, extrém esetben befagy a spinnerbe, vagy megkezdődik a kristályosodás.

## A furatátmérő és a fordulatszám együttes hatásai

Alapvetően a következő furatátmérő kialakítás különböztethető meg:

- A: a teljes palástmagasságon azonos méretű lyukak,
- B: alsó lyuksor kisebb, fölötté nagyobb furatátmérő,
- C: alsó lyuksor nagyobb, fölötté kisebb furatátmérő.

Gyakorlati tapasztalatok alapján elmondható, hogy A és B esetben az üzemi emelkedésével jelentősen bővül a furat, kopik a szárazótárcsa és egyre kevesebb üveg jut a tárcsa tetején elhelyezkedő lyuksorokra. Szélsőséges esetben „nem megy fel az üveg” és a felső lyuksorok nem dolgoznak, az alsó furatok üvegterhelése jelentősen emelkedik. Bevált gyakorlat, hogy az üzemi emelkedésével A és B esetben arányosan csökkenteni, míg C esetben növelni kell a fordulatszámot, s így csökken az alsó lyukak üvegterhelése és felkúszik az üveg, az üvegterhelés egyenletesebb lesz, vékonyabb szál képződik.

### Kezelőszemélyzet

A berendezést felügyelő, kezelőszemélyzet hatása nem fogalmazható meg egzakt összefüggésekkel, de az ISO 9001 minőségbiztosítási rendszerünk kialakítása során, a 90'-es években tapasztaltuk azt, hogy mennyire fontos bevonásuk a rendszer üzemeltetésébe. A kezelési utasítások kidolgozásába aktívan bevontuk őket, s így rövid, csak a legszükségesebb elvi leírást, annál több ábrát, és az általuk is javasolt, rövid, azonnal alkalmazható gyakorlati módszer fogalmaztunk meg. Ezzel csökkentettük a gyakran megnyilvánuló szakmai féltékenységet, a „tudom, de nem árulom el” felfogást.

### A mért adatok rögzítése és feldolgozása

Az optimális üzemeltetés, a maximális termelés, a legnagyobb szárazótárcsa üzemi biztosítás, a jó minőségű vékony szál gyártása megköveteli a gyártás paramétereinek folyamatos dokumentálását és azok elemzését. A különböző, időnként felmerülő problémák megoldásához célszerű alkalmazni a különböző statisztikai alapokra épülő kísérlettervezési módszereket. Jelen tanulmányom is ezen elvek korábbi szisztematikus felhasználásával jött létre.

### A szálatmérő csökkentésének lehetőségei

- Alacsony és magasabb üzemi üzemidejű szárazótárcsák egyidejű használata.
- A furat üvegterhelés csökkentése.
- A furatátmérő csökkentése.
- Az optimális viszkozitás viszonyok felkutatása, üvegösszetétel módosítása.
- Az alkalmazott spinner belső fűtésének csökkentése/növelése.
- Az optimális fordulatszám meghatározása és alkalmazása.
- A kezelőszemélyzet intuíciónak kontrolált engedélyezése.
- Alkalmazott statisztikai módszerek használata.

### Összefoglalás

A dolgozat vázlatosan bemutatja az üvegszálglyártást, részletesebben foglalkozik a spinner technika néhány összetevőjével és kölcsönhatásaival. Elemzi a viszkozitás, a hőmérsékletek, a szárazótárcsa kialakítás, a furatátmérő, az üzemi emelkedés, a fordulatszám elvi és gyakorlati hatásait. Javaslatokat fogalmaz meg az üvegszálglyártás optimalizálásának lehetséges módzataira.

#### Felhasznált irodalom

- [1] Vogel, H.: *Physikalische Zeitschrift*. 22 (1921) 645
- [2] Hitoshi Kume: *Statistical methods for quality improvement* AOTS Tokio 1995
- [3] Szemán József: *A viszkozitás szerepe az üvegyártásban* Építőanyag 58. évf. 2006. 1. szám

#### Ref:

Szemán József: *Az üvegszálglyártás optimalizálásának lehetséges módszerei*. Építőanyag, 62. évf. 4. szám (2010), 110–114. o.

## Beszámoló a MESSER Hungarogáz Kft. budapesti központjában tartott üvegipari szakmai konferenciáról

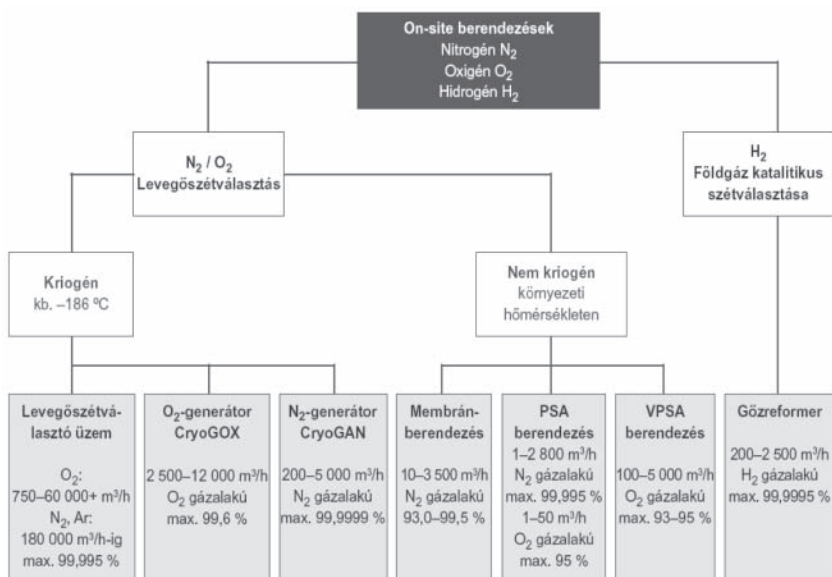
### LIPTÁK GYÖRGY

2010. november 30-án az SZTE Üveg Szakosztálya sikeres szakmai konferenciát tartott a MESSER Hungarogáz Kft. budapesti telephelyén mintegy 50 résztvevővel. Lassan hagyománnyá válik, hogy konferenciáinkat valós ipari környezetben tartjuk gyárlátogatással egybekötve.

Természetesen rögtön felmerülhet a kérdés, hogy miért éppen a MESSER cég lett az összejövetelünknek otthont adó vállalat, nem pedig például egy üvegyár. A választ hadd kezdjem egy kis háttérmagyarázattal.

Az elmúlt két évtizedben jelentős változás történt az üveg-olvasztás technológiájában. Egyre inkább előtérbe került az oxigén felhasználása az olvasztásnál. Először főleg Észak-Amerikában, majd később Európában is egyre inkább tért hódított az új, gáz(olaj)-oxigén tüzelés. Bár az új technológia nem szorított ki csak egyes speciális esetekben a régóta használt regeneratív/rekuperatív gáz(olaj)-levegős tüzelést, az

üvegipar oxigén-felhasználása nagyságrenddel megnőtt. Magyarországon több helyen tértek át az oxigénes tüzelésre, főleg a speciális üvegek gyártásánál. A magyar üvegipar oxigénnel való ellátásában a MESSER Hungarogáz Kft. vezető szerepet vívott ki magának, mint megbízható oxigén beszállító. Az Üveg Szakosztály érdeklődése így fordult az oxigéngyártás felé, hogy ne csak a terméket ismerjük meg, mint felhasználók, hanem az előállítás folyamatát is. Megkeresésünkre a MESSER Hungarogáz Kft. szívesen vállalkozott arra, hogy otthont adjon a konferenciánknak minden költségével együtt, egyúttal szakmailag is bemutatkozva az üvegipari szakembereknek.



1. ábra Ipari gázok előállításának főbb módszerei és berendezései

A konferenciát *Tóthné Kiss Klára*, az SZTE Üveg Szakosztály elnöke nyitotta meg, üdvözölve a résztvevőket. Bevezetőjében elmondta, hogy új jogi taggal bővült szakosztályunk, a SPECIÁLBAU Szerelőipari és Kereskedelmi Kft.-vel, mely régi ismerőse a magyar üvepiparnak. Tevékenysége bár több iparágat is érint, de számunkra az üvepipari létesítmények tervezésében és kivitelezésében váltak ismertté.

A hivatalos program megkezdése előtt kapott lehetőséget Egyesületünk főtitkára, *Asztalos István*, hogy rövid tájékoztatást adjon az SZTE működéséről, céljairól és helyzetéről. Hangsúlyozta, hogy a nehéz gazdasági körülmények között különösen fontos az ipar támogatása annak érdekében, hogy Egyesületünk teljesíteni tudja kötelezettségeit, miközben az Egyesület is folyamatosan racionalizálja működését, annak költségeit.

Ezt követően *Bohner Zsolt*, a MESSER Hungarogáz Kft. ügyvezető igazgatója üdvözölte a hallgatóságot, majd rövid áttekintést adott a világcég, majd a magyarországi gyártás sikertörténetéről. A MESSER csoport ma a világ legnagyobb családi tulajdonban lévő ipari gázgyártó specialistája. Magyarországon 6 saját telephelyi, és 7 un. on-site üzeme van

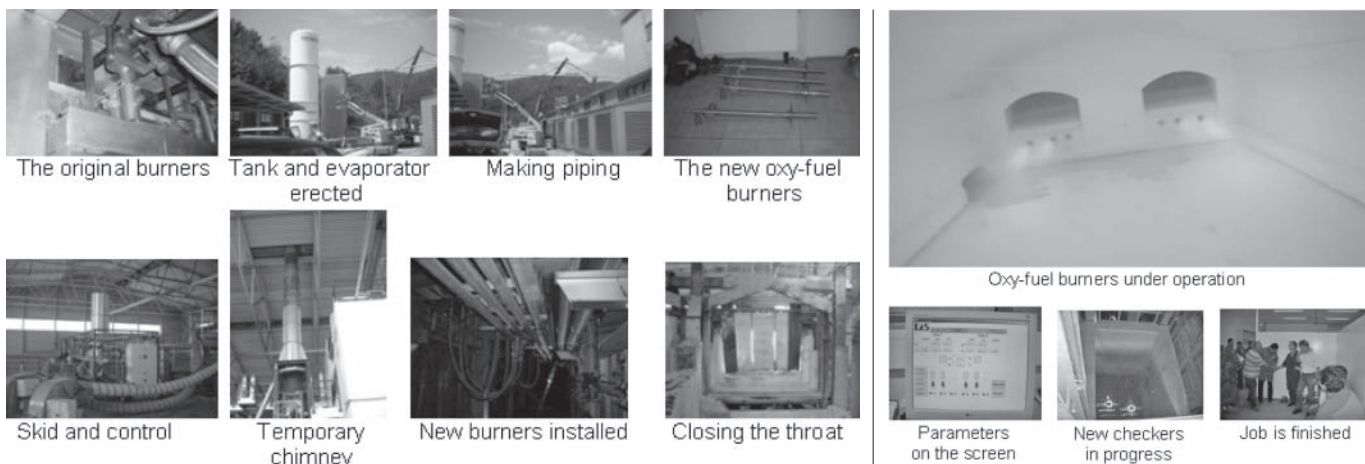
nagy ipari felhasználóknál. Az előadás második részében nagy ívű áttekintést kaptunk a levegősztválasztás lehetőségeiről, melyet jól összegez az 1. ábra.

A konferencia következő prezentációját *Ferenci Norbert*, a MESSER Hungarogáz Kft. alkalmazástechnikai mérnöke - metallurgia, tartotta *Megoldások komplex kihívásokra az üvepiparban* címmel. Először cégüknek az ausztriai Gumpoldskirchenben lévő Alkalmazástechnikai Fejlesztő-központját mutatta be, melyben többek között lehetőség kínálkozik az általuk kifejlesztett égők zárt térben és nyitott állványon történő megbízható tesztelésére. Előadása második részében néhány olyan üvepipari esetet elemzett, ahol gáz-oxigén égők és az azokat kiszolgáló rendszerek időleges telepítésével a termelés fenntartása mellett lehetett például regenerátort átépíteni, melynek menetét a 2. ábrán látható képekkel illusztrálta.

Rövid kávészünet után *Paróczai Csilla*, a Guardian Orosháza Kft. melegvégi technológusa, tartott sok mérési adattal alátámasztott előadást a *Vas-oxid tartalom hatása az olvasztási paraméterekre és a transzmisszióra* címmel. Érdekes előadását több hasznos hozzászólás egészítette ki, egyben alátámasztva az előadók következtetéseit.

Ezután egy rövid gyárlátogatást tehetek a konferencia résztvevői, melynek keretében további műszaki, irányítástechnikai részletbe nyerhettek bepillantást.

A konferencia zárásaként először *Lipták György*, az Üveg Szakosztály titkára foglalta össze a nap tanulságait útravaló gyanánt, bízta a jelenlevőket, hogy nagyobb aktivitással segítsék a jövőben a további konferenciák szervezésének előkészítését. Megköszönte az előadók felkészültségét, a hallgatóság interaktív részvételét, majd külön köszönetet mondott a házigazda szerepét elvállaló MESSER Hungarogáz Kft.-nek a konferencia szponzorálásáért, és azért is, hogy méltó körülményeket teremtett a rendezvény sikeres lebonyolításához. Őt követően *Bohner Zsolt*, ügyvezető igazgató úr meghívta a résztvevőket egy meleg büfébédre, mely kiváló alkalmat nyújtott további szakmai és baráti eszmecsere.



2. ábra Regenerátor átépítése

# The influence of $\text{Al}_2\text{O}_3$ +Al powders stirring time on the quality of alumina based ceramics

ANTON KAYGORODOV • Institute of Electrophysics, Ekaterinburg, Russia • kaigor@iep.uran.ru  
VLADIMIR KHRUSTOV • Institute of Electrophysics, Ekaterinburg, Russia • khrustov@iep.uran.ru

Received: 01.09.2010. • Érkezett: 2010.09.01.

In present paper the influence of mixing time of two powders (alumina and aluminum) on the properties of alumina-based ceramics is studied. It is shown that upon stirring in an ultra low speed ball mill up to 150 hours the homogeneity of the mixture increases with a following decrease at longer stirring times. The optimal mixing time (around 140 hours) for the fabrication of dense (97%) and hard (21 GPa) alumina ceramics was found. The increase of microstructure homogeneity upon stirring was found as well.

Keywords: alumina, stirring, mixture, microstructure

## Introduction

Alumina has been used in production for several decades already, but in terms of advanced physicochemical properties this material is being of current importance for the research due to cheap raw materials and relatively simple synthesis technology. There is quite a number of works, dedicated to fabrication of pure alumina [1–3] as well as composite ceramics with the addition of magnesium, titanium [4], zirconium [5] oxides and so on. Among them the synthesis of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -based ceramics by dry powder technology appears to be one of the simplest and fastest methods. Moreover, the usage of alumina coupled with aluminum allows fabricating monolithic ceramics with high mechanical properties [6, 7].

It's well known that while using powder synthesis route one has to provide the homogeneous mixing of the starting powders in order to obtain advanced ceramics. The best mixtures of the components can be achieved at co-synthesis of the powders (coprecipitation, for instance). The main problem here is drying of the mixture. As it leads to a formation of hard particle aggregates, it becomes extremely complicated to fabricate dense ceramics [8]. According to this it's important to study the influence of the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and Al powders mixing conditions on the characteristics of the alumina ceramics.

## Experimental

In present study two types of powders were used: the commercial 99.8% pure alumina (Inframat Advanced Materials, USA) and passivated aluminum, obtained by the explosion of the wires method (Institute of Electrophysics, Ekaterinburg, Russia) [9]. According to SEM analysis alumina powder consisted of 150 nm particles, sealed to 40 mkm aggregates. These aggregates were destroyed by the ultrasonic treatment in isopropanol, leading to a formation of stable suspension in it. The aluminum powder consisted of 140 nm weakly aggregated particles having the «core-shell» structure (aluminum spheres were covered with 2–4 nm thick amorphous alumina layer).

According to the preliminary data [7] the mixture of the alumina powder with 15 wt.% of aluminum powder was picked as the initial one. For this purpose the suspensions of these

powders were mixed in isopropanol in ultralow speed mill with corundum balls for 260 hours. During stirring a number of sample probes were taken and analyzed.

The obtained mixtures were shaped into discs (10 mm in dia and 0.3–1 mm thick with 0.57–0.61 relative density) at uniaxial magnetic-pulsed press [10] at the pressures of 0.3–0.4 GPa in amplitude. After that the green bodies were sintered at 1550 °C for 30 minutes in air.

The density of the samples was measured by Archimede's method. SEM (Jeol Jem 2100) and AFM (Solver 47p) as well as X-ray (D8 Discover GADDS) were used to study the structure of the materials. The standard scanner (4800 dpi, color 8 bit) was used for estimating of the mixture homogeneity. The microhardness of the ceramics was studied by Vickers indentation method at 2 N load (Nanotest 600).

## Results and discussion

In *Figure 1*. the AFM images of the compacts, obtained from different mixtures are presented. The data are given at “mag-cos” (phase contrast) regime. Here one can clearly see large round-shaped blocks that are typical for the non-sintered polycrystalline solid materials. The blocks are separated by contrast boundaries. The variable brightness of the blocks surfaces (dark spots over the light surface), probably, reveals the heterogeneity of the material. The analysis of the AFM images showed that the size of the block monotonically changes upon mixing time (*Figure 2a*). At that the average block size, obtained at “height” (relief) regime increases, and at “mag-cos” regime – decreases. As “mag-cos” regime allows to point out the regions with different elastic characteristics, the observed change could be connected with the increase of the “discernibility” of the interphase boundaries upon stirring. This obviously indicates more uniform distribution of the mixture components.

The visual control of the color distribution showed that upon stirring the mixture becomes more homogeneous (the color peak width of the sample surface, *A*, is decreasing) (*Figure 2b*). At this stage the critical mixing time is revealed. In case of the mixing time more than 150 hours the heterogeneity of the

Anton KAYGORODOV

is working at Institute of Electrophysics

(Ekaterinburg, Russia) since 2001.

He'd graduated Urals State Technical University at 2003. His PhD thesis was “The investigation of the physical properties of the oxide ceramics, obtained from weakly aggregated nanopowders with the use of magnetic pulsed compaction” (2009). He deals with fabrication of fine oxide ceramics and with the investigation of their mechanical properties. He has over 50 scientific publications.

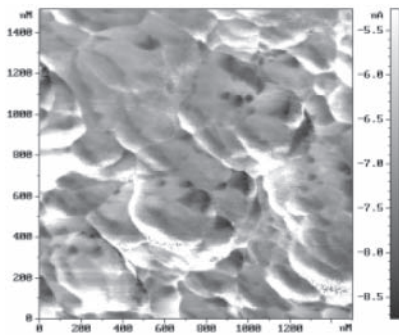
Vladimir KHRUSTOV

is working at Institute of Electrophysics from

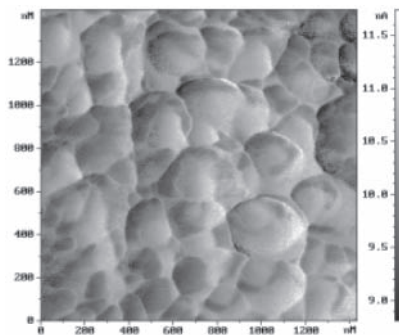
1991. His area of scientific interests is connected with sintering of oxide ceramics with ultrafine structure and investigation of its properties.

He'd graduated Urals State University at 1984. His PhD thesis was “Development and investigation of ceramics based on alumina zirconia and ceria nanopowders”. He is the author of over 50 scientific publications.

stock appears (the heterogeneity of the coloring increases on 20% with respect to the minimal value).



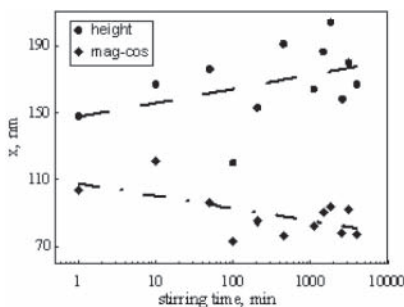
(a)



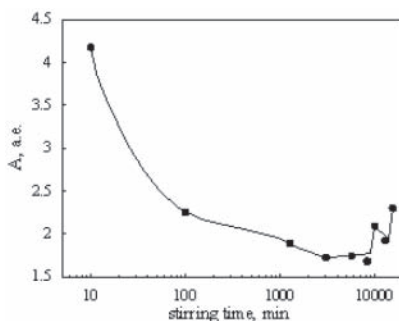
(b)

Fig. 1. AFM images of the surface of the compacts, obtained from  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  and Al mixtures after (a) 3 and (b) 43 hours of stirring

1. ábra Az  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Al porelegyből előállított tömör testek felületéről készített AFM felvételek (a) 3 óra keverési idő (b) 43 óra keverési idő



(c)

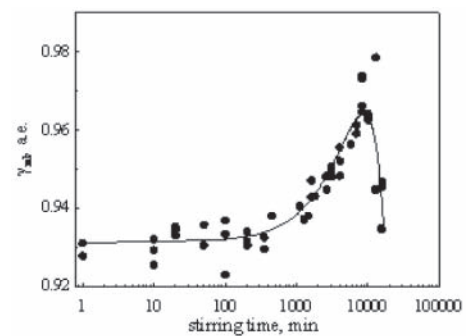


(c)

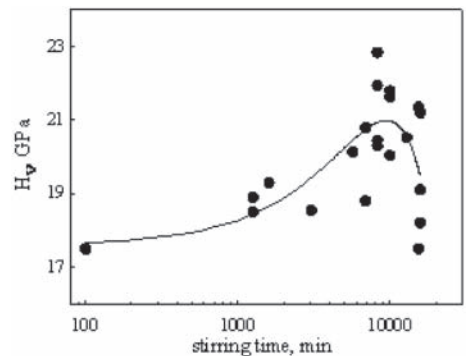
Fig. 2. The influence of stirring time on (a) average linear size,  $x$ , of AFM image and (b) color intensity peak width,  $A$ , of the compacts surface

2. ábra A keverési idő hatása (a) a tömör kerámia felületéről készített AFM felvétel átlagos lineáris ( $x$ ) méretére és (b) a színintenzitás csúcs szélességére ( $A$ )

The most effective method to estimate the quality of the obtained ultradispersed composite powder is to measure the density of the sample sintered from the specific powder. As seen at Figure 3a the density of the sintered ceramics is almost constant at the starting stage of the stirring (up to 20 hours). At longer mixing times the ceramics density significantly increases with the maximum at around 140 hours mixing time. Further mixing leads to the rapid decrease of the ceramics density. Such non-monotone behavior of the ceramics density, sintered from the composite powder, could be explained from the particle aggregation point of view. Probably, the destruction of the aggregates of the initial  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  powder leads to the improvement of the sintering process. Soft Al deforms and slows down the reaggregation of the alumina. At the same time the alumina particles prevent Al particles from sticking together. At the flex point the aggregation process starts to dominate. Perhaps, there are no surfaces free from of Al left and the particles, being “composite”, start conglomerating into new aggregates.



(a)



(b)

Fig. 3. The dependence of (a) relative density and (b) microhardness of the alumina ceramics from the stirring time

3. ábra Az alumínium-oxid kerámiák (a) relatív sűrűségének és (b) mikrokeménységének alakulása a keverési idő függvényében

The ceramic fracture images prove the observed dependence of the properties from the mixing time of the initial powders. It is clearly seen in Figure 4a that the structure consists of large 2  $\mu\text{m}$  grains together with extensive accumulation of small crystals that have faceting. It can be suggested that these crystals were formed due to homogeneous mixture of the powders where the metal component was in excess. The uniform structure is observed in the ceramics, which was sintered from the composite powder mixed for 133 hours (Figure 4b).

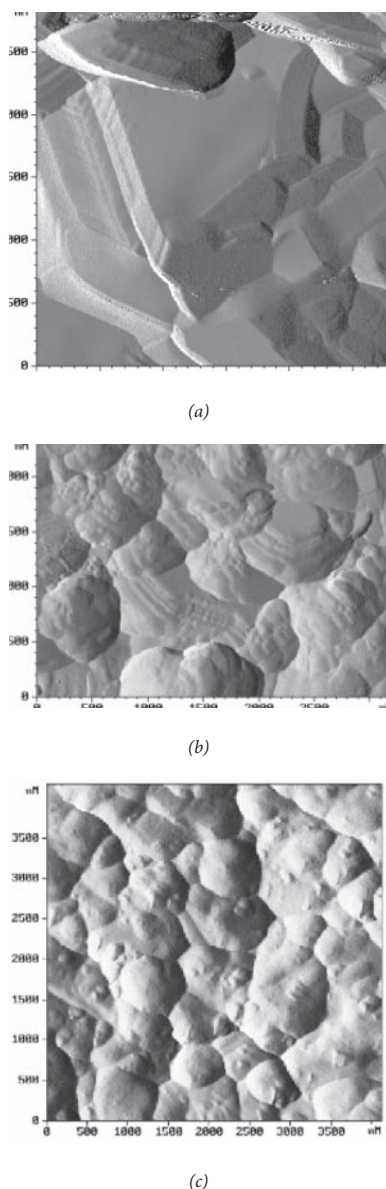


Fig. 4. AFM fracture images of the alumina ceramics, obtained from powder mixtures after (a) 6, (b) 133 and (c) 256 hours of stirring

4. ábra (a) 6 óráig, (b) 133 óráig és (c) 256 óráig kevert porelegyekből készített alumínium-oxid kerámiák törésfelületéről készített AFM felvételek

At this stage the density and the microhardness of the ceramics (Figure 2) is close to the maximal value (97% and 21 GPa respectively). The decrease of the ceramics quality upon maximal mixing times could be connected with the microstructure peculiarities presented in Figure 4c. The fracture surface, build up from submicron blocks is non-uniformly covered by the relatively small grains. It can be assumed that the observed grains were formed from the conglomerated particles. This distribution heterogeneity, the location and the size of these grains can decrease the stiffness of the intergranular boundaries, leading to the decrease of the mechanical properties of the ceramics.

## Conclusions

In present work the influence of stirring time of two powders (alumina and aluminum) on the properties of alumina-based

ceramics was investigated. It was shown that upon stirring in an ultra low speed ball mill up to 150 hours the homogeneity of the mixture increases with a following decrease at longer stirring times. This effect can be explained by the dominating role of aggregates at long stirring times. The optimal mixing time (around 140 hours) for the fabrication of dense (97%) and hard (21 GPa) alumina ceramics was found. The increase of microstructure homogeneity upon stirring was found as well.

## Acknowledgements

The work was supported by the Federal Principal Program “Scientific and Scientific-educational specialists of the Innovative Russia for 2009–2013”.

## References

- [1] Cai, K. – Guo, D. – Huang, Y. – Yang, J.: *Solid freeform fabrication of alumina ceramic parts through a lost mould method*, J. Eur. Cer. Soc., 2003, Vol. 23, pp. 921–925
- [2] Kritikaki, A. – Tsetsekou, Y.: *Fabrication of porous alumina ceramics from powder mixtures with sol-gel derived nanometer alumina: effect of mixing method*, J. Eur. Cer. Soc., 2009, Vol. 29, pp. 1603–1611
- [3] Ganesha, I. – Sundararajana, G. – Olherob, S. – Torresc, P. – Ferreirac, J.: *A novel colloidal processing route to alumina ceramics*, Cer. Int., 2010, pp. 1357–1364
- [4] Ivanov, V. – Ivin, S. – Medvedev, A. – Pararin, S. – Khrustov, V. – Shtol'tz, A.: *Fabrication of Mg and Ti-doped submicron-grained alpha-alumina-based ceramics*, Inorg. Mat., 2001, Vol. 37, pp. 194–201
- [5] Kerkwijk, B. – Mulder, E. – Verweij, H.: *Zirconia-alumina ceramic composites with extremely high wear resistance*, Adv. Eng. Mat., 1999, Vol. 1, pp. 69–71
- [6] Snel, M. – De With, G. – Snijkers, F. – Luyten, J. – Kodentsov, A.: *Aqueous tape casting of reaction bonded aluminum oxide*, J. Eur. Cer. Soc., 2007, Vol. 27, pp. 27–33
- [7] Kaygorodov, A. – Rhee, C. – Kim, W. – Ivanov, V. – Pararin, S. – Spirin, A. – Khrustov, V.: *Nozzles from alumina ceramics with submicron structure fabricated by radial pulsed compaction*, Mat. Sci. Forum, 2007, Vols. 534–536, pp. 1053–1056
- [8] Kikkawa, S. – Kijima, A. – Hirota, K. – Yamamoto, O.: *Crystal structure of zirconia prepared with alumina by coprecipitation*, J. Am. Ceram. Soc., 2002, Vol. 85, pp. 721–23
- [9] Kotov, Yu.: *Electric explosion of wires as a method for preparation of nanopowders*, J. Nanoparticle Res., 2003, Vol. 5, pp. 539–550
- [10] Ivanov, V. – Pararin, S. – Vikhrev, A.: *The approach for the pulsed compaction of hard powders and the device for its realization*, Patent RU № 94039190/02, 1994.

### Az $Al_2O_3$ -Al porelegy keverési idejének hatása az alumínium-oxid kerámiák minőségére

Közleményünkben azt vizsgáljuk, hogy az  $Al_2O_3$ -Al porelegy keverési ideje miként befolyásolja a belőle készített alumínium-oxid kerámiák minőségét. Azt tapasztaltuk, hogy nagyon kis fordulatszámú golyósmalomban 150 óra keverési időig az elegy homogenitása nő, majd további őrlés során csökken. Tömör (97%) és kemény (21 GPa) előállításához mintegy 140 óráig kell az elegyet homogenizálni. A keverés során a mikroszerkezeti homogenitás is javult.

Kulcsszavak: alumínium-oxid, keverés, elegy, mikroszerkezet

#### Ref.:

Anton Kaygorodov – Vladimir Khrustov: *The influence of  $Al_2O_3$ +Al powders stirring time on the quality of alumina based ceramics*. Építőanyag, 62. évf. 4. szám (2010), 116–118. p.

## ICC3 – Beszámoló a 3. Nemzetközi Kerámia Kongresszusról

A világ egyik legszebb és talán legélhetőbb metropoliszában a Máltához hasonló mediterrán éghajlatú Oszakában (Japán) került megrendezésre a 3. Nemzetközi Kerámia Kongresszus 17 párhuzamos szimpózium keretében. Az ICC3 fő rendezője a Japán Kerámia Szövetség volt az Iketasi Tudomány és Technológia Alapítvány (Iketani Science and Technology Foundation), a Nemzetközi Kerámia Szövetség (International Ceramic Federation – ICF), az Ázsiai-Óceániai Kerámia Szövetség (Asia-Oceania Ceramic Federation – AOCF), az Amerikai Kerámia Szövetség (The American Ceramic Society – ACerS) és az Európai Kerámia Szövetség (European Ceramic Society – ECerS) társrendezésével.

A 3. Nemzetközi Kerámia Kongresszus egyaránt nagyszerű lehetőséget biztosított a világ vezető tudományos iskoláinak, anyagtudósainak, fizikusainak, kémikusainak és mérnökeinek egymás kutatási eredményeinek megismerésére – szakmai tudományos vitákra és véleménycserére. A 3 plenáris előadáson kívül a rendezvény 17 szekciójában 1039 tudományos előadás hangzott el és 818 poszter került bemutatásra, amelyből az Európai Unió országai összesen mindössze 173-at jegyeztek. A plenáris

előadásokkal együtt bemutatott 1860 tudományos műből végül Európa a 10%-os részesedést csak a rendkívül jól szereplő Szerbiával (6 előadás és poszter) és Svájcjal együtt volt képes elérni – ami mindenképpen jelentős lépéshátrányról tanúskodik. Ugyanakkor a távol-kelet (Japán, Kína és Korea), valamint az USA dominanciája egyértelműen igazolódott nemcsak az elhangzott előadások és bemutatott poszterek számában, de azok új, tudományos eredményeivel egyaránt.

Különösen szomorú volt tapasztalni, hogy a 11. Szimpózium keretében csak Japánból, Kínából és az USA-ból hangzottak el, illetve kerültek bemutatásra előadások és poszterek. A fenti 3 ország ilyen hallatlan előnye nem csupán tudományos-finanszírozási kérdés, hiszen 1000 lakosra vetítve Kína eddig lényegesen kevesebbet költött „tudományra” mint az Európai Unió, vagy akár Magyarország. A lényeges különbség az, hogy Japánban, Kínában és az USA-ban a műszaki- és a természettudományok területén a PhD abszolutórium megszerzésekor, illetve a PhD értekezés elfogadásakor a szabadalomban való részvételt lényegesen többre értéklik bármilyen rangos folyóirat cikknel vagy független hivatkozásnál. (Igaz, ezekben az

országokban minden országos szakmai folyóirat rangosnak számít, magas impakt faktor számmal.) Japán, Kína és USA mellett a 3. Nemzetközi Kerámia Kongresszuson rendkívül jól szerepelt még Dél-Korea a több mint 130 előadásával és poszterével, valamint Oroszországgal.

A 3. Nemzetközi Kerámia Kongresszuson Magyarországot az Igrax Mérnöki Szolgáltató Kft. és a Miskolci Egyetem Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszéke képviselte, ahonnan Dr. Gömze A. László meghívott előadóként (invited lecture), illetve szekció-elnökként vett részt. Nagy érdeklődés fogadta a Miskolci Egyetem, Igrax Kft. és Nagaoka University of Technology *High Porosity Alumina as Matrix Material for Composites of Al-Mg Alloys* közös poszterét, ahol a szerzők az általuk kifejlesztett 1200–1400 HV keménységű 1,2 g/cm<sup>3</sup> testsűrűségű alumínium-oxid mátrixú szuperötvezet-kompozitot és azon elvégzett vizsgálatok eredményeit mutatták be.

Gratulálunk a résztvevőknek és további eredményes munkát kívánunk.

*Egész Ádám és Magyar Ádám  
a Miskolci Egyetem MSc hallgatói*

### A 3. Nemzetközi Kerámia Kongresszus plenáris előadásai és szimpóziói:

Kazuo Inamori Founder and Chairman Emeritus Kyocera Corporation, Japan	My Life Developing Fine Ceramic Technology – Message to Researchers and Engineers for Future
Ludwig J. Gauckler Professor and Chairman of Department of Materials Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich), Switzerland	Discoveries, Inventions and Innovations in Ceramic Science and Technology
Zhong Lin Wang Regents' Professor and Director of Center for Nanostructure Characterization Georgia Institute of Technology, USA	Ceramic Nanotechnology for Sustainable Energy – Science in Micro/Nano-Systems
Special Symposium:	Emerging Technologies and Future Aspects for Ceramics
Symposium 1:	Advanced Structure Analysis and Characterization of Ceramic Materials
Symposium 2A:	Novel Chemical Processing; Sol-Gel and Solution-Based Processing
Symposium 2B:	Novel Chemical Processing; Molecular Routes to Ceramics and Ceramics-based Materials
Symposium 2C:	Novel Chemical Processing; Chemical Tectonics for Materials Design
Symposium 3:	Nano-Crystals and Advanced Powder Technology
Symposium 4:	Green and Smart Processing
Symposium 5:	Hybrid and Nano-Structured Materials
Symposium 6:	Advances in Electro Ceramics
Symposium 7:	Optical Ceramics
Symposium 8:	Glasses - Science & Technology, and Photonic Applications
Symposium 9A:	Ceramics for Electricity; Energy Conversion and Storage Systems for Green World
Symposium 9B:	Ceramics for Electricity; SOFC and Related Technologies
Symposium 9C:	Ceramics for Electricity; Direct Conversion Technology between Heat and Electricity
Symposium 9D:	Ceramics for Electricity; Advanced Superconducting Materials
Symposium 10:	Ceramics and Composites for Advanced Nuclear Energy and Hazardous Waste Treatment Applications
Symposium 11:	Advanced Ceramic Surface for Environmental Purification: Photocatalysis and Wettability Control
Symposium 12:	Porous Ceramics for Environmental Protection and Advanced Industries
Symposium 13:	Ceramics for Medicine, Biotechnology and Biomimetics
Symposium 14:	Advanced Engineering Ceramics and Composites
Symposium 15:	Advanced Ceramic Sensor Technologies
Symposium 16:	Innovation in Refractories and Traditional Ceramics
Symposium 17:	Health and Safety Aspects of Ceramic Nanoparticles

# Szalmabála anyagú falak tűzvédelmi kérdései

**MÓDER István** • BME • moder@t-online.hu

**LUBLÓY Éva** • BME • lubeva@web.de

**TAKÁCS LAJOS GÁBOR** • BME • lajos.takacs@propannonia.co.hu

Érkezett: 2010.05.14. • Received: 14.05.2010.

## Fire safety questions of straw bale walls

Although straw bales are known for its excellent heat insulation properties, not much known for its fire safety properties. In Hungary the EMI Non-Profit Limited Liability Company for Quality Control and Innovation in Building has already tested a load-bearing wall structure. But no tests were carried out on unplastered straw bales according to the MSZ EN ISO 11925:2 2002 standard, which is not a condition of building straw bale walls but many attribute would get to be known. The aim of our experiments were to subject unplastered straw bales to single-flame source test in order to prepare standardized tests and product development. From the straw bales we made samples in the size of 15x15x15 cm, with the density of the original straw bales of 80-120 kg/m<sup>3</sup>. In total 8 tests were made. It was verified that the charred layer, on a fire exposed straw bale, is not just a bar to inlet oxygen but also forms an insulating layer on the specimen therefore slows down the heat transfer. This phenomena is similar to timber structures where the charring layer provides protection to the inner part of the element.

Keywords: straw bale, fire, combustibility

## 1. Bevezetés

A szalmabálás építés nagymértékben környezetbarát, mert mezőgazdasági mellékterméket hasznosít újra, valamint primer energiaigénye rendkívül alacsony. A szalmabálás építési módnak további előnye, hogy a szalmabála kiváló épületfizikai tulajdonságokkal rendelkezik, különösen kedvező a hővezetési tényezője ( $\lambda=0,0337-0,086$  W/mK). A hővezetési tényező függ a bálák sűrűségétől, fektetési irányától, valamint nedvességtartamától. A szalmabála ma is több vizsgálat tárgyát képezi, de tűzállósági vizsgálatot keveset végeztek. A szalmabálából épült szerkezetek tűzvédelmi megfelelőségét vizsgálták már az Egyesült Államokban, Ausztriában, Dániában, Magyarországon. A fenti kísérletek többségének tárgya szalmabálát is tartalmazó kötött rétegrenddel rendelkező teljes szerkezet volt. A teljes szerkezetek vizsgálatával szemben mi fontosnak éreztük, hogy a szalmabála, mint alapanyag tűzvédelmi tulajdonságait is megismerjük. A kísérletekeinket kisméretű próbatetekkel végeztük.

Cikkünk első felében a rendelkezésünkre álló mérési jegyzőkönyvek alapján ismertetjük a rétegrenddel rendelkező szalmabála falszerkezetek tűzállósági vizsgálatát. Második felében a három, legtöbb információt adó, saját kísérletünket mutatjuk be.

## 2. Szalmabála leírása

A szalma jelentése: a gabona (búza, rozs, árpa, zab, köles) vagy szálas növények (len, kender, rizs) száraz szára. Másként fogalmazva a növény gyökér és kalász közötti levelektől és a virágoktól megtisztított része. A szalma kiszáritva a fához hasonló kémiai tulajdonságokkal rendelkezik, magas szilíciumdioxid tartalmának köszönhetően nagyon lassan rothad. Bálázásra a legalkalmasabb a búza, a tönkölybúza valamint a rozs szalmája. A bálázhatósághoz a szalma szárának legalább 15 cm-nek kell lennie, az optimális méret 30–45 cm.

**Dr. LUBLÓY Éva**

(1976) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki kar 2002), adjunktus a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén (2002). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkárok mérnöki tanulságai. A *fib* Magyar Tagozat tagja.

**MÓDER István Ferenc**

(1987) építőmérnök hallgató (BME Építőmérnöki kar), vizsgáló technikus az ÉMI Építésügyi és Innovációs Kft-ben (2010). Fő érdeklődési területei: szalmabála építéset, tűzterherre méretezés EC szerint. A Szilikátipari Tudományos Egyesület tagja.

**Dr. TAKÁCS Lajos Gábor**

(1971) okl. építésmérnök (BME Építésmérnöki kar 1995), adjunktus a BME Épületszerkezettani Tanszékén (2009). Fő érdeklődési területei: építészeti tűzvédelem, tűzkárok építészeti tanulságai.

A szalmát különböző méretben és formában bálázzák. Az építkezésre szánt bálák kötözése szempontjából megkülönböztünk kéthuzalos és háromhu-

zalos hasáb bálákat. A szalmabálás építkezéshez alkalmazható (kéthuzalos) bálák méretei: 32–35 x 50 x 50–120 cm. Az átlag hosszúság 80 és 90 cm között mozog, ami főként annak tudható be, hogy ma már nem gyártanak kisebb bálázó gépeket. A bálák átlagos halmazsűrűsége  $\rho = 80-120$  kg/m<sup>3</sup> [1]. Novák Ágnes tapasztalatai szerint Magyarországon 40 x 50 x 80 cm méretű bálák az elterjedtek [2].

Építési alkalmazásuk során fontos, hogy a bálák, amennyire csak lehetséges, sűrűek és tömörítettek legyenek. A bálák tömege 15–30 kg között mozog. A szalmabálákat huzal szorítja össze, amely lehet polipropilén, természetes anyagú kender, valamint fém drót. A jól elkészített báláknál a huzalok annyira feszesek, hogy a bála és a zsinig közé az ember ujjja nem fér be. A huzalok kb. 10 cm-re helyezkedjenek el a szélektől, a megfelelő formatartás miatt [3]. Az építkezésre szánt bála nedvességtartalmának kisebbnek kell lennie, mint 15 m%. Az építés helyszínén a bálákat le kell takarni, mindennemű nedvességátástól óvni kell, mindezek mellett az oldalirányú szellőzés megoldása is szükséges.

## 3. Szalmabála anyagú falak tűzállósági vizsgálati

Az MSZ EN 13501-1: 2007 szabvány („Épületszerkezetek és építési termékek tűzvédelmi osztályozása. 1. rész: Osztályba sorolás a tűzveszélyességi vizsgálatok eredményeinek felhasználásával”), valamint az OTSZ 5. része szerint F tűzvédelmi osztályba sorolhatók azok az anyagok, amelyek tűzvédelmi paramétereit nem ismerjük vagy nem teljesítették az E tűzvédelmi osztály elérésére szükséges vizsgálatokat. Ide tartozik a természetes építőanyagok egy része (pl. nád, zsúp, kender). Ahhoz, hogy egy építőanyag E tűzvédelmi osztályba sorolást kapjon az MSZ EN ISO 11925-2: 2002 („Tűzveszélyességi vizsgálatok. Építési célú termékek gyúlékonysága közvetlen láng hatás mellett. 2. rész: „Egyedi láng”-os vizsgálat”) vizsgálaton kell, hogy megfeleljen. Ezt a vizsgálatot Magyarországon, szalmabálán még nem

végezték el. Azon esetekben, amikor az európai kontinensen az építésre alkalmas szalmabálát vizsgálták, azokat mindig kötött rétegrenddel – jellemzően a tűztér felől vakoltan, tűzállósági teszttel – vizsgálták. A vakolatlan szalmabála nem rendelkezik az építési termékekre vonatkozó európai megfeleléségi igazolással – ETA (European Technical Approval) – vagy hazai megfeleléségi igazolással (ÉME). A magyarországi tűzvédelmi vizsgálatok is csak kötött rétegrenddel, teljes szerkezetre történtek, amit az ÉMI (Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.) 2009-ben vizsgált [4].

Szalmabálából épült fal esetén kielégítő tűzállóságú szerkezetről csak akkor beszélhetünk, ha a szalmafal mindkét oldalára teherviselő aljazaton vakolatot hordtak fel (lásd részletesen 3.1, 3.2 és 3.3 alpontokban). A szalmabála falak vakolatát kétoldali deszkázatra vagy vakolaterősítő hálóra hordják fel. A kétoldali vakolat, illetve annak erősítése biztosítja a teljes szerkezet tűzzel szembeni megfelelő ellenállását.

Az alábbi pontokban a korábbi vizsgálatokat és azok eredményeit tekintjük át.

### 3.1. ASTM E-119-es vizsgálat vakolt és cement vakolatú bálaszervezeten

1993-ban két kisméretű (small scale), nem teherhordó bálaszervezetű fal ASTM E-119 vizsgálatát végezték el Albuquerque-ben, New Mexico államban (USA). Az ASTM E-119 az USA-ban használatos vizsgálati szabvány, mellyel az építési anyagok és termékek tűzállóságát mérik szabványosított körülmények között. A próbatest 3 sornyi szalmabálából állt, az alsó és a felső teljes bála, míg a középső 2 db félbála, mely a bálacsatlakoztatási csomópontot modellezi. A szabvány szerint a vizsgálat során 3 lépcsőben kell a hőmérsékletet emelni, a tűrés tartomány  $\pm 10\%$ . Az első öt percben  $1000\text{ °F}$ -re ( $539\text{ °C}$ ), majd  $1550\text{ °F}$ -re ( $843\text{ °C}$ ) a harmincadik percben, míg végül  $1750\text{ °F}$ -re ( $954\text{ °C}$ ) 1 óra múltán. Az egyik próbatest egy vakolatlan szalmabála falszerkezet, a másik próbatest már mindkét oldalán kohósalak adalékanyagú, alumínacemnt kötőanyagú vakolattal ellátott szalmabála falszerkezet volt.

#### 3.1.1. Vakolatlan bálafal vizsgálati eredményei

A tűzmentett oldalon az átlaghőmérséklet a harmincadik perc után  $52,8\text{ °F}$ -tel ( $11,6\text{ °C}$ ) emelkedett. Egyetlenegy hőelemen sem lépte át a megengedett határértéket, a  $250\text{ °F}$ -et ( $121,1\text{ °C}$ ). A vizsgálat első 30 perce alatt sem láng, sem forró gáz nem jutott át a szerkezeten. A vizsgálatot a 34. percben leállították, mert a középső szalmarétegben a függőleges illesztésnél lángátörést tapasztaltak. A szalma vizsgálat közbeni viselkedését figyelő nyílásokon, a vizsgálat teljes időtartama alatt figyelemmel kísérték. A kemencéből való kiemelés után is megvizsgálták a próbatesteket. A kiemelés után a bálák lassan izzottak, de nem kaptak lángra. Az elszenesedett szalmabála külső rétegei elzárták az égést tápláló levegő (oxigén) bejutását a bála belsejébe, így lassítva az égést. A kemencében mért legmagasabb hőmérséklet  $1691\text{ °F}$  ( $921,7\text{ °C}$ ) volt [5].

#### 3.1.2. Vakolt bálafal vizsgálati eredményei

A 120 perces vizsgálat alatt a vakolt szalmabálák tűzmentett oldalán mért legnagyobb hőmérsékletemelkedés  $63,1\text{ °F}$  ( $17,3\text{ °C}$ )

volt. A legnagyobb hőmérséklet a belső oldalon  $1942\text{ °F}$  ( $1061\text{ °C}$ ) volt. A vizsgálat alatt lángátörés nem következett be. A vizsgálat végén (a 120. percben) egy  $2,5\text{ inch}$  ( $6,35\text{ cm}$ ) átmérőjű tömlőből vizet locsoltak a szerkezetre, amely semmilyen károsodást vagy állagvesztést nem okozott (ún. Hose-stream test). Megfigyelték azonban, hogy a 120 perces vizsgálat közben a vakolat fokozatosan megrepedt a tűzterhelés alatt [5].

### 3.2. ASTM E-119-es vizsgálat cement és agyag vakolatú bálaszervezeten

Az USA-ban nem teherhordó szalmabála falszerkezetet ASTM E-119 szerint vizsgáltak 2006-ban. A próbatest  $3 \times 3$  méter, míg az egyes bálák mérete  $35 \times 45 \times 91\text{ cm}$  volt, amelyeket téglakötésben helyeztek egymásra. A bálák összeerősítése bálánként 2 darab polipropilén huzallal (PolyLine 430-as Greenlee gyártmány) készült. A bálákat az oldalukra fektették (laid on-edge), hogy a huzalok a legnagyobb hőmérsékleti igénybevételnek legyenek kitéve; a huzalok mind a tűztér felőli-, mind a tűzmentett oldallal érintkeztek. A bálák csatlakozási csomópontjait sár és szalma keverékkel fedték, valamint, amennyire lehetséges volt, a hézagokat kitöltötték. A szalmafalra horganyzott vakolaterősítő hálót rögzítettek, amelyet levezettek a bálatorok alá. A háló átfedései legalább  $10\text{ cm}$ -esek voltak. A vakolatot kézzel, 2 rétegben hordták fel  $\frac{1}{2}\text{ inch}$  ( $1,27\text{ cm}$ ) vastagságban. A vakolat receptúrája 1 rész mész, 3 rész Portland cement, 10 rész homok, és víz volt, a keveréshez szükséges mennyiségben. A falszerkezetet vakolás után 36 nappal vizsgálták, amely kiállta a 120 perces tűzterhelést, valamint a kötött vízszög vizsgálat által okozott igénybevételt is. A szerkezeten 120 percben belül sem láng, sem annyi mennyiségű forró hő nem tört át, hogy akár egy vattadarabot is meggyújtson. A tűzmentett oldalon az átlaghőmérséklet nem haladta meg a  $250\text{ °F}$ -t ( $120\text{ °C}$ ), valamint egyetlen egy pontban sem lépte át a  $325\text{ °F}$ -t ( $162\text{ °C}$ ). A vizsgálat során a szerkezet 120 perces tűzállósági határértéket kapott [6].

Az agyagtapasztású, nem teherhordó szalmabála-falszerkezet ASTM E-119-es vizsgálatát is elvégezték 2006-ban az USA-ban. A vizsgálat megegyezik az előző kísérletben leírtakkal. A próbatest méretei:  $4,3\text{ m} \times 3,6\text{ m}$ , és a bálák fektetése megegyezik az előző vizsgálatban alkalmazott nem teherhordó falszerkezettel. Az agyagréteget is 2 rétegben hordták fel  $\frac{1}{2}\text{ inch}$ -es ( $1,27\text{ cm}$ ) vastagságban. Az agyagvakolat receptúrája: 3 rész agyag, 2 rész vágott szalma, 6 rész homok, és a permetezéshez szükséges vízmennyiség. A próbatest 28 napos korban mért nedvességtartalma  $11,1\%$ -os volt. A vizsgálat eredményeként a szerkezet 60 perces tűzállósági határértéket kapott [7].

### 3.3. Agyagtapasztású szalmabála-falszerkezet ausztriai vizsgálat

Agyagtapasztású nem teherhordó szalmabála falszerkezetet vizsgáltak 2001-ben Bécsben, a Technische Universität-en. A próbatest méretei:  $2280 \times 2500\text{ mm}$ , vastagság  $43\text{ cm}$ . A próbatest mindkét oldalára  $2\text{ cm}$  agyagvakolatot hordtak fel. A vizsgálatot az ÖNORM 3800-2 szerint hajtották végre, amely szerint a felmelegedési határállapot eléréséhez a tűztől mentett oldalon legfeljebb  $140\text{ °C}$  átlaghőmérséklet és egy ponton  $180\text{ °C}$  hőmérséklet megengedett. A tűzállósági határérték vizsgálat

után egy 15 kg tömegű acélgolyót ütköztettek a szerkezetnek 20 Nm ütőmunkával (ún. Impact test). A vizsgálat megállapította, hogy a szerkezet 90 perces tűzállósági határértékre felelt meg [8].

#### 4. Saját kísérletek

A kísérletünk célja a szalmabála, mint építőanyag vizsgálata volt, nem egy szerkezeti elem vizsgálata. Hazai viszonylatban eddig ilyen jellegű kísérletet nem végeztek. Kísérleteink célja az volt, hogy előkészítsük a szalmabálából készülő szerkezetek további fejlesztését és vizsgálatát. Természetesen tisztában vagyunk azzal, hogy ezek a kísérletek nem a vonatkozó vizsgálati szabványokból rögzített feltételek szerint zajlottak, valamint a vizsgálati eredményekből szabványos következtetéseket sem lehet levonni. A kísérleteket a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén végeztük el.

##### 4.1. A kísérlet módja

A szalmabálákat őstermelőtől szereztük be. A bálákat a felhasználás előtt 2 hétig száraz raktárban tároltuk. A szalmabálából 15x15x15 cm-es, tömörített próbatesteket alakítottunk ki, acél kockasablonok felhasználásával. A tömörítésnél figyelembe vettük az építkezésre szánt szalmabála irányadó halmazsűrűségét, ami 80–120 kg/m<sup>3</sup>. A próbatestek tömörítését a kívánt halmazsűrűség eléréséig végeztük, így a próbakockák tömege 0,270–0,405 kg-ra adódott. A megfelelő tömörséget csömöszülő fa alkalmazásával értük el. A tömörítést és a kötözést kézi erővel végeztük el. Összesen 14 darab próbakockát készítettünk. Egy szalmakockát kötöztünk általános műanyag kötözővel, egy szalmakockát acélhuzallal, 12 darabot kötöző spárgával. A műanyag kötöző és az acél huzallal kötözött próbatesten kívül a 12 darab spárgával kötözött szalmakocka közül véletlenszerűen kiválasztottunk 6 darabot, és ezen a 8 kockán végeztük el a kísérleteket. A vizsgálat során a hőmérsékletet K-típusú hőelemekkel mértük. A vizsgálatot a hőmérséklet csökkenésekor állítottuk le. A következőkben az elvégzett 8 vizsgálatból a 3 legfontosabb vizsgálatot mutatjuk be.

##### 4.2. Első vizsgálat

A vizsgálatot 2009. október 5-én végeztük, amikor 15 °C volt és enyhe szél fújt. A próbatest tömege 270 g volt, ami 80 kg/m<sup>3</sup>-es halmazsűrűséget jelent. A vizsgálatot 2 perc 58 sec után leállítottuk. A próbatest a polipropilén műanyag kötöző anyag elége miatt szétesett (1. ábra). Ennek következtében a próbatest belső rétegeibe is elegendő levegő jutott, az égés intenzitása felgyorsult. Feltételezésünk helyesnek bizonyult, hogy ha csak műanyag kötözőt használunk, akkor a kötöző tűzállósági paramétereit is figyelembe kell venni, ahogy ezt a 3.2-es pontban ismertetett kísérletnél tették.

##### 4.3. Második vizsgálat

A második vizsgálatot szintén 2009. október 5-én végeztük. A próbatest tömege 300 g (90 kg/m<sup>3</sup>) volt. A dróthuzallal átkötött bálával végzett kísérletet a 20. percben felfüggesztettük (2. ábra), mert a hőmérséklet a próbatestben fokozatosan csök-

kent. A megerősített (acél) kötözés miatt a próbatest nem esett szét. A próbatest széleinél 3–5 cm-es elszenesedés látszódott. Megállapítható, hogy az elszenesedett szalmaréteg nemcsak az oxigén bejutást gátolta, hanem hőszigetelő réteget is képezett a próbatesten, így a hőátadást is lassította. Ez a jelenség hasonló a fa égésekor tapasztaltakhoz, ahol az elszenesedett réteg védelmet nyújt a fa belsőbb részeinek [10].



1. ábra A kötözőanyag elégését követően a próbatest viselkedése  
Fig. 1. Specimen right after the combustion of strings



2. ábra A próbatest a 20. percben  
Fig. 2. The specimen in the 20th minute

##### 4.4. Harmadik vizsgálat

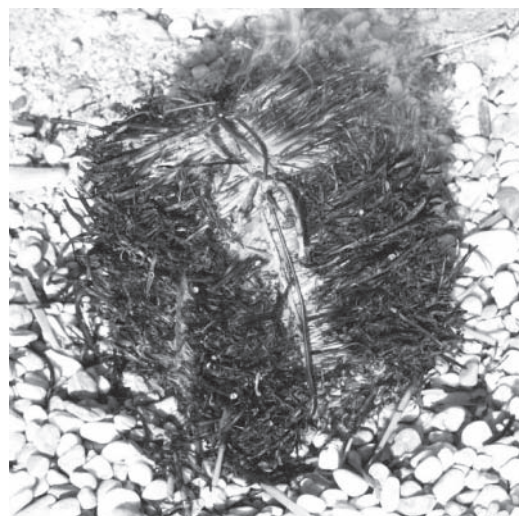
A vizsgálatot 2009. október 21-én hajtottuk végre. A külső hőmérséklet 16 °C volt, enyhe szél fújt. A 370 g-os próbatest halmazsűrűsége 110 kg/m<sup>3</sup> volt. A szalma a tűz indukálásának helyén azonnal izzani kezdett, a lángok a kiálló tarlókon oldal irányban terjedtek. A szalma azonnal kezdett elszenesedni, a tarlók tovább égtek. A láng a próbakocka mindkét oldalára elterjedt. 15 sec elteltével a gázlángot elzártuk. A kiálló tarlók tovább égtek ugyan, de a gázláng elzárása után 3 perc elteltével a tűz kialudt (3. ábra).



3. ábra 3 perc elteltével a tűz elaludt, a képen a szalma beégési képe látható  
Fig. 3. After 3 minutes the fire stopped, the charred straw bale



4. ábra Amikor a kötöző anyag elégett  
Fig. 4. When the strings are combusted



5. ábra Dróthuzallal erősített próbatest a 20. percen  
Fig. 5. Wire strengthened specimen int eh 20th minute



6. ábra Az elszenesedett szalmaréteg mögött a próbatest nem károsodott  
Fig. 6. Behind the charred layer no damage occurred

## 5. Megállapítások

1. A **kötöző anyag** minősége alapvetően befolyásolja a szalmabálák tűzeseti viselkedését. Látható, hogy amennyiben a kötöző anyag nem áll ellen a tűzhatásnak (4. ábra), illetve éghető anyagból készül, károsodásakor a szalmabála szétesik és elegendő mennyiségű oxigén jut az égéshez, így az égési folyamat gyorsan végbemegy. Elsődleges feladat tehát építésre szánt szalma bálázásánál, illetve a további fejlesztéseknél a tűz szempontjából is megfelelő kötöző anyag megválasztása. Legmegfelelőbbnek a horganyzott acél huzalt tartjuk (5. ábra). A tűzzel szembeni ellenállás növelésére további módszer lehet a szalmabálák fektetési irányának meghatározása (építészeti módszer). A legjobb megoldás, ha a kötöző huzalok az esetleges tűznek kitett felületről a lehető legmesszebb kerülnek. A rövidebb oldalukra fektetett („laid on edge”) bálák alkalmazása tűzvédelmi szempontból kerülendő [6] [7].

2. A **tömörtség** növelése kedvezően befolyásolja a szalmabálák tűzzel szembeni ellenállóságát. A szalmabálákra vonatkozó magyar szabvány hiányában nincs előírás az építkezésre szánt szalmabálák tömörségére vonatkozóan. Kaliforniában, a helyi szabályzatnak (building code) megfelelően, csak a  $110 \text{ kg/m}^3$  (7 font/köbláb), vagy ennél nagyobb tömörségű bálák használhatók építkezésre [9]. A kísérletek rámutattak, hogy a szalmabála mint anyag tűzzel szembeni ellenállósága a tömörség növelésével javítható. Továbbá megfigyelhető volt az összes nagy-tömörségű próbatest esetében, hogy a kötöző anyag alatt el sem szenesedett a próbatest, mert a tömörség itt jóval nagyobb, mint a próbatest többi részén.
3. A nagyobb tömörségű szalmabálák nyílt lánggal égés helyett **elszenesedéssel** reagálnak a tűzhatásra. Az elszenesedett külső rétegek (6. ábra) csökkentik az oxigén bejutását a próbatest belső részébe. Az elszenesedés mértéke függ a lángthatás (7. ábra) és a kötözők helyzetétől. Megállapítható, hogy az elszenesedett szalmaréteg nemcsak az

oxigén bejutást gátolja, hanem hőszigetelő réteget is képez a próbatesten, így a hőátadást is lassítja. Ez a jelenség hasonló a fa égésekor tapasztaltakhoz, ahol az elszenesedett réteg védelmet nyújt a fa belsőbb részeinek [10].

4. A próbakockákról szándékosan nem távolítottuk el a **kiálló szálakat** (tarlókat). Ez azt eredményezte, hogy tűz hatására elsőként a kiálló szálak kaptak lángra, ennek ellenére a próbatest nem égett át. A próbatest belsejében még a kiálló szálak ellenére sem tapasztaltunk károsodást, elszenesedést.



7. ábra Látható, hogy a tűzhatás a próbatestet milyen irányból érte  
Fig. 7. The direction of fire exposure is visible

## 6. Összefoglalás

A szalmabálák építészeti alkalmazása ellen elsősorban a tűzvédelmi paramétereit kérdőjelezzük meg, ugyanakkor a szalma hőszigetelő képessége, kis energia igényű előállítás az alkalmazás mellett szól. Magyarországon az MSZ EN ISO 11925-2: 2002 („Egyedi láng”-os vizsgálat) vizsgálatot szalmabálára még nem végeztek el, de számos tűzvédelmi sajátosság megállapítható lenne a vizsgálat eredményeiből. Kísérleteink célja az volt, hogy előkészítsük a szalmából készülő szerkezetek további fejlesztését és vizsgálatát.

Kísérleteinkhez a szalmabálából 15x15x15 cm-es, tömörített próbatesteket alakítottunk ki. A tömörítésnél figyelembe vettük az építkezésre szánt szalmabála irányadó halmazsűrűségét, ami 80–120 kg/m<sup>3</sup>. Összesen 8 vizsgálatot végeztünk.

A kísérleteink alapján megállapítottuk, hogy

- a kötöző anyag minősége alapvetően befolyásolja a tüzeseti viselkedést,
- a tömörség növelése kedvezően befolyásolja a szalmabálák tűzzel szembeni ellenállóságát,
- a nagyobb tömörségű szalmabálák nyílt lánggal történő égés helyett elszenesedéssel reagálnak a tűzhatásra,
- a kiálló tarlók kapnak elsőnek lángra, de ez nem eredményezi a bálateszt átégését.

### Felhasznált irodalom

- [1] Gernot Minke – Friedemann Mahle: *Building with straw*; Birkhauser Verlag, 2005, ISBN 3764371714
- [2] Novák Ágnes: *Szalmabála építészet*; E-misszió Természet és környezetvédelmi Egyesület
- [3] *Information Guide to Straw Bale Building*; [http://www.cob.gr/cob\\_files/strawbaleguide.pdf](http://www.cob.gr/cob_files/strawbaleguide.pdf) és <http://www.amazonails.org.uk/> 2009. május 1. és 2009. november 29.
- [4] A-1/2008-I sorszámon kiadott ÉME; [www.emi.hu](http://www.emi.hu/); 2009. november 22.
- [5] *Summary of New Mexico ASTM E-119 Small Scale Fire Tests On Straw Bale Wall Assemblies*; [http://www.dcat.net/resources/ASTM\\_E119.pdf](http://www.dcat.net/resources/ASTM_E119.pdf); 2009. szeptember 15.
- [6] *2-hr Fire Test of a Non-Load Bearing Wheat Straw Bale Wall*; [http://www.ecobuildnetwork.org/pdfs/Cement\\_Stucco\\_Wall.pdf](http://www.ecobuildnetwork.org/pdfs/Cement_Stucco_Wall.pdf), 2010. január 26.
- [7] *1-hr Fire Test of a Non-Load Bearing Wheat Straw Bale Wall*; [http://www.dcat.net/resources/Non-Bearing\\_Clay\\_Wall.pdf](http://www.dcat.net/resources/Non-Bearing_Clay_Wall.pdf), 2010. január 26.
- [8] *Prüfbericht das Brandverhalten einer Strohballewand*, A Gruppe Angepahte Technologia – Technische Universität, Wien (mit Innen- und Außenputz)
- [9] *California Straw Bale Code*, [http://www.dcat.net/resources/California\\_Straw\\_Bale\\_Code.pdf](http://www.dcat.net/resources/California_Straw_Bale_Code.pdf) 2010. jan. 28.
- [10] Buchanan A. H.: *Structural Design for Fire Safety*, Wiley-VCH Verlag, Germany, 2002, ISBN 0471889938

### Ref.:

Móder István – Lublőy Éva – Takács Lajos Gábor: *Szalmabála anyagú falak tűzvédelmi kérdései*. Építőanyag, 62. évf. 4. szám (2010), 120–124. p.

## VÁLTOZNAK AZ EGYESÜLETI TAGDÍJAK!

Felhívjuk tisztelt tagjaink figyelmét, hogy 2011-től megváltoznak az egyesületi tagdíjak!

A tagdíjak összege a következőképpen alakul:

	Tagdíj 2010-ben	Tagdíj 2011-től
Rendes tagok	3000 Ft	5000 Ft
Diák és nyugdíjas tagok	1000 Ft	2000 Ft

Megértésüket köszönjük!

Az Egyesület vezetősége

## SENIOR TALÁLKOZÓ

A Szilikátipari Tudományos Egyesület 2011. március 24-én, 13.30-kor Senior találkozót szervez örökös tagjai számára.

**Felhívjuk tagjaink figyelmét, hogy a találkozót a korábbiaktól eltérően új helyszínen kerül megrendezésre!**  
**Cím: 1034 Budapest, Bécsi út 120.**

Az összejövetelre tisztelettel várjuk tagjainkat!

az SZTE vezetősége



*A Szilikátipari  
Tudományos  
Egyesület  
kellemes, békés*

*karácsonyi ünnepeket és  
sikerekben gazdag boldog  
újévet kíván minden tagjának!*

THE 2<sup>ND</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE  
ON COMPETITIVE MATERIALS  
AND TECHNOLOGY PROCESSES

**ic-cmtp2**

Miskolc-Lillafüred, October 8-12, 2012  
HUNGARY

The international conference **ic-cmtp2** provide a platform among leading international scientists, researchers, engineers, students and PhD students for discussing recent achievements in research and development of material structures and properties of competitive materials like nano-materials, ceramics, glasses, films and coatings, metals, alloys, biomaterials, composites, hetero-modulus and hybrid-materials, ... etc.

Among the major fields of interest are materials with extreme physical, chemical, thermal, mechanical properties and dynamic strengths; including their crystalline and nano-structures, phase-transformations as well as methods of their technological processes, tests and measurements.

Multidisciplinary applications of material science and technological problems encountered in sectors like ceramics, glasses, thin films, aerospace, automotive and marine industry, electronics, energy, construction materials, chemistry, medicine, biosciences and environmental sciences are of particular interests

Further information can be obtained by e-mail:  
femgomze@uni-miskolc.hu  
from Dr. Eng. Sc. Laszlo A. Gömze

**2011. évi építőipari nemzetközi szakvásárok, -kiállítások**

Ausztria Bécs	február 17-20.	Bauen & Energie	Építőipari szakkiallítás (ház- és lakásépítés, renoválás, energiatakarékos építkezés)
Ausztria Salzburg	február 10-13.	Bauen+ Wohnen Salzburg	Építőipari kiállítás (építkezés, lakás, energiatakarékosság)
Franciaország Párizs	november 7-12.	BATIMAT	Építőipari szakkiallítás
Lengyelország Poznan	január 19-22.	BUDMA	Építőipari szakkiallítás (építőanyag, építőipari szolgáltatások, egységek)
Montenegró Budva	szeptember 21-25.	Civil Engineering Fair	Építőipari szakkiallítás
Németország Drezda	február 25-28.	HAUS	Építőipari szakkiallítás (építőanyagok, épületgépészet)
Németország Frankfurt	március 15-19.	ISH Frankfurt	Építőipari kiállítás (fűtőszoba, klimatizálás, megújuló energia)
Németország Hannover	február 10-13.	BAUEN + WOHNEN	Építőipari és renoválási szakkiállítás
Németország München	január 17-22.	BAU	Építőipari szakkiallítás (építőanyagok, építő-rendszerek, építőipari újdonságok, top kiállítás)
Németország Nürnberg	június 22-25.	Stone + tec	kő-, és kőfeldolgozás szakvásár
Olaszország Milánó	október 5-8.	MADE Expo	Építőipari szakkiallítás (tervezés, anyagok, gépek, szerszámok, technológiák, belsőépítészet)
Olaszország Verona	szeptember	MARMOMACC	márvány, kő és technológiai kiállítás
Szlovákia Nyitra	szeptember	Forest+Lignum Expo/ Roof + Coat + Isolation	tetőfedő, szigetelés, falburkolat szakkiallítás



## Kozstrián János

| 1930-2010

1930. október 1-jén született Patak községben, Nógrád megyében. 1938-ban került Budapestre. Az elemi elvégzése után polgári iskolába járt. 1946-ban kezdett dolgozni a 21. sz. Állami Építőipari Vállalat jogelődjénél, mint ipari tanuló, majd a kötelező ipari gyakorlat letöltése után elvégezte a felső építőipari iskolát, amit 1950-ben

fejezett be a középiskola elvégzése után. A vállalat törökbálinti, budaiorsói építkezésén dolgozott, mint technikus, műszaki előadó, majd építésvezető.

A Műegyetem mérnöki karán szerzett diplomát 1955-ben. 1956–1960-ig a 24. sz., 1961–1962 között a 43. sz. ÁÉV-nál volt építésvezető. 1962–1967 között az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztériumban önálló mérnökként dolgozott. 1967 márciusától a Budapesti Lakásépítő Vállalatnál termelési osztályvezető, műszaki tanácsadó, műszaki fejlesztési osztályvezető volt nyugdíjazásáig. A szakma szeretetét és alázatát bizonyítja, hogy munkája során szakmai előmenetelére áthelyezésekkel került sor. Munkája során több alkalommal részt vett más országok (NDK, Jugoszlávia, Szovjetunió, Lengyelország, Csehszlovákia, Ausztria, Franciaország, Románia, Kárpátalja) építőipari cégeinek szakmai megismerésében és a technológiák (alagútszalulás építési rendszerré alakítás, vízzáró tetőfedőm kifejlesztése, paneles

építés adaptálása, előregyártott fogadószint kialakítása) hazai bevezetésében.

Több építőipari folyóiratban publikált. 1974-ben „Eljárás a testek felület vízszigetelésére, korrózió védelmére, illetve ragasztására” szabadalom kidolgozásában vett részt. 1989–2004 között több József Attila lakótelepi társasház közös képviselője volt, amelyek korszerű felújításnál magas szinten tudta biztosítani a műszaki irányelveket.

Az Építőipari Tudományos Egyesületnek 1976 óta tagja volt. Az Építész Kivitelezési Szakosztály vezetőségének 1980 óta volt tagja, titkári beosztásban 1998-ig. Évente mintegy 60 rendezvényt szervezett. Az itt végzett munkájáért ÉTE Érdeméremmel 1988-ban, Alpár Éremmel 1996-ban ismerték el.

A Szilikátipari Tudományos Egyesület Szigetelő Szakosztályának 1995 óta titkára volt. Aktívan részt vett a szakosztály szervezési és lebonyolítási munkáiban.

Kitüntetései: 1996-ban Építőipar Kiváló dolgozója. 1968, 1975, 1978-ban Kiváló dolgozó (BLV). 1986-ban Kiváló Munkáért (ÉTE), 1988-ban ÉTE Érdemérem (ÉTE), 1996-ban Alpár Érem (ÉTE). 2005-ben Ybl Egyesület Mívesmester Díj.

Betegsége miatt 2008-tól nem vett részt az aktív munkában. 2010. október 1-jén 80. születésnapján, a Szent Kereszt Templomban búcsúztak tőle családja, barátai, kollégái.

Szomorú szívvel búcsúzunk, emlékét megőrizzük.

**The manuscript must contain the followings: title; author's name, workplace, e-mail address; abstract, keywords; main text; acknowledgement (optional); references; figures, photos with notes; tables with notes; short biography** (information on the scientific works of the authors).

**The full manuscript should not be more than 6 pages including figures, photos and tables.** Settings of the word document are: 3 cm margin up and down, 2,5 cm margin left and right. Paper size: A4. Letter size 10 pt, type: Times New Roman. Lines: simple, justified.

### TITLE, AUTHOR

The title of the article should be short and objective.

**Under the title the name of the author(s), workplace, e-mail address.**

If the text originally was a presentation or poster at a conference, it should be marked.

### ABSTRACT, KEYWORDS

The abstract is a short summary of the manuscript, about a half page size. The author should give keywords to the text, which are the most important elements of the article.

### MAIN TEXT

Contains: materials and experimental procedure (or something similar), results and discussion (or something similar), conclusions.

### REFERENCES

References are marked with numbers, e.g. [6], and a bibliography is made by the reference's order.

#### Examples:

Journals:

[6] Tóth, Gy. – Máté, B.: *Földtani tényezők bazaltbányák művelésénél*. Mélyépitéstudományi Szemle. XXIV. évf. 4. szám (2004), pp. 145-148.

Books:

[6] C. Barry Carter – M. Grant Norton.: *Ceramic Materials Science and Engineering*. Springer Science + Business Media, LLC; New York, 2007.

### FIGURES, TABLES

All drawings, diagrams and photos are figures. The **text should contain references to all figures and tables**. This shows the place of the figure in the text. Please send all the figures in attached files, and not as a part of the text. **All figures and tables should have a title.**

**Please note that the color of the journal is black-and-white. Colored figures should be as well understandable.**

The figures should be: tiff, jpg or eps files, 300 dpi at least, photos are 600 dpi at least.

### BIOGRAPHY

Max. 500 character size professional biography of the author(s).

### CHECKING

The editing board checks the articles and informs the authors about suggested modifications. Since the author is responsible for the content of the article, the author is not liable to accept them.

### CONTACT

Please send the manuscript in electronic format to the following e-mail address: femgomze@uni-miskolc.hu and epitoanyag@szte.org.hu or by post: Scientific Society of the Silicate Industry, Budapest, Bécsi út 122–124., H-1034, HUNGARY

**We kindly ask the authors to give their e-mail address and phone number on behalf of the quick conciliation.**

## INHALT

- 98 Relaxation der mechanischen Spannungen in den hetero-modulen und hetero-viskosen komplexen Keramiken
- 102 Neue, molekulare Betrachtungsweise der Wechselwirkungen Nanoteilchen-Polymer: Anwendungsbeispiel für ein System Liso-phospholipid Mizelle - Polyakrylsäure
- 110 Mögliche Methoden für die Optimierung der Glasfaserherstellung
- 116 Wirkung der Mischzeit der  $Al_2O_3$  – Al Pulvermischung auf die Qualität der Aluminiumoxyd-Keramiken
- 120 Feuerschutztechnische Fragen bei den Wänden aus Strohballen

## СОДЕРЖАНИЕ

- 98 Релаксация механических напряжений в гетеромодульных и гетеро-вискозных комплексных керамических системах
- 102 Новый молекулярный подход к взаимодействию полимер-наночастиц: практический пример на системе лизофосфолипид мицелла - полиакриловая кислота
- 110 Возможные методы оптимизации производства стекловолокон
- 116 Влияние времени перемешивания  $Al_2O_3$  – Al порошковой смеси на качество керамики из оксида алюминия
- 120 Вопросы противопожарной безопасности стен из соломенных блоков

## ELŐFIZETÉS

Fizessen elő az  
ÉPÍTŐANYAG c. lapra!

Az előfizetés díja 2011-től  
1 évre **5000 Ft.**

Előfizetési szándékát kérjük  
az alábbi elérhetőségek  
egyikén jelezze:

Szilikátipari  
Tudományos Egyesület

Telefon/fax:  
06-1/201-9360

E-mail:  
info@szte.org.hu

Előfizetési megrendelő letölthető  
az Egyesület honlapjáról:  
www.szte.org.hu

# KÖSZÖNJÜK A SZAKKÉPZÉSI TÁMOGATÁST!

## 2009-ben támogatóink:

A Beton Viacolor Térkő Zrt.

Adeptus Zrt.

Bakony Kopásálló Kerámia Kft.

Baumit Kft.

Columbian Tiszai Koromgyártó Kft.

Creaton Hungary Kft.

Duna-Dráva Cement Kft.

Geoproduct Kft.

Guardian Orosháza Kft.

Hajdú Téglakft.

Holcim Hungária ZRt.

KGS Diamond Hungary Kft.

Korall Csempe Kft.

Kvarc-Ásvány Kft.

Mályi Téglakft.

Mullit Kft.

Refmon ZRt.

Saint-Gobain Weber Terranova Kft.

Tondach Magyarország Zrt.

Villas Hungária Kft.

Villeroy & Boch Magyarország Kft.

Wienerberger Zrt.

XELLA Magyarország Kft.

A Miskolci Egyetem Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszéke őszinte köszönését fejezi ki szakképzési támogatásukért a fenti vállalatoknak!

Felhívjuk figyelmüket, hogy támogatóink részére kedvezményesen vállalunk szemese- és anyagszerkezeti, anyagösszetételi, hevítómikroszkópos, termoanalitikai, mikro- és makrokeménységi, valamint alakadási, szinterelési és technológiai vizsgálatokat.

Dr. Gömze A. László

Kemenceszoba



Haake RS80  
Reométer



HITACHI TM-1000  
Scanning elektronmikroszkóp



KEMA PVP-5  
Vákuumextrúder



Malvern Mastersizer X  
Lézergranulométer



Rapid K  
Hővezetésmérő



ST-3001  
Karcvizsgáló



Camar Elettronica  
Hevítómikroszkóp



Derivatográf

Köszönjük Önöknek, hogy szakképzési adójuk egy részének átadásával 2009-ben is hozzájárultak a Miskolci Egyetem Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszéke laboratóriumainak fejlesztéséhez. Az Önöktől kapott szakképzési támogatás jelentős mértékben segít bennünket abban, hogy az építő- és építőanyag-ipar, valamint műszaki kerámiák számára olyan korszerű laboratóriumokat hozzunk létre Tanszékünkön, amelyek egyaránt szolgálják a színvonalas oktatást és az ipari alkalmazott kutatást.

**ÖNÖKKEL EGYÜTT ÖNÖKNEK KÉPEZZÜK A  
SZILIKÁTTECHNOLÓGUS BSc, ILLETVE A KERÁMIA- ÉS  
SZILIKÁTMÉRNÖK MSc SZAKEMBEREKET.  
KÖSZÖNJÜK AZ EHEZ NYÚJTOTT SEGÍTSÉGET!**

Elérhetőségeink:

Tel.: (30) 746-2714; Fax: (46) 565-103; e-mail: femgomze@uni-miskolc.hu



Minőségi alkatrészek és szervíz



Kopásvédelem



Tanácsadás



## Sandvik In Action

A Sandvik a világ vezető bányászati gépgyártójaként korszerű megoldásokat kínál a fúrési, törés- osztályozási, anyagmozgatási feladatokra. Berendezéseinkkel és magas szinten képzett szakembereinkkel állunk partnereink rendelkezésére a bányászat és az építőipar minden területén.

Az általunk forgalmazott gépekhez eredeti, minőségi alkatrész és szervízellátást biztosítunk.

Vállaljuk rész- vagy komplett üzemek tervezését, kivitelezését, műszaki tanácsadást.



# New refractory products from REFMON Co. Ltd. special products

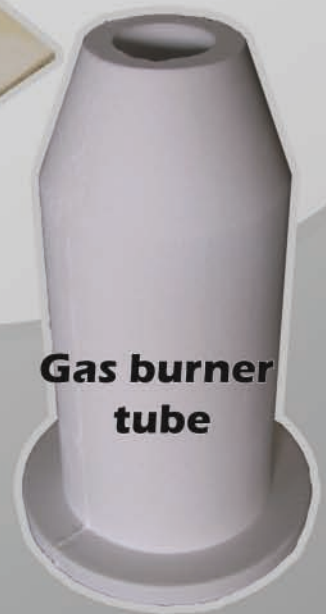
**Diaphragm  
tube**



**Kiln furnitures**



**Gas burner  
tube**



**Glass melting  
pot**



A fejlesztés a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával valósult meg.

9200 Mosonmagyaróvár-Újudvar, Bereki út 1  
tel.: 06 96 578 578 fax.: 06 96 578 577 email: refmon@refmon.hu

Special products



Messe München  
International

## Az építés jövője



**BAU 2011**  
MÜNCHEN • január 17–22.

[www.bau-muenchen.com](http://www.bau-muenchen.com)

**A világ vezető vására:  
építészet, anyagok, rendszerek**

- Több mint 1.900 kiállító
- 180.000 m<sup>2</sup> kiállítási terület
- 151 országból 212.000 látogató

© Információ: Promo Kft. • 1015 Budapest • [messemunchen@promo.hu](mailto:messemunchen@promo.hu) • tel. 224-7764 • fax 224-7763 • Belépőjegy Ft-ért itt vásárolható.  
© Messe München GmbH • [info@bau-muenchen.com](mailto:info@bau-muenchen.com) • tel. (+49 89) 9 49-113 08 • fax (+49 89) 9 49-113 09