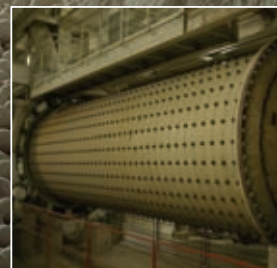


## A TARTALOMBÓL:

- **Static indentation hardness testing of concrete: a long established method revived**
- **Szemcsés anyagok – csővezetékben – folyadékárammal való szállításának méretezése**  
1. rész: Kísérleti berendezések és modell
- **Applying master curve at the grids strengthened asphalt structures**
- **Durability of H-class cement and blast furnace slag-based cementitious composites**
- **Treatment, characterization and  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  adsorption behaviour of chemically treated bentonite clay: a comparative study**
- **Development of hydraulic binder using industrial wastes**



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

- 2 Egy régi módszer új nézőpontból: megszilárdult beton statikus keménységmérése  
SZILÁGYI Katalin ■ BOROSNYÓI Adorján ■ DOBÓ Kristóf
- 8 Folyóiratszemle
- 10 Szemcsés anyagok – csővezetékben – folyadékárammal való szállításának méretezése  
1. rész: Kísérleti berendezések és modell  
FAITLI József
- 16 Mester görbék alkalmazása a rácserősítésű aszfaltszerkezeteknél  
ALMÁSSY Kornél ■ TÓTH Csaba
- 18 H-osztályú cement és nagyolvasztói salak alapú kompozit cementek tartóssága  
María Teresa FUENTES ROMERO ■ Enrique ROCHA-RANGEL ■ Sebastián Díaz DE LA TORRE ■ Manuela DÍAZ CRUZ
- 24 Összehasonlító vizsgálatok egy bentonitos agyag kémiai kezeléséről, jellemzéséről, valamint Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> és Zn<sup>2+</sup> adszorpciójáról  
Makhlouf BOUFATIT ■ Fettouma MOHAMMED-AZIZI ■ Soraya DIB
- 28 Hidraulikus kötőanyag fejlesztése ipari hulladékokból  
MUCSI Gábor ■ DEBRECZENI Ákos ■ MÁDAI Viktor ■ DUDOK Tímea ■ CSŐKE Barnabás
- 33 A magyar perlit 50 éve – könyvajánló
- 34 Gábor Dénes-díjat kapott Egyesületünk Elnöke
- 36 Üvegipari Szakmai Konferencia  
FERENCI Péter
- 37 Egyesületi és Szakhírek

## CONTENT

- 2 Static indentation hardness testing of concrete: a long established method revived  
Katalin SZILÁGYI ■ Adorján BOROSNYÓI ■ Kristóf DOBÓ
- 8 Journal review
- 10 Design of transport of particulate materials by fluid flow in pipelines  
Part 1: Experimental equipment and model  
József FAITLI
- 16 Applying master curve at the grids strengthened asphalt structures  
Kornél ALMÁSSY ■ Csaba TÓTH
- 18 Durability of H-class cement and blast furnace slag-based cementitious composites  
María Teresa FUENTES ROMERO ■ Enrique ROCHA-RANGEL ■ Sebastián Díaz DE LA TORRE ■ Manuela DÍAZ CRUZ
- 24 Treatment, characterization and Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> adsorption behaviour of chemically treated bentonite clay: a comparative study  
Makhlouf BOUFATIT ■ Fettouma MOHAMMED-AZIZI ■ Soraya DIB
- 28 Development of hydraulic binder using industrial wastes  
Gábor MUCSI ■ Ákos DEBRECZENI ■ Viktor MÁDAI ■ Tímea DUDOK ■ Barnabás CSŐKE
- 33 50 years of Hungarian perlite – book commendatory
- 34 President of the Society received Dennis Gabor Award
- 36 Glass Conference  
Péter FERENCI
- 37 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. TÁLABÉR 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. CSŐKE Barnabás  
Energiaüzemeltetés • Energetics – Prof. Dr. SZÜCS István  
Építőanyag-ipar • Building materials industry –  
Prof. Dr. TAMÁS Ferenc

### TAGOK • MEMBERS

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

### TANÁCSADÓ TESTÜLET • ADVISORY BOARD

FINTA Ferenc, KISS Róbert,  
Dr. MIZSER 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: 1250 Ft  
A lap az SZTE tagok számára ingyenes.

Nyomdai munkák: Sz & Sz Kft.  
Tördelő szerkesztő: NÉMETH Hajnalka  
Belföldi terjesztés: SZTE  
Külföldi terjesztés: BATTHYANY KULTUR-PRESS Kft.

### HIRDETÉSI ÁRAK 2011 / ADVERTISING RATES 2011:

B2 borító színes / cover colour	153 000 Ft	612 EUR
B3 borító színes / cover colour	141 000 Ft	564 EUR
B4 borító színes / cover colour	165 000 Ft	660 EUR
1/1 oldal színes / page colour	116 000 Ft	464 EUR
1/1 oldal fekete-fehér / page b&w	64 000 Ft	256 EUR
1/2 oldal fekete-fehér / page b&w	32 000 Ft	128 EUR

Az árak az áfát nem tartalmazzák. / Without VAT.

Az előfizetési és hirdetési megrendelő letölthető az SZTE honlapjáról.  
Order-forms for subscription and advertisement are available on Society's website.

A lap teljes tartalma olvasható a [www.szte.org.hu](http://www.szte.org.hu) honlapon.  
HU ISSN 00 13-970x INDEX: 2 52 50 • 63 (2011) 1-40

### A SZILIKÁTIPIARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

#### TÁMOGATÓ TAGVÁLLALATAI

3B Hungária Kft. ■ Air Liquide Kft. ■ Altek Kft. ■ Anzo Kft.  
Baranya Téglá Kft. ■ Basalt Középkő Kőbányák Kft.  
Berényi Téglaiipari Kft. ■ Budai Téglá Zrt.  
Cemkut Kft. ■ Colas-Északke Kft. ■ Deco-Mat Kft.  
Fátyolüveg Kft. ■ G&B Elastomer Trade Kft.  
Gamma-Kerámia Kft. ■ GE Hungary Kft. ■ Geoteam Kft.  
Guardian Orosháza Kft. ■ Humán-Szerviz 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.  
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. ■ RATH Hungária Kft.  
Speciálbau Kft. ■ Szema-Makó Kft. ■ SZIKKTI Labor Kft.  
Tégla- és Cserépipari Szolgáltató Kft. ■ WITEG Kőpor Kft.  
Zalakerámia Zrt. ■ Zsolnay Porcelánmanufaktúra Zrt.

# Static indentation hardness testing of concrete: a long established method revived

**KATALIN SZILÁGYI** ▪ BME Dept. of Construction Materials and Engineering Geology  
▪ szilagyk@gmail.com

**ADORJÁN BOROSNYÓI** ▪ BME Dept. of Construction Materials and Engineering Geology  
▪ adorjan.borosnyoi@gmail.com

**KRISTÓF DOBÓ** ▪ BME Dept. of Construction Materials and Engineering Geology  
▪ kristofdob@gmail.com

Received: 06.02.2011. ▪ Érkezett: 2011.02.06. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.1>

Hardness (even in-situ) testing of materials offers the potential of strength estimation by means of a much simpler test than the direct compressive or tensile strength testing. Nevertheless, the theoretical approaches of contact mechanics and hence that of hardness has several gaps. In the technical literature limited number of experimental studies is available on cement mortars and concretes by static ball indentation hardness testing devices. It can be found that a power function can suitably characterize the relationship between the Brinell hardness and the compressive strength of concrete in those cases where one load level is applied for testing. A much detailed analysis can be provided if several load levels are used. Power functions between the indenter load ( $F$ ) and the residual impression diameter ( $d$ ) can be formulated for different concrete strengths,  $F \propto a \cdot d^n$ , of those empirical parameters  $a$  and  $n$  are material properties as it was demonstrated for metals by Meyer in 1908. Objective of present experimental study was to thoroughly investigate normal weight hardened concrete specimens by a static ball indentation hardness testing laboratory device at several load levels on a wide range of compressive strength and age of concrete at testing. It was found that the power in the Meyer relationship is apparently a constant for concrete, independently of the water-cement ratio and the age at testing, while the multiplier in the Meyer relationship is very sensitive to both influencing factors. The results disproved the hypothesis of the power function relationship between the residual indentation diameter and the compressive strength of concrete with a power of -4.0 published in the technical literature. The results confirmed the existence of a linear general model for the relationship between the compressive strength and the Brinell hardness of concrete, as an average power of 1.128 was found.

Keywords: concrete, compressive strength, Brinell hardness, Meyer hardness, indentation testing

## 1. Introduction

Hardness testing was the first material testing practice from the 1600's in geology and engineering through the scratching hardness testing methods (1640, Barba; 1722, Réaumur; 1768, Kvist; 1801, Haüy; 1812, Mohs); appearing much earlier than the systematic material testing that is considered to be started in 1857 when David Kirkaldy, Scottish engineer set up the first material testing laboratory in London, Southwark [1, 2, 3, 4, 5]. The theoretical hardness research was initialized by the pioneering work of Heinrich Hertz in the 1880's [6]. Hertz's proposal formed also the basis of the indentation hardness testing methods by Brinell (1900), Rockwell (1920), Vickers (1924) and Knoop (1934) [7]. These conventional methods involve in different ways the measurement of the size of a residual plastic deformation impression in the tested specimen as a function of the indenter load. Amongst several different indenter geometries the spherical indenters can be used for testing both ductile materials (e.g. metals) and brittle materials (e.g. ceramics). The response of materials to the indentation test includes elastic (reversible) and plastic (irreversible) deformations as well as forming of cone cracks in brittle materials; therefore, the definition of the term 'hardness' is not evident.

The scientific definition of hardness has been of considerable interest from the very beginning of hardness testing, however,

**Katalin SZILÁGYI**

is civil engineer (MSc), PhD candidate at the Department of Construction Materials and Engineering Geology, Budapest University of Technology and Economics. Main fields of interest: diagnostics of concrete structures, non-destructive testing of concrete, concrete technology, shrinkage compensation of concretes. Member of the Hungarian Group of *fib* and the SZTE Concrete Division.

**Dr. Adorján BOROSNYÓI**

is civil engineer (MSc), PhD, Associate Professor at BME Dept. of Construction Materials and Engineering Geology. Main fields of interest: cracking and deflection of reinforced concrete, application of non-metallic (FRP) reinforcements for concrete structures, bond in concrete, non-destructive testing of concrete. Secretary of the *fib* Task Group 4.1 „Serviceability Models” and Chairman of the SZTE Concrete Division.

**Kristóf DOBÓ**

is civil engineer (BSc) student at BME Dept. of Construction Materials and Engineering Geology. Main fields of interest: material modelling, hardness testing of concrete.

still today – more than 100 years after Hertz's original proposal – no absolute definition of hardness is available in material sciences. According to Hertz, hardness is the least value of pressure beneath a spherical indenter necessary to produce a permanent set at the centre of the area of contact. As Hertz's criterion has some practical

difficulties, the hardness values defined by the practical methods are usually indicating various different relationships between the indenter load and the tested specimen's resistance to penetration or permanent deformation.

*Fig. 1.a.* schematically indicates the deformation field of an elastic-plastic medium under a spherical indenter during static indentation hardness testing. A hemispherical, incompressible core of material can be considered directly beneath the indenter, being in hydrostatic stress field [8]. Surrounding the core there is a hemispherical plastic zone that connects the elastically strained material. The schematic load-deflection curve (compliance curve) is given in *Fig. 1.b.* The residual plastic deformation impression ( $h_r$ ) can be measured and used for the calculation of hardness after unloading the indenter. It can be realized that the residual plastic deformation impression is a result of a three-dimensional, constrained deformation field that is strongly affected by the testing method itself (e.g. the indenter can be a sphere, cone, pyramid, diamond etc.). In case of ductile materials the plastic deformation is considered to be started when the mean contact pressure is  $p_m = F/a^2 \approx 1.1f_y$  (where  $f_y$  is the uniaxial yield stress of the material and the contact radius ( $a$ ) can be predicted from Hertz's proposal;  $a \propto F^{2/3}$ ). Plastic deformation exists beneath the surface at higher loads and constrained by the surrounding elastically strained material. With further loading the plastic deformation extends to the surface of the specimen as the mean contact pressure is

$p_m = F/a^2\pi \approx 2.8f_y$  and continues to grow in size but the mean contact pressure is not increasing any more (the contact radius (a) can be predicted to be linearly increasing by loading;  $a \propto \sqrt{F}$ ) [9]. Cone cracks are forming at the contact surface in the case of elastic-brittle materials, however, plastic deformations can be also realized due to the local densification through e.g. phase change of the material as a result of high compressive stresses (which deformation is considerably different in nature from the plastic yield of ductile materials) [7].

Nevertheless, the theoretical approaches of contact mechanics and hence that of hardness has several gaps, the hardness (even in-situ) testing of materials offers the potential of strength estimation by means of a much simpler test than the direct compressive or tensile strength testing. This is the reason why several different hardness testers became available for material testing and the research on hardness of materials has been very dynamic from the beginning up to present day.

## 2. Significance and objectives of present studies

Hardness testing practice of cementitious materials – such as concrete – exclusively applies nowadays the dynamic rebound surface hardness testing devices (e.g. the Schmidt rebound hammer), rather than devices of plastic indentation hardness testing methods. Rebound hammers can be used very easily and the measure of hardness (i.e. the rebound index) can be read directly on the display of the testing devices. However, the impact energy of the rebound hammers usually can not be adjusted by the operator, thus the material response available by rebound hammer testing can provide only limited information. Also, the rebound hammers give information about the elastic and damping properties of the very surface layer of concrete that can not be necessarily related directly to the strength of concrete.

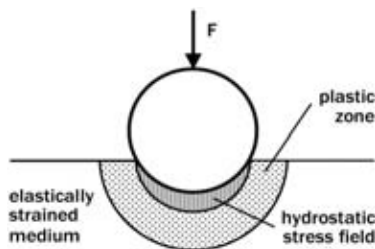


Fig. 1.a. Deformation field of an elastic-plastic medium under a spherical indenter during static indentation hardness testing

1.a. ábra Rugalmas-képlékeny közeg alakváltozási mezője gömb alakú szűrőszerszám alatt, statikus keménység vizsgálat során

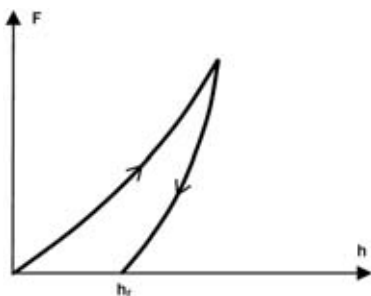


Fig. 1.b. Schematic load-deflection curve (compliance curve) during static indentation hardness testing

1.b. ábra Sematikus terhelés-tehermentesítési görbe a statikus keménység vizsgálat során

It was also demonstrated recently that the analysis of rebound hammer test data and strength estimation need special considerations for which purpose no general theory was available until now [10].

Objectives of present experimental studies were on one hand to thoroughly investigate normal weight hardened concrete specimens by a static ball indentation hardness testing laboratory device on a wide range of compressive strength and age of concrete at testing; and on the other hand, to compare measured data with rebound hardness results as well as Young's modulus and compressive strength values of the same concretes. The main purpose of the studies is to provide experimental evidence – if any – between the relationship of static and dynamic hardness values for concretes as well as compressive strength and elastic properties to be able to support the better understanding of hardness of porous solid materials. Present paper intends to give a summary about the static ball indentation hardness results.

## 3. Previous studies

In the 1920's and in the 1930's limited number of researchers investigated cement mortars and concretes by the Brinell method or similar developments of static ball indentation hardness testing devices [11, 12, 13, 14, 15] and later the research in the field become even less frequent [16]. Some studies applied only one or two load levels and tried to find a relationship between the Brinell hardness and the compressive strength of concrete or between the residual plastic deformation impression and the compressive strength of concrete, while other studies applied several load levels and took a wider look on the topic.

In the representation of the test results several different relationships can be formulated. The compressive strength can be represented as a function of the Brinell hardness (Fig. 2.a.) or the residual impression diameter (Fig. 2.b.) in those cases where one load level is applied for testing. It can be found that a power function can suitably characterize the relationship between the Brinell hardness and the compressive strength of concrete,  $f_c \propto a \times HB^m$  (with a power of  $m \approx 2$ ) [15]. The relationship between the residual impression diameter ( $d$ ) and the compressive strength of concrete can be characterized by a logarithm function,  $\log f_c \propto a_1 - a_2 \times d$  [12, 13, 14]. A much detailed analysis can be provided if several load levels are used (Fig. 2.c.). Power functions between the indenter load ( $F$ ) and the residual impression diameter ( $d$ ) can be formulated for different concrete strengths,  $F \propto a \times d^n$ , of those empirical parameters  $a$  and  $n$  are material properties as it was demonstrated for metals by Meyer in 1908 [17].

It was also indicated for metals that the Brinell hardness, HB and the Meyer hardness, HM (see appendix) are not load-independent measures, therefore they can not necessarily provide a reliable estimation for the strength if the load level of the indentation test is not chosen correctly [18].

Much more accurate parameters are – however, attained in a more complicated way – the empirical constants of the Meyer power functions that can be considered to be material properties [17]. Fig. 3.a–3.c are prepared based on Meyer's published data to demonstrate this behaviour for different metals.

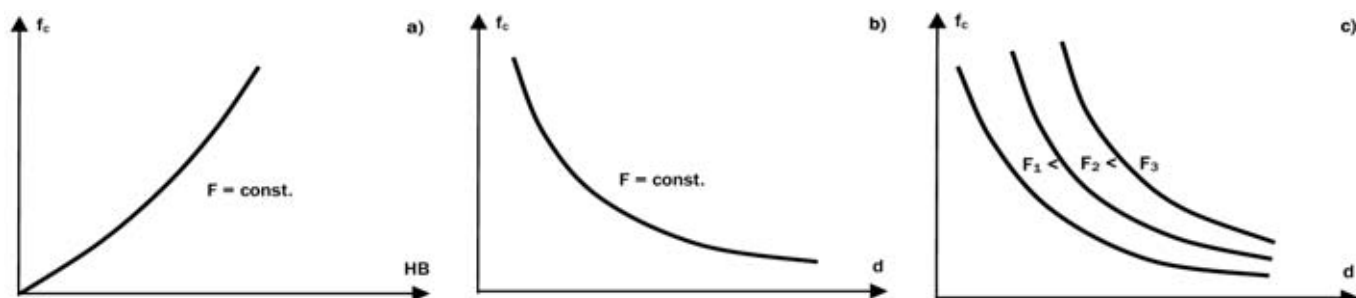


Fig. 2.a. Relationship between the compressive strength ( $f_c$ ) and the Brinell hardness (HB) of concrete  
2.a. ábra A beton nyomószilárdsága ( $f_c$ ) és Brinell keménysége (HB) közötti összefüggés

Fig. 2.b. Relationship between the compressive strength ( $f_c$ ) and the residual impression diameter ( $d$ ) of concrete  
2.b. ábra A beton nyomószilárdsága ( $f_c$ ) és maradó gölyönyom átmérője ( $d$ ) közötti összefüggés

Fig. 2.c. Relationship between the compressive strength ( $f_c$ ) and the residual impression diameter ( $d$ ) of concrete at several load levels  
2.c. ábra A beton nyomószilárdsága ( $f_c$ ) és a maradó gölyönyom átmérője ( $d$ ) közötti összefüggés több teher szint alkalmazása esetén

Based on the review of the available information in the technical literature in the field of static ball indentation hardness testing of concrete one can realize that researchers did not publish results that can be suitable for practical use and the theoretical analysis of the hardness of cementitious porous solids is also not provided. It can be also mentioned that no data are available concerning the relationship between static and dynamic hardness of cementitious porous solids.

#### 4. Testing method

An experimental programme was completed on a wide range of compressive strength of normal weight concretes in the Budapest University of Technology and Economics (BME), Department of Construction Materials and Engineering Geology, to study the static indentation hardness behaviour.

Concrete was mixed from Danube sand and gravel using CEM I 42.5 N cement with w/c ratios of 0.40, 0.50 and 0.65. Consistency of the tested concrete mixes was 500±20 mm flow. Design air content of the compacted fresh concretes was 1.0 V%.

The specimens were cast into steel formworks and the compaction of concrete was carried out by a vibrating table. The specimens were stored under water for 7 days as curing. After 7 days the specimens were stored at laboratory condition (i.e. 20±3 °C temperature and 65±5% relative humidity). Tests were performed at the age of 3, 7, 14, 28, 56, 90 and 240 days. 150 mm cube specimens and 120×120×360 mm prism specimens were prepared for the experiments.

Static indentation tests were carried out by a Brinell testing device with ball diameter of 10 mm. Testing loads of 187.5 kg to 3000 kg were applied for 30 seconds on the concrete surfaces.

F, kN	$f_c = a \cdot d^n$	R <sup>2</sup>	$f_c = a \cdot HB^m$	R <sup>2</sup>
2.5	$f_c = 672.9 \cdot d^{-2.346}$	0.741	$f_c = 0.885 \cdot HB^{1.146}$	0.743
5.0	$f_c = 2384.0 \cdot d^{-2.844}$	0.800	$f_c = 0.324 \cdot HB^{1.363}$	0.803
7.5	$f_c = 4783.7 \cdot d^{-2.949}$	0.918	$f_c = 0.314 \cdot HB^{1.369}$	0.922
10.0	$f_c = 2532.3 \cdot d^{-2.381}$	0.774	$f_c = 0.824 \cdot HB^{1.089}$	0.777
15.0	$f_c = 2651.0 \cdot d^{-2.156}$	0.741	$f_c = 1.368 \cdot HB^{0.960}$	0.739
17.5	$f_c = 3058.3 \cdot d^{-2.122}$	0.775	$f_c = 1.721 \cdot HB^{0.916}$	0.771
20.0	$f_c = 2008.6 \cdot d^{-1.804}$	0.704	$f_c = 1.001 \cdot HB^{1.055}$	0.788

Table 1. Regression curve (power function) parameters  
1. táblázat A regressziós görbék (hatványfüggvények) paramétereit

Five individual tests were carried out at each load level and five residual impressions were prepared. Diameters of the residual impressions were measured by a hand microscope of 8× magnification. Further increase of loading was stopped when the formation of cone cracking was observed to be governing during loading.

Compressive strength on the cube specimens, Young's modulus on the prism specimens and carbonation depths were also recorded at the age of 3, 7, 14, 28, 56, 90 and 240 days.

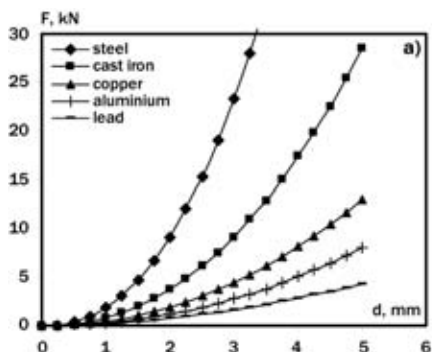


Fig. 3.a. Meyer power functions between the indenter load (F) and the residual impression diameter (d) for different metals [17]  
3.a. ábra Különböző fémek Meyer-féle hatvány-törvénye (a terhelő erő és a maradó gölyönyom átmérője közötti összefüggés) [17]

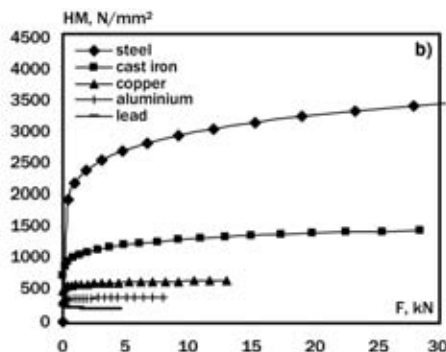


Fig. 3.b. Relationships between the Meyer hardness (HM) and the indenter load (F) for different metals [17]  
3.b. ábra Különböző fémek Meyer keménysége és a terhelő erő közötti összefüggés [17]

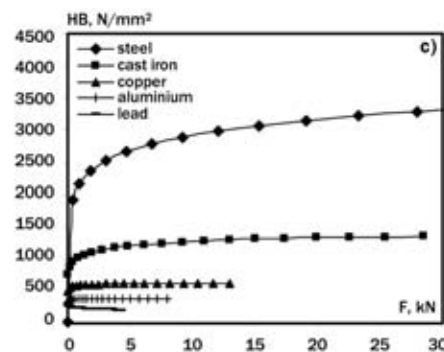


Fig. 3.c. Relationships between the Brinell hardness (HB) and the indenter load (F) for different metals [17]  
3.c. ábra Különböző fémek Brinell keménysége és a terhelő erő közötti összefüggés [17]

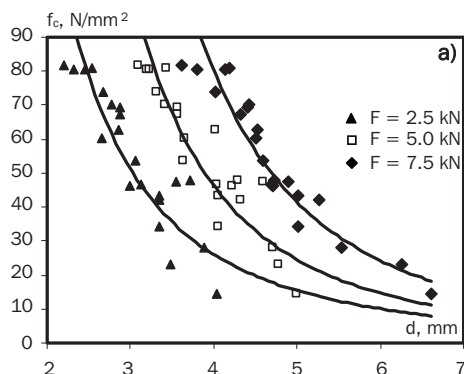


Fig. 4.a. Relationship between the compressive strength ( $f_c$ ) and the residual impression diameter of concrete at different load levels  
 4.a. ábra A beton nyomószilárdsága ( $f_c$ ) és a maradó golyónyom átmérője ( $d$ ) közötti összefüggés különböző teher szintek alkalmazása esetén

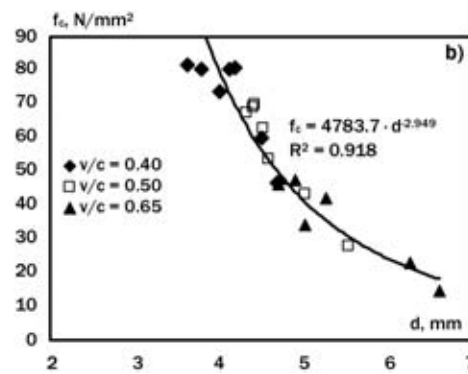


Fig. 4.b. Relationship between the compressive strength ( $f_c$ ) and the residual impression diameter ( $d$ ) of concrete at the load level of  $F = 7.5$  kN (data are separated according to the applied three water-cement ratio)

4.b. ábra A beton nyomószilárdsága ( $f_c$ ) és a maradó golyónyom átmérője ( $d$ ) közötti összefüggés  $F = 7.5$  kN teher szint alkalmazása esetén (az adatokat a víz-cement tényező alapján elkülönítve ábrázoltuk)

## 5. Results

The correlation between the concrete compressive strength and the residual indentation diameter is indicated in Fig. 4.a. for different load levels. It can be realized that power functions can characterize reasonably well the responses (correlation coefficients are in the range of  $r^2 = 0.70$  to  $0.92$ ). Regression curve parameters are resulted in Table 1. For the load level of  $F = 7.5$  kN results are separated according to the applied three water-cement ratio in Fig. 4.b.

The Meyer power functions for specimens of the three applied w/c are indicated in Fig. 5. represented for three different ages at testing: at the age of 7 days (Fig. 5.a.), 28 days (Fig. 5.b.) and 240 days (Fig. 5.c.). It can be studied that the Meyer power functions sensitively follow the strength development in time and the empirical constants have a tendency of change in time. The Meyer parameters found in present experimental programme are represented in Fig 6. as a function of time (Fig. 6.a.) and of water-cement ratio (Fig. 6.b.). It can be seen that the power in the Meyer relationships is apparently a constant for concrete, independently of the water-cement ratio and the age at testing, while the multiplier in the Meyer relationships is very sensitive to both influencing factors.

Brinell hardness, HB results are plotted in Fig. 7. against the concrete compressive strength and an apparent linear relationship can be seen between compressive strength and Brinell hardness, HB of concrete. Results are not separated in the representation either by water-cement ratio or testing load to be able to study a possible general behaviour pattern. Regression curve parameters available for the applied load levels are summarized in Table 1.

Fig. 8.a. indicates Brinell hardness, HB results in time for specimens of w/c = 0.50 represented as a function of the testing load. It can be studied that an apparent peak hardness is showing on each response. The same behavioural scheme was realized for the Meyer hardness, HM results. If the hardness values are represented as a function of the residual indentation diameter then the same increasing-decreasing tendencies are resulted (Fig. 8.b.). It is possible to read the peak hardness values on each regression curve. The peak hardness readings are plotted in Fig. 9. against the compressive strength and an apparently linear relationship is resulted.

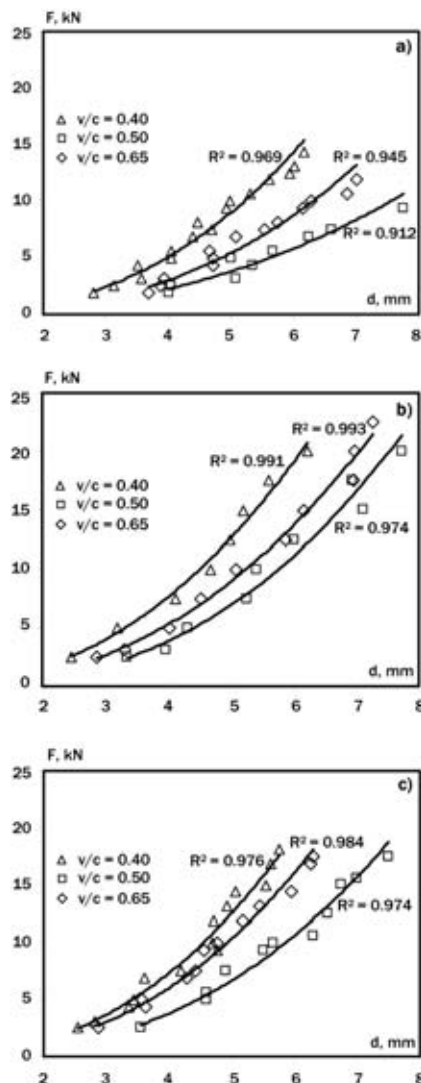


Fig. 5. The Meyer power functions for specimens of w/c = 0.40, 0.50 and 0.65 a) at the age of 7 days; b) at the age of 28 days; c) at the age of 240 days

5. ábra  $v/c = 0,40$ ;  $0,50$  és  $0,60$  víz-cement tényezőjű próbatestek Meyer-féle hatványtörvénye  
 a) 7 napos korban; b) 28 napos korban; c) 240 napos korban

### 6. Discussion

The technical literature indicates that the Meyer hardness, HM can be used as a simplifying estimate of the Brinell hardness, HB when the residual indentation diameter ( $d$ ) is  $0.3 \leq d/D \leq 0.7$  (where  $D$  is the diameter of the ball indenter) [19, 20]. Results of Fig. 4., Fig. 7. and Table 1. confirm the interchangeability of the two hardness parameters: if one expresses the Brinell hardness, HB as a function of the residual indentation diameter from the experimental data then a power function for the residual indentation diameter is resulted with a power of about -2.0 (the same as characterizes Meyer hardness, HM; see Appendix). In our experiments the power was found to be equal to -2.106 as an average. Technical literature confirms our results: an analysis of the experimental data published by Gaede (1957) has resulted a power of -2.187 as an average [21].

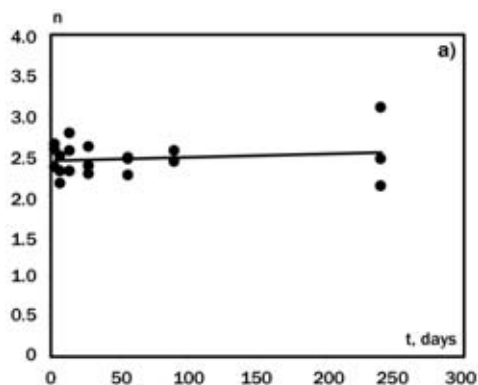


Fig. 6.a. The power of the Meyer function as a function of time  
6.a. ábra A Meyer-féle hatványtörvény kitevője az idő függvényében

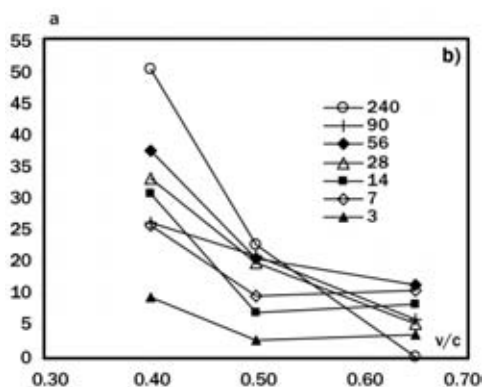


Fig. 6.b. The multiplier of the Meyer function as a function of time  
6.b. ábra A Meyer-féle hatványtörvény szorzója az idő függvényében

The technical literature also indicates that the relationship between the residual indentation diameter and the compressive strength is a power function with a power of -4.0 (based on simplified analysis) [19, 20]. Our experimental results do not confirm this hypothesis.

The power values can be studied in Table 1. Average value of -2.372 can be considered to be valid for present experiments.

Technical literature confirms our results: after a rigorous analysis of the paper of Kolek (1958) it was realized that the linear regression was carried out inaccurately in the paper and the accurate value of the power is -2.584 rather than -4.0 indicated originally [19].

It can be found in the technical literature that a linear response can model the relationship between the compressive strength and the Brinell hardness, HB of concrete [22]. The results of Fig. 7., Fig. 9. and Table 1. confirm this supposition. In present experiments an average power of 1.128 was found.

The observations of Fig. 8.a. and Fig. 8.b. are very special and no similar findings were published earlier in the technical literature. However, the observed performance clearly illustrate the elastic-plastic behaviour of concrete under the ball indenter as well as the mechanism of local densification and the formation of cone cracking.

The mechanisms are summarized as follows. At lower loads no full plastic response of the concrete can be developed and the densification under the ball indenter is not pronounced. Increasing load results increasing hardness values. At higher loads the local collapsing of the capillary walls in the hardened cement paste and the local micro-crushing of small aggregate particles near the contact area results more pronounced densification; that can be realized in an apparent peak hardness when full plastic response of the concrete is utilized.

As load is further increased the formation of cone cracks is started at the contact surface (always clearly visible during testing) and the softening of the cracked concrete is realized in the apparent decreasing hardness values. The same behavioural scheme can be studied if one represents the Meyer hardness, HM instead of the Brinell hardness, HB. Based on the observations of Fig. 8.a. and Fig. 8.b. it can be reasonable to choose the apparent peak hardness as the representative value of hardness corresponding to the compressive strength of concrete.

### 7. Conclusions

In the technical literature limited number of researchers investigated cement mortars and concretes by the Brinell method and most of the studies applied only one or two load levels trying to find a relationship between the Brinell hardness and the compressive strength of concrete.

Present paper summarizes the findings of static ball indentation studies on hardened concretes with water-cement ratios of 0.40, 0.50 and 0.65 tested at the age of 3, 7, 14, 28, 56, 90 and 240 days, at several load levels.

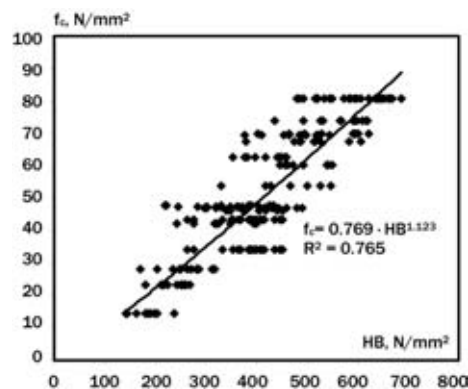


Fig. 7. The general linear relationship between compressive strength and Brinell hardness of concrete (results are separated neither by water-cement ratio nor testing load)  
7. ábra A beton nyomószilárdsága és Brinell keménysége közötti általános lineáris kapcsolat (az eredményeket sem a v/c, sem a terhelési szint szerint nem különítettük el)



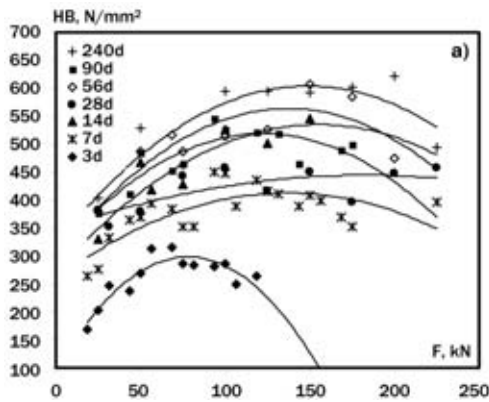


Fig. 8.a. Brinell hardness (HB) results in time for specimens of  $w/c = 0.50$  as a function of the testing load

8.a. ábra A  $w/c = 0,50$  víz-cement tényezőjű próbatetek Brinell keménysége az idő és a teher szint függvényében

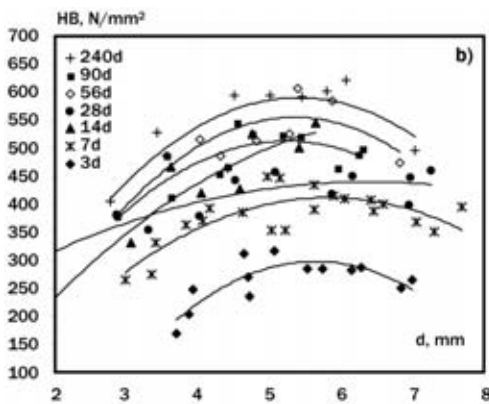


Fig. 8.b. Brinell hardness (HB) results in time for specimens of  $w/c = 0.50$  as a function of the residual indentation diameter

8.b. ábra A  $w/c = 0,50$  víz-cement tényezőjű próbatetek Brinell keménysége az idő és a maradék golyónyomó átmérőjének függvényében

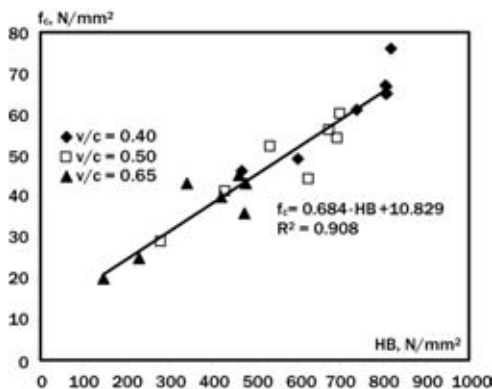


Fig. 9. The linear relationship between the compressive strength and the peak Brinell hardness of concrete

9. ábra A beton nyomószilárdsága és a maximális Brinell keménysége közötti lineáris összefüggés

The results demonstrated that the Meyer power functions can be formulated for concrete in a similar way to that of metals.

It was found that the power in the Meyer relationship is apparently constant for concrete, independently of the water-cement ratio and the age at testing, while the multiplier in the Meyer relationship is very sensitive to both influencing factors.

The results disproved the hypothesis of the power function relationship between the residual indentation diameter and the compressive strength of concrete with a power of -4.0 published earlier in the technical literature. The results confirmed the existence of a linear general model for the relationship between the compressive strength and the Brinell hardness, HB of concrete. During the experiments a special observation was made that clearly illustrates the elastic-plastic behaviour of concrete under the ball indenter as well as the mechanism of local densification and the formation of cone cracking. The results can add to the fundamental understanding of hardness of concrete and mark the direction of future research in the field.

## 8. Appendix – Hardness values

The Brinell hardness, HB can be calculated as the ratio of the indenter load and the surface area of the residual spherical imprint:

$$HB = \frac{2F}{D\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

The Meyer hardness, HM can be calculated as the ratio of the indenter load and the projected area of the residual imprint:

$$HM = \frac{4F}{d^2\pi}$$

## 9. Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the support of the Bolyai János research scholarship by the Hungarian Academy of Sciences (MTA). The authors are obliged to Dr. Rita Nemes for the thorough proofread of the manuscript.

### References

- [1] Barba, A. A.: *The art of metals* (1640) (Arte de los metales), Reprint. Lima, 1817 (in Spanish)
- [2] Réaumur, R. A. E.: (1722) *The art of converting iron into steel* (L'art de convertir le fer forgé en acier), French Academy of Sciences. Paris, 1722 (in French)
- [3] Mohs, F.: *Trial of an elementary method to determine natural history and identification of fossils* (Versuch einer Elementar-Methode zur Naturhistorischen Bestimmung und Erkennung von Fossilien), Österreich Lexikon. 1812 (in German)
- [4] Timoshenko, S. P.: *History of strength of materials*, McGraw-Hill. New York, 1953. 452 p.
- [5] Szymanski, A. – Szymanski, J. M.: *Hardness estimation of minerals, rocks and ceramic materials*. Elsevier. Amsterdam, 1989. 330 p.
- [6] Hertz, H.: *About the contact of elastic solid bodies* (Über die Berührung fester elastischer Körper). J Reine Angew Math 1881. 5:12–23. (in German)
- [7] Fischer-Cripps, A. C.: *Introduction to Contact Mechanics*. Springer. New York, 2000. 243 p.
- [8] Johnson, K. L.: *Contact mechanics*. Cambridge University Press. 1985. 452 p.
- [9] Tabor, D.: *The hardness of metals*. Oxford University Press. 1951. 175 p.
- [10] Szilágyi, K. – Borosnyói, A. – Zsigovics, I.: *Rebound surface hardness of concrete: Introduction of an empirical constitutive model*. Construction and Building Materials. Vol. 25, Issue 5, May 2011. pp. 2480–2487.
- [11] Crepps, R. B. – Mills, R. E.: *Ball Test Applied to Cement Mortar and Concrete*. Bulletin No. 12., Engineering Experiment Station, Purdue University. LaFayette, Indiana, May 1923. 32 p.

- [12] Dutron R.: *Ball tests for the determination of compressive strength of neat cement mortars* (Essais à la bille pour la détermination de la résistance à la compression des pâtes de ciment pur). Brochure, Le laboratoire Groupement Professionnel des Fabricants de Ciment Portland artificiel de Belgique. Bruxelles, Belgium, 1927. (in French)
- [13] Vandone I.: *Indentation testing for the determination of compressive strength of cements* (La prova d'impronta per determinare la resistenza a compressione dei cementi). Le Strade 1933. 15(9):381–389. (in Italian)
- [14] Sestini Q.: *Strength test of cementitious materials by Brinell testing* (La prova Brinell applicata ai materiali cementizi come prova di resistenza). Le Strade 1934. 16(7):255–264. (in Italian)
- [15] Steinwede K.: *Application of ball hardness tests for the determination of strength of concrete* (Über die Anwendung des Kugelhärteversuches zur Bestimmung der Festigkeit des Betons). Doctoral Thesis, University of Hannover, Faculty of Civil Engineering, 20 Feb 1937. Gebrüder Jänecke, Hannover. p. 69. (in German)
- [16] Kholmiansky, M. – Kogan, E. – Kovler, K.: *On the hardness determination of fine grained concrete*. Materials and Structures. Vol. 27, No. 10, December 1994. pp. 584–587.
- [17] Meyer, E.: *Studies of hardness testing and hardness* (Untersuchungen über Härteprüfung und Härte), Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure. Vol. 52, No. 17, April 1908- pp. 645–654, 740–748, 835–844. (in German)
- [18] Gillemot, L.: *Material science and testing* (Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat), Tankönyvkiadó. Budapest, 1967. 429 p. (in Hungarian)
- [19] Kolek, J.: *An Appreciation of the Schmidt Rebound Hammer*, Mag Concr Res 1958. 10(28):27–36.
- [20] Gaede, K.: *Impact ball testing of concrete* (Die Kugelschlagprüfung von Beton), DAfStb 1952. Heft 107, p. 73. (in German)
- [21] Gaede, K.: *Impact ball testing of hardened concrete: Influence of testing age* (Kugelschlagprüfung von Beton mit dichtem Gefüge: Einfluss des Prüfalters), DAfStb 1957. Heft 128, p. 17. (in German)
- [22] Gaede, K. – Schmidt, E.: *Rebound testing of hardened concrete* (Rückprallprüfung von Beton mit dichtem Gefüge). DAfStb 1964. Heft 158, p. 37. (in German)

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.1>

Katalin Szilágyi – Adorján Borosnyói – Kristóf Dobó: *Static indentation hardness testing of concrete: a long established method revived*. Építőanyag, 63. évf. 1-2. szám (2011), 2–8. p.

### Egy régi módszer új nézőpontból: megszilárdult beton statikus keménységmérése

A keménységvizsgálat lehetőségét nyújt arra, hogy az anyagok szilárdságáról a közvetlen nyomószilárdság és húzószilárdság vizsgálatnál egyszerűbb módon jussunk információhoz. Mindazonáltal a keménység kontaktmechanikai megközelítésében és ezzel a keménység elméleti hátterében számos tisztázatlan terület van napjainkban is. A szakirodalomban csak korlátozott számban áll rendelkezésre cementhabarcs és beton statikus keménységvizsgálatával kapcsolatos kísérleti eredmény. A szakirodalomban azt találtuk, hogy a Brinell keménység és a nyomószilárdság kapcsolatának leírására alkalmas lehet egy hatványfüggvény abban az esetben, ha a vizsgálat során egyetlen teherszintet alkalmazunk. Viszont sokkal részletesebb elemzésre nyílik lehetőség, ha a vizsgálatot több teherszinten végezzük el. Ez esetben a terhelőerő és a maradó golyónyom átmérője közötti összefüggésekre beton szilárdsági osztályonként (ill. víz-cement tényezőnként) külön hatványfüggvényeket illeszthetünk,  $F \propto a \times d^n$ , amelyeknek paraméterei – Meyer (1908) kísérletei szerint – fémek esetében anyagjellemzőknek tekinthetők. Jelen kutatás célja normál testsűrűségű beton próbatestek statikus keménységvizsgálata több teherszinten, Brinell elven, golyóbenyomódással vizsgálva, a beton széles szilárdsági tartományában, számos vizsgálati korban. Kísérleti eredményeink alapján úgy találtuk, hogy a Meyer-féle hatványtörvény kitevője látszólag konstans, függetlenül a víz-cement tényezőtől és a beton korától, míg a szorzója mindkét befolyásoló tényezőre érzékeny. Az eredmények szerint a szakirodalomban publikált nyomószilárdság és maradó golyónyom kapcsolatát leíró hatványfüggvény -4-es kitevője nem valós feltételezés. Az eredmények megerősítik a nyomószilárdság és a Brinell keménység között feltételezhető általános lineáris összefüggést; az ezt leíró hatványfüggvény átlagos kitevője 1,128-ra adódott. Kulcsszavak: beton, nyomószilárdság, Brinell keménység, Meyer keménység

## FOLYÓIRATSZEMLE

### ACI Materials Journal

2011. január-február, pp. 46–54.

Kay Wille, Antoine E. Naaman, Gustavo J. Parra-Montesinos: **Ultra nagy teljesítőképességű betonok 150 MPa értéket meghaladó nyomószilárdsággal: Egy egyszerű módszer** (Ultra-High Performance Concrete with Compressive Strength Exceeding 150 MPa (22 ksi): A Simpler Way)

A szerzők kiterjedt laboratóriumi kísérletsorozatot végeztek abból a célból, hogy ultra nagy teljesítőképességű beton (UHPC) készítésének olyan technológiáját dolgozzák ki, amelyben az építőipari piacon egyszerűen beszerezhető alapanyagok felhasználásával, speciális betonkeverő berendezések és hőérlelés nélkül lehet elérni legalább 150 MPa beton nyomószilárdságot.

Eredményeik alapján a következő megállapításokat és javaslatokat tették az UHPC beton összetételére vonatkozóan:

- A legkedvezőbb reológiai tulajdonságok és a legnagyobb nyomószilárdság kis  $C_3A$  (<8%) tartalmú portlandcementtel érhető el.
- A homok 0,8 mm legnagyobb szemnagysága esetén az optimális homok-cement arány 1,4.
- A szilikafüst optimális közepes szemcsemérete 1,2  $\mu\text{m}$ , 125000  $\text{cm}^2/\text{g}$  fajlagos felülettel (szemben az irodalomban korábban publikált 0,5  $\mu\text{m}$  alatti közepes szemcsemérettel).

Ilyen szemcseméretű szilikafüst esetén az optimális adagolási mennyiség 25% a cement tömegére vonatkoztatva.

- Az optimális tulajdonságok elérése érdekében nagyobb közepes szemcseméretű (1,7  $\mu\text{m}$ ) szilikapor alkalmazása is szükséges, amelynek az optimális adagolási mennyisége szintén 25% a cement tömegére vonatkoztatva. Így a por alakú összetevők optimális keverési aránya 1:0,25:0,25 cement:szilikafüst: szilikapor.
- A víz-cement tényezőt ( $v/c = 0,16-0,27$ ) és a folyósító adalékszer (polikarboxilát) mennyiségét (1,4–2,4%) az optimális konzisztenciához igazítva lehet főlvenni.

Eredményeik alapján a következő megállapításokat és javaslatokat tették az UHPC beton készítésre vonatkozóan:

- A szilikafüstöt és a homokot szárazon kell keverni öt perccig.
- Ezt követően kell adagolni a többi por alakú összetevőt (cement, szilikapor) és újabb öt perccig keverni.
- A vizet egy percen belül kell a keverőbe juttatni.
- Ezt követően a folyósító adalékszer teljes mennyiségét egyidejűleg a keverőbe kell adagolni, és a keverést további öt perccig folytatni.

A szerzők célja az volt, hogy egyszerűsített módszerrel legalább 150 MPa nyomószilárdságú UHPC beton készítése váljon lehetségessé. Módszerükkel 115–206 MPa nyomószilárdság érhető el a keverék összetételétől függően.

Dr. Borosnyói Adorján

## Beton und Stahlbetonbau

2011. január, pp. 39-44.

### Michael Cyllok, Marcus Achenbach: **Vasbeton oszlopok méretezése tűzterherre: „A nemlineáris zóna módszer pontosságának ellenőrzése laborkísérletekkel”**

(Bemessung von Stahlbetonstützen im Brandfall: Absicherung der nicht-linearen Zonenmethode durch Laborversuche)

A szerzők Haß laborkísérletei során vizsgált oszlopok tűzterherre történő méretezését végezték el a nemlineáris zónamódszerrel. Haß kísérletei során 47 darab oszlop tűzterhelését hajtották végre, a kísérlet a következő változó paramétereket tartalmazta:

- oszlop hossza 3,7–5,76 m;
- keresztmetszet méretei 200×200, 300×300 illetve 300×400 mm;
- hosszvasak száma 4, 6, 10 illetve 20;
- hosszvasak átmérője 14, 20 illetve 25 mm;
- a hosszvasak folyási feszültségének karakterisztikus értéke 404 vagy 544 N/mm<sup>2</sup>;
- a beton nyomószilárdságának karakterisztikus értéke 29–53 N/mm<sup>2</sup>;
- a hosszvasak tengelytávolsága az elem szélétől 30, 38 illetve 40 mm;
- a terhelő erő nagysága 90–1802 kN,
- az erő külpontossága 0–600 mm.

A szerzők az oszlopok tűzterherre történő méretezésének módosítását azért érzik szükségesnek, mert a DIN V ENV 1992-1-2 szerinti számítás esetén a számított érték és a laborkísérletek által meghatározott teherbírás hányadosa 0,57 és 1,959 között mozgott. Bizonyos esetekben, így a számítás során majdnem 50%-os alulméretezés történe.

A nemlineáris zónamódszer Hertz zónamódszerén alapul, melyben az acél alakváltozást nyomó igénybevétel esetén 0,2%-al csökkentik a hőmérsékletnek megfelelő szilárdságcsökkentés után, abban az esetben, ha az acélbetétek hőmérsékletének középértéke meghaladja a 75 °C-ot. A számítás során a DIN EN 1992-1-2 szerinti teherbírasi vonalakat használják. A számítást az izoterma vonalak meghatározása után végzik el. Az izoterma vonalakat egy végeeselemes programmal határozzák meg, ahol figyelembe veszik a beton nedvességtartalmát, a hőátbocsátó- és a hővezető képességét is.

A nemlineáris zónamódszer a megfelelő alkalmazási tartományokon belül egy megbízható számítási módszernek bizonyult az oszlopok tűzterherre való méretezése során.

*Dr. Majorosné Lublőy Éva*

## Ziegelindustrie International

2011. 1-2.

### Prof. Dr. Ing. E. Sprecht – M. Sc. P Meng: **Solid-solid-rekuperátor – A kényszerkeringtetéses alagútkemence energiafelhasználásának javítására**

A solid-solid rekuperátoros (SSR) alagútkemence az ellenáramú alagútkemence elvén alapuló, annak továbbfejlesztett változata. Ennél a kemencetípusnál a közepén kettéválasztott alagútban, két sín páron, egymással szemben mozognak a kemencekocsik. Kompresszorok segítségével a kemenceatmoszféra a két alagút-rész között változtatható. Ezáltal a hő a forró rakatokról a hidegekre (és fordítva) átvihető.

A solid-solid rekuperátoros alagútkemence legnagyobb előnye az egyértelműen csekély energiafelhasználás. A vizsgálatok kimutatták, hogy magánál a kemencénél 62–65% az energia-megta-

karítás. Ez az érték a szárítási és égetési folyamatban együttesen (beleértve tehát 25% víz eltávolításának energiaszükségletét és a füstgázvesztéséget is) 44–46%-ra csökken.

További előnye a hagyományos alagútkemencékkel szemben, hogy a hőmérséklet eloszlása a kemence hosszában és szél-tében igen kiegyenlített, amelynek következtében egyenletes gyártmányminőség érhető el.

A levegő axiális áramlását úgy lehet beállítani, hogy az az ajtóktól az égető zóna felé áramlik. Ezáltal az esetleges szélvágások a kemencén belül elégnak és így elégtelen szénhidrogének nem lépnek fel a füstgázban. Mivel a füstgáz mennyisége a hagyományos kemencével szemben csak a tizedrésze, minimális füstgáztisztítási költséggel lehet számolni.

Az SSR alagútkemencénél előfeltétel, hogy azonos a hőmérsékleti görbe lefutása az előmelegítő és hűlőzónában. Ezért a kemence alkalmazása elsősorban a kevés szervesanyagot és karbonátot tartalmazó tégláknál előnyös. Hátránya a rendszernek, hogy a megváltoztatott sínrendszer miatt nagyobb költségekkel és helyi-génnel kell számolni.

M. Kormann – D. Palenzuela – O. Dupont:

### **Nedvességáramlás az üreges téglákban**

A téglafalazatokon keresztüli nedvességáramlás döntő jelentőséggel bír az épületek energia-felhasználására, a bentlakók komfortéretére, valamint magának az épületszerkezetnek az állékonyságára.

Az üreges téglák CE-jelölésében megadott anyagjellemzők felhasználhatók a téglafalazatokban való nedvességáramlás kiszámítására. A németországi Fraunhofer Intézetben elvégzett vizsgálatok alapján kialakított új módszerrel lehetőség nyílik arra, hogy az üreges téglák nedvességfüggő tulajdonságait a cserépjellemzők ismeretében meghatározzák.

A kísérletek során három üreges téglán és egyúttal annak anyagán mérték a nedvességfüggő tulajdonságokat és a Wufi 2D, hő- és nedvességáramlásra kifejlesztett szoftverrel elvégezték a számításokat.

Ezzel a módszerrel lehetséges, hogy egy termékcsaládnak (együtt a kiegészítő elemekkel) egy CE-jelölése legyen. Először megméri a téglá anyagának nedvességfüggő tulajdonságait, amely a család minden tagjánál azonos, majd a téglacsalád tagjainak eltérő tulajdonságait (a különböző téglaméretek, kiegészítő téglák) határozzák meg.

### **Új, fokozott hőszigetelő képességű téglát mutattak be a Nürbergi Feltalálók Vásárán**

Az eddigi rendelkezésre álló nagy hőszigetelő képességű anyagok mellett a vásáron egy érdekes, újonnan kifejlesztett mutatnak be, amellyel a blokkteglák üregeit feltöltve, fokozott hőszigetelő képességű termékek nyerhetők.

A Weimári Kutatóintézet és egy téglagyár együttműködéséből származik ez az újfajta hőszigetelő habanyag, amely cement és kalcium-szilikát-hidrát hulladék anyagok bázisán alapul.

Az intézetben különböző üregeitű, különféle téglatermékek esetében végezték el a vizsgálatokat. Az alkalmazott hőszigetelő száraz hab térfogati tömege kisebb, mint 0,150 g/cm<sup>3</sup>, hővezető képessége pedig kisebb, mint 0,045 W/mK.

A kedvező árfekvésű, alak- és hőálló habosított cementenyv kiindulási anyagait először elkülönülten összekeverik, majd egy habosító berendezésben állítják elő azt a hőszigetelő habot, amelyet a téglá üregeibe töltenek.

*Sopronyi Gábor*

# Szemcsés anyagok – csővezetékben – folyadékárammal való szállításának méretezése

## 1. rész: Kísérleti berendezések és modell

**FAITLI JÓZSEF** ■ Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet ■  
ejtfaitj@uni-miskolc.hu

Érkezett: 2011. 04. 04. ■ Received: 04. 04. 2011. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.2>

### Design of transport of particulate materials by fluid flow in pipelines

#### Part 1: Experimental equipment and model

Scientific field of mechanical process engineering deals with the flow of solid – liquid mixtures in pipes, called as hydraulic transport. In the construction industry the two most important applications are the underwater hydraulic sand and gravel mining and the pipe transport of the mixed concrete into the place of usage. In Hungary the longest slurry pipeline is situated in the slag – fly ash deposition system of the Mátra Power Plant. Common feature of all the mentioned three applications, that the solid phase is composed by really fine and coarse particles as well. There are many hundreds km long slurry pipelines in the world. Of course, flowing suspensions and slurries in pipes can be found in many other industries, for example in mineral processing plants with wet technologies. This paper summarizes results achieved at the Institute of Raw Materials Preparation and Environmental Processing of the University of Miskolc during the last 20 years. Perhaps the most important result was the so called fine suspension – coarse mixture flow model. The model is a hydraulic transport design method based on physical material testing and pilot scale hydraulic transport experiments. Our partner, the EGI Ltd. has designed many fly ash handling systems based on the model and our material testing. Established installations are: Jacksonville Power Plant – USA, Craiova 2, Isalnita, Rovinari, Turceni Power Plants – Románia, Mátra Power Plant, etc...

**Dr. FAITLI József**  
(1965) egyetemi docens, a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének oktatója. 1989-ben a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen szerzett bányagépész- és villamos mérnök diplomát, amelyet követően az Eljárástechnikai Tanszéken helyezkedett el és amelynek jelenleg is oktatója. Hosszabb külföldi tanulmányutakat (Louvain-la-neuve, Belgium, Tempus ösztöndíj, 7 hónap, 1991, Chicago, USA, Fulbright ösztöndíj, 12 hónap, 1993–94.) követően 1998-ban szerzett PhD oklevelet, mechanikai eljárás technika tudományterületen. Fő oktatási és kutatási területe a többfázisú áramlások, szemcsemozgás, mintavevélés, porleválasztás, stb... Tudományos publikációinak száma 75.

## Bevezetés

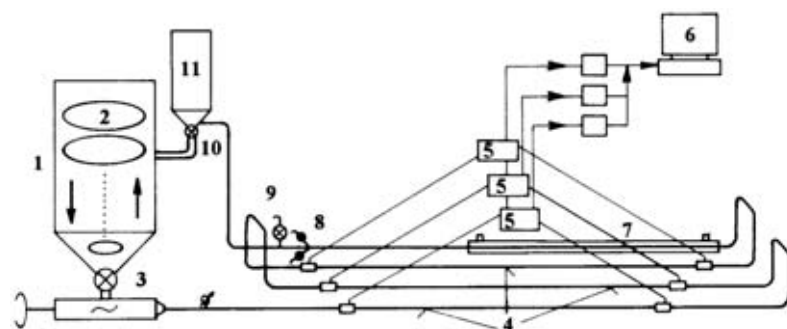
A Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében, – korábban Eljárástechnikai Tanszék – Tarján és Debreczeni alapozta meg a szilárd-folyadék keverékek áramlásának a vizsgálatát 1975–1990 között. 1989-ben kerültem a tanszékre, és azóta ez a téma az egyik fő területem. Intenzív kutatásokat folytattam Tarján Professzor úrral, majd később önállóan is. A tématerület kutatásához 2004-ben csatlakozott Gombkötő Imre, aki főleg az extrém nagy koncentráció hatását vizsgálja. Az eltelt időszakban a legtöbbet a világ számos pontjáról ideszállított (Neyveli, Ashtech és Busawal Erőművek – India, Nicola Tesla Erőmű – Szerbia, Eren Erőmű – Törökország, Mátrai, Berentei, Tatabányai, Tiszaújvárosi Erőművek, stb...), különféle szén- és lignittüzelésű erőművekből származó salak és pernye anyagokat vizsgáltuk. Végeztünk

keverékáramlási vizsgálatokat hulladékégetői pernyékkel, perlittel, homokkal - kavicszal, élővízi iszapokkal, üveghomokkal, bentonittal, különféle előkészítéstechnikai és bányászati maradványanyagokkal, pl. Gyöngyösroszi flotációs meddővel, vörösiszappal, stb...

## A kutatási eredmények bemutatása

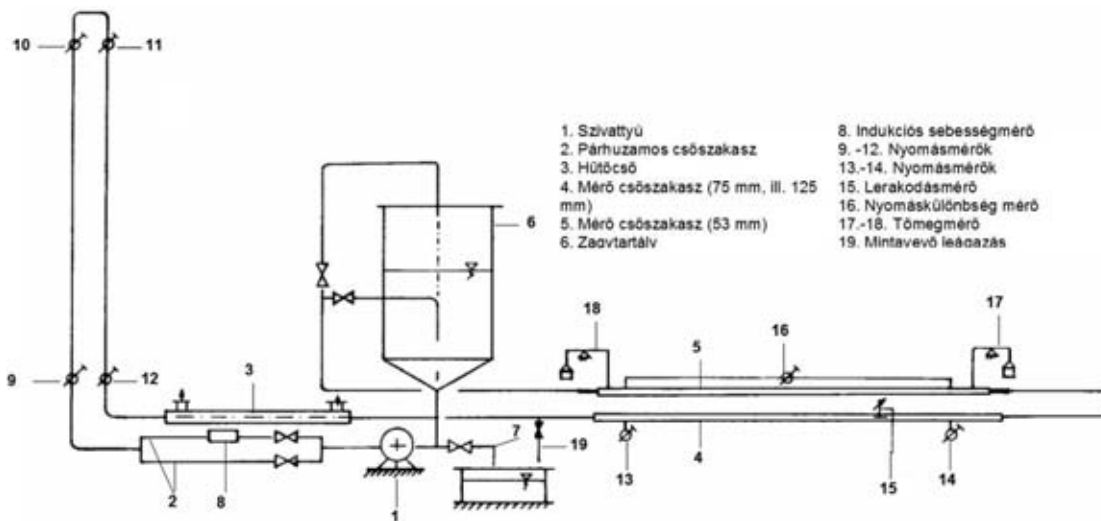
### Kísérleti berendezés

Nagy kapacitású, hidraulikus, szilárd anyag - szállítási rendszerek tervezése esetén elengedhetetlen, hogy előzetesen különféle vizsgálatokat végezzünk az anyagokkal, e nélkül nem lehet felelősen megtervezni a technológiát. A finom szuszpenzióáramlás vizsgálatára kifejlesztett kísérleti berendezés a csőviszkoziméter (1. ábra).



1. Keverőtartály
2. Lyukasztott tárcsás keverők
3. Csigaszivattyú
4. Mérő csőszakaszok
5. Nyomáskülönbség-mérők
6. Mérésadatgyűjtő
7. Hűtőcső
8. Mintavevő leágazás
9. Nyomásmérő
10. Zárószerelevény
11. Tartályos térfogatáram-mérő

1. ábra A három mérőcsöves csőviszkoziméter  
Fig. 1. The tube viscometer with three measuring pipes



2. ábra Félüzemi méretű hidraulikus szállítás mérőkör  
Fig. 2. Pilot scale hydraulic test loop

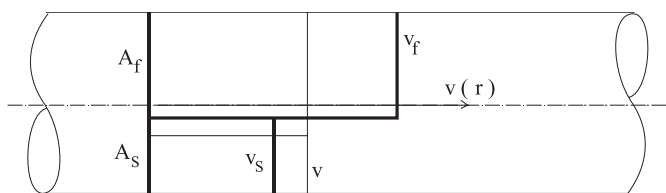
A csőviszkoziméterbe kb. 100 l szuszpenziót lehet bekeverni, amit merev karakterisztikájú csigaszivattyú (3) szállít körbe. A mérés elve az, hogy lamináris csőáramlás mellett kell az áramlási sebességet és a nyomásvesztéget mérni. A megépített kísérleti berendezésben három kb. 6 m hosszú 16, 21 és 27 mm belső átmérőjű mérőcső (4) van. Részben azért szükséges három mérőcső, mivel adott szuszpenzió térfogatáram mellett így közvetlenül három mért pont áll a rendelkezésre, amelyre háromparaméteres reológiát, pl. reáplasztikus modell, lehet illeszteni. Másrészt ellenőrzés céljából, mivel a különféle átmérőjű csövekben mért pszeudo nyírési pontoknak – a lamináris tartományon – egy görbére kell esniük. Az intézeti csőviszkoziméter már több mint 15 éves, azonban jelenleg is rendszeresen végzünk rajt méréseket a már jól bevált mérési protokoll szerint.

A durva keverékáramlás ill. a durva keverékáramlás a finom szuszpenzióáramlásban vizsgálatára alkalmas – félüzemi méretű – hidraulikus szállítás mérőkört építettünk. Az évek során az adott feladatnak megfelelően a mérőkört gyakran átépítettük. A legtöbb vizsgálatot Warman forgólapátos zagyszivattyúval végeztük, azonban használtunk membrán dugattyús és csiga szivattyúkat is. Általában a vizsgálatokat úgy végeztük, hogy a folyadék betöltésével kezdődött a mérés, majd a szilárd anyagot fokozatosan adagoltuk a rendszerbe, a zagy folyamatosan körbe járt. Végeztünk úgy is méréseket, hogy a cső végén dobszítával leválasztottuk a szilárd anyagot, majd csiga segítségével újra pontos mennyiségben beadagoltuk azt. A 2. ábrán a hidraulikus mérőkör egy előnyös kialakítása látható.

A hidraulikus szállítást vizsgáló mérőkör egy felműszerezett félüzemi méretű (400 l töltési térfogat, max. 60 m<sup>3</sup>/h szállítási kapacitás), zárt körfolyamú zagyszállító berendezés, amelyben a zagyszivattyú (1) a tartályból (6) a mérő csővezetékeken (4–5) keresztül visszaszállítja a tartályba a bekevert zagyot. Az ilyen zárt körfolyamú berendezésekben a hűtésről gondoskodni kell, mivel az áramlási súrlódási veszteség felmelegíti a zagyot. Erre a célra egy egyenes duplafalú csőszakaszt (3) építettünk a rendszerbe, a külső gyűrű alakú térben pedig folyamatosan hűtővizet keringtettünk. A megépített kísérleti körök mindegyikébe építettünk mintavevő csonkokat (19). Csapok

segítségével a teljes zagyáram, vagy a csőbe épített vízszintes elválasztó lemez segítségével a cső felső ill. alsó felében lévő zagyáram a mintavevő edénybe juttatható. A szemcsesűrűség ismeretében, – amelyet előzőleg piknométerben kell megmérni – a szállítási koncentráció (szilárd anyag térfogatáram / zagy térfogatáram) a minta térfogata és tömege alapján meghatározható. A mérő csőszakaszba épített tappancsok (15) segítségével a lerakódott anyagréteg vastagságát tudtuk mérni. A nyomásvesztés mérésére holttér nélküli túlnyomás távadókat (13–14) alkalmaztunk. A keresztmetszeti átlagsebesség mérésére indukciós áramlásmérőt (8) építettünk be. Az indukciós áramlásmérő elektródái közt áramló töltések hatására indukálódik jel a műszerben, azaz az áramló közegben töltéssel rendelkező részeknek (elektronok – ionok) kell lenniük. Ezért desztillált víz sebességének a mérésére nem alkalmas az indukciós áramlásmérő, normal csapvízre azonban már igen. A mérési elvből az következik, hogy az indukciós áramlásmérő csak a víz (folyadék) fázis sebességét méri, ami csak abban az esetben egyezik meg a zagy sebességével, ha a szemcsék pontosan a folyadék sebességével mozognak, azaz nincs szlip. Vízszintes csővezetékben a nagyobb szemcsék a tehetetlenségük miatt lemaradhatnak a folyadékhoz képest, míg függőleges csőben, – lefelé irányuló áramlásban – pedig előre siethetnek. Ennek megfelelően, – adott pillanatban – a csőben a helyi koncentráció megnőhet, vagy lecsökkenhet a csővégi kifolyáshoz képest, meg kell különböztetni az ún. szállítási ( $C_T$ ) és helyi ( $C_U$ ) koncentrációkat. Nyugalomban lévő szilárd-folyadék keverékek esetén a szemcsék relatív mennyiségét, azaz a koncentrációt térfogatok, tömegek ill. kevert mennyiségek arányaként is megadhatjuk. A tudományos életben a térfogati koncentráció (szilárd anyag térfogata / zagy térfogata) használatos, míg az iparban inkább a tömegkoncentrációt alkalmazzák. A szállítási- és helyi térfogati koncentráció a következőképp írható fel.

$$Av = A_s v_s + A_f v_f \quad C_T = \frac{A_s v_s}{Av} = \frac{\dot{Q}_s}{\dot{Q}} \quad C_U = \frac{A_s}{A} \quad (1)$$



3. ábra A szállítási- és helyi koncentráció  
Fig. 3. The transport and in - situ concentrations

Az 1. egyenletben három ismeretlen szerepel. A hidraulikus szállítási kísérleti berendezésben az az érdekes eset állhat elő, hogy annak ellenére, hogy a beépített indukciós áramlásmérő méri a folyadék fázis sebességét, ha a szliról nincs információ, nem tudjuk a zagy áramlási sebességét, a mérés kiértékelhetetlen. A megoldás az, hogy mérni kell a szállítási- és a helyi koncentrációt is. A szállítási koncentráció a kifolyásból mérőhengerrel vett minta térfogatának és tömegének a mérése alapján a szemcsesűrűség ismeretében meghatározható. Ez nem on-line folyamatos, hanem szakaszos mérési módszer és a mérésadatgyűjtő rendszer sem érzékeli, azonban mindenféleképp érdemes időnként elvégezni ellenőrzés céljából. A helyi koncentráció mérésére alkalmazhatók a kereskedelmi forgalomban kapható izotópos sűrűségmérő eszközök, azonban ezek drágák és veszélyesek. A következő eszközöket fejlesztettük ki a szállítási- ill. a helyi koncentráció mérésére.

**On-line szállítási koncentráció – mérő berendezés**



4. ábra A szállítási koncentráció mérése 4 db nyomás távadóval  
Fig. 4. Measurement of the transport concentration by 4 pressure transducers

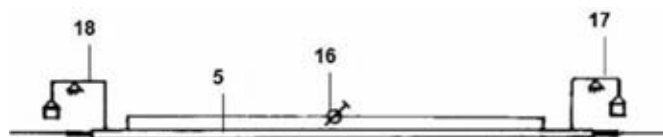
A kísérleti berendezésbe függőleges csőszakaszokat építettünk, amelyekbe 4 db holttér nélküli, rozsdamentes acél membránú túlnyomás távadót szereltünk. Nyugalomban lévő, de felkevert zagy aljába, ha ilyen nyomásmérőt helyezünk, az a zagy hidrosztatikai nyomását, közvetve a zagy átlagos sűrűségét méri. A jelenséget a függőleges fel- ill. leáramlás esetén az bonyolítja, hogy felfelé áramlásnál a szemcsék lemaradnak a helyi koncentráció növekszik, míg leáramlásnál a szemcsék előre sietnek a helyi koncentráció csökken. Mindezek alapján úgy gondoltuk, hogy a két hatás átlagként a helyi koncentráció, azaz adott időpillanatban a csőben tartózkodó zagy átlagos sűrűségével arányos mennyiség lesz a négy túlnyomás értékéből számított összes nyomáskülönbség. Az elvégzett

szisztematikus mérések és elméleti megfontolások alapján [8] azonban bebizonyítottuk, hogy nagyon kis hibával ez az eszköz a szállítási koncentrációt méri. A szállítási térfogati koncentrációt a következő összefüggés segítségével határozhatjuk meg:

$$C_T = \frac{(p_1 - p_2) - (p_3 - p_4) - 2\rho_f gH}{2\rho_f gH \left( \frac{\rho_s}{\rho_f} - 1 \right)} \quad (2)$$

**On-line helyi koncentráció – mérő berendezés**

A korábbiakban beláttuk, hogy az általában acél csövekben áramló zagyok átlagos sebességének a meghatározására – az indukciós áramlásmérő mellett – szükség van olyan eszközre, ami külön képes a folyadék és a szilárd anyag sebességének, vagy a szállítási- és a helyi koncentrációnak a mérésére. A helyi koncentráció mérésére fejlesztettük ki azt a mérőberendezést, amely a mérő csőszakasznak a tömegét méri a benne lévő zaggal együtt, amiből az áramló zagy sűrűsége, közvetve a helyi koncentráció meghatározható.



5. ábra A helyi koncentráció mérése a mérőcsőszakasz mérlegelésével  
Fig. 5. Measurement of the in - situ concentration by weighting of the measuring pipe

A mérő csőszakaszt gumi közcsövek közé kell építeni. A gumi rugalmassági modulusa legalább 3 nagyságrenddel eltér az acélétól. A cső két végére olyan mérlegkarokat (17–18) kell építeni, amelyek egyik karja a csövet tartja, a másik karja pedig erőmérő távadón keresztül egy-egy fix ponthoz van rögzítve. A mérőcsőnek pontosan egytengelyűnek kell lennie a csatlakozó csőszakaszokkal, azért hogy a be- és kilépő zagyáram impulzus ereje ne okozzon hibát. Ezt a hibát egyébként tiszta vízzel végzett kalibráló mérés alapján a számítógépes mérésadatgyűjtő segítségével korrigálni is lehet. Mivel a mérlegkarok mindkét karja pontosan ki van egyenlítve és a nyúlásmérő bélyeges erőmérő cellák igen kicsi elmozdulás mellett érzékelik az erőt, a mérőcső mindig egytengelyű pozíciójú. A mérőcső belső térfogata (V), azaz a benne elférő zagy térfogata adott. A berendezés kalibrálásakor tiszta folyadékkal kell a mérőcsövet feltölteni és ebben az állapotban kell az erőmérőket kinulázni, így tényleges méréskor a folyadékot kiszorító nagyobb sűrűségű szilárd anyag miatti (Δm) tömeg különbséget méri a berendezés, amelyből a helyi koncentráció a következőképp számítható:

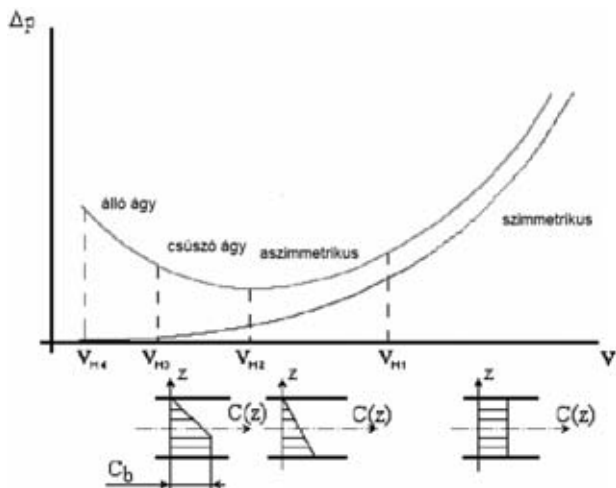
$$C_u = \frac{\Delta m}{(\rho_s - \rho_f) V} \quad (3)$$

**Modell: A finom szuszpenzió - durva keverékáramlás modell**

A nyugati szakirodalomban elterjedt modell a cső függőleges tengelye menti koncentráció eloszlás alapján osztályozni a szilárd-folyadék többfázisú áramlást. Amennyiben a koncentráció eloszlása szimmetrikus homogén keverékáramlásról, amennyiben aszimmetrikus heterogén keverékáramlásról beszélnek, és eszerint választják meg a nyomásvesztés számítására szolgáló összefüggéseket is.

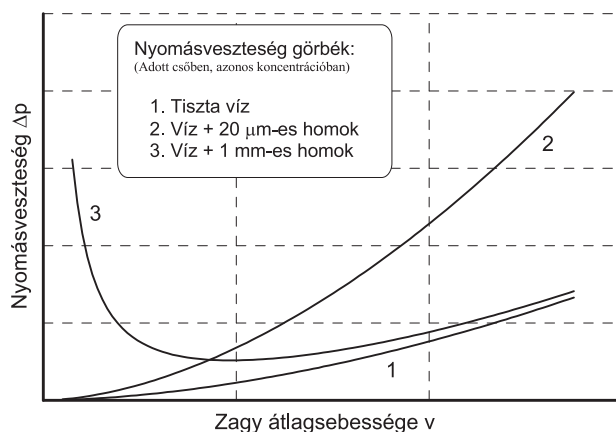
Még nagyméretű szemcsék esetén is, – ha a keresztmetszeti átlagsebesség elegendően nagy (nagyobb, mint v<sub>M1</sub>) – a szemcséket szuszpendálja a nagy turbulencia, az anyag szimmetrikus koncentráció eloszlás mellett szállítható (homogén keverékáramlás). Csökkenő sebességnél először a koncentráció eloszlás aszimmetrikussá válik, majd előbb megjelenik a csúszó

ágy, még kisebb sebességeknél az álló ágy, végül bekövetkezik a dugulás. A PhD értekezésemben szűk üveghomok frakciók különböző koncentrációjú keverékeit, azaz a szemcseméret hatását vizsgáltam szisztematikusan, csőviszkóziméterben. A kísérletek alapján megállapítottam, hogy adott anyag, adott méretű csőben, azonos folyadék és üzemi paraméterek mellett a szemcsenagyság függvényében egészen eltérően viselkedik. Például a vizsgált közel monodiszperz homok, ha egyszer 20 µm majd 1 mm nagyságú, a nyomásvesztés görbék alakja jellegzetesen más.



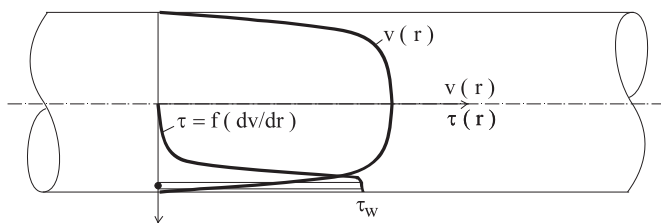
6. ábra A koncentráció eloszlása a sebesség függvényében  
Fig. 6. Concentration distribution as function of the velocity

A tiszta víz nyomásvesztés görbéje kis sebességek esetén, a lamináris tartományon egyenes ( $Re < 2320$ ), a meredekség a viszkozitással arányos. Ipari méretű csővezetékben ehhez nagyon kicsi sebességek tartoznak, olyannyira, hogy az üzemi sebességtartományban ábrázolva a nyomásvesztést a lineáris szakasz szinte nem is látszik. Turbulens áramlásban és sima falú csőben a nyomásvesztés a sebességnek közel a második hatványával arányos, a nyomásvesztés görbe hatványfüggvény. Amennyiben a szilárd anyagot kis szemcseméretben (pl. 20 µm-es homok) keverjük be, az így képzett kétfázisú keverék nyomásvesztés görbéje teljesen hasonló a vízéhez, csak nagyobb meredekségű a nagyobb viszkozitással arányosan (2. görbe a 7. ábrán). Abban az esetben, ha az azonos mennyiségű szilárd anyagot nagyméretű szemcsék formájában (pl. 1 mm-es homok) keverjük be, a nyomásvesztés görbe tipikus Durand függvény [4] alakú (3. görbe a 7. ábrán). Egészen nagy sebességek esetén a folyadékáram képes a finom és a durva szemcséket is szuszpendálni, mindkét esetben szimmetrikus a koncentráció eloszlás, a korábbi minősítés szerint mindkettő homogén keverékáramlás, azonban egyértelmű hogy a két eset teljesen eltérő jellegű. Érdekes az, hogy nagy sebességek mellett ugyanannyi szilárd anyag lényegesen kisebb energiával szállítható nagyobb szemcseméret formájában. Kis sebességek esetén a helyzet éppen ellentétes, a nagyobb szemcsék esetén az ülepedés elkezdi dominálni és megjelenik az aszimmetrikus koncentráció eloszlás esetleg a csúszó ill. az álló anyagágy. Kis sebességeknél a kisebb szemcseméretű szilárd anyag szállítható kisebb energiával.



7. ábra Tipikus nyomásvesztés görbék  
Fig. 7. Typical pressure loss curves

Az elvégzett kísérleti munka és elméleti megfontolások alapján új modellt vezettünk be, amelyet finom szuszpenzió – durva keverékáramlás modellnek nevezünk el. Adott szilárd anyag és folyadék ill. csővezeték esetén meghatározható egy olyan határ szemcseméret, amelynél, ha finomabb szemcsékből készítünk szuszpenziót, az finom szuszpenzióáramlásban fog a csőben mozogni függetlenül az áramlási sebesség nagyságától ( $v > 0$ ). Ilyen esetben ez a szuszpenzió önálló egyfázisú folyadéknak tekinthető, saját folyási viselkedéssel és sűrűséggel, másképp fogalmazva, – áramlási szempontból – azaz mozgás közben ez az anyag egyfázisú kontinuumként viselkedik. Nyugodalomban természetesen előbb-utóbb a folyadéknál nagyobb sűrűségű szemcsék leülepednek, akkor újra célszerű kétfázisú keverék-ként kezelni. A jelenség magyarázatára a következő hipotézist állítottam fel. Turbulens csőáramlásban a fal mellett kialakul a lamináris határreteg, amelyben az erősen nyírt folyadékréteg sebességprofilja lineáris, vagyis a nyírófeszültség konstans. Ha a szemcse olyan kicsi, hogy belefér ebbe a határretegbe, azonos (közel azonos) nyíró feszültség és sebesség veszi körül és nem alakul ki olyan erő, amely a faltól szeretné eltaszítani, így a helyzeténél fogva a lamináris határretegben nagyobb fal menti nyíró feszültséget, azaz nagyobb áramlási súrlódási veszteséget okoz.



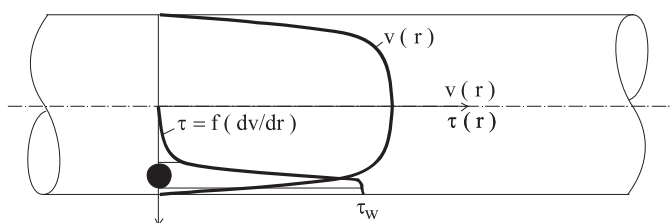
8. ábra A finom szuszpenzióáramlás elvi magyarázata  
Fig. 8. Theoretical explanation of fine suspension flows

A megnövekedett nyomásvesztés annak a következménye, hogy a csőfal menti határretegben a finom szemcsék és a víz alkotta finom szuszpenzió reológiai viselkedése megváltozik a vízhez képest, a viszkozitás megnő, sőt akár a folyási jelleg is megváltozik és nem-Newtoni folyási viselkedést mutatnak ezek az áramló szuszpenziók. A felállított modelltől már következik, hogy a finom szuszpenzióáramlás nyomásvesztését a közeg folyási viselkedését jellemző folyási modell (tipikusan:

Newtoni, Bingham – plasztikus, Hatványfüggvénnyel leírható és Reálpasztikus) és az abban szereplő reológiai paraméterek alapján számíthatjuk.

A határ szemcseméretnél nagyobb szemcsékből készített szilárd-folyadék keverékek csőáramlása esetén az áramlás jellege egészen más, mint az előzőkben leírt finom szemcsék esetében. Ebben az esetben a durva szemcse, jellemzően nem fér bele a lamináris határrétegbe. A szemcse csőfalhoz közeli felén a nyírófeszültség nagy, a sebesség pedig kicsi, a belső felén pedig épp ellentétesen a nyírófeszültség kicsi és a sebesség nagy. Ha ezt az aszimmetrikus feszültség eloszlást kiintegráljuk a durva szemcse felületére egy erőt kapunk, amely a szemcsét a faltól eltaszítja.

$$F_i = \int_A \tau dA \quad (4)$$



9. ábra A durva keverékáramlás elvi magyarázata  
Fig. 9. Theoretical explanation of coarse mixture flows

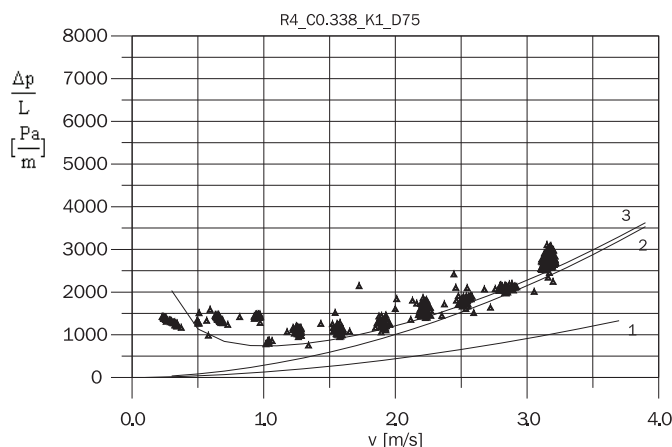
Nagyobb sebességek esetén ez az erő egyre nagyobb, azaz a szemcse egyre kevésbé tud a fallal sűrűlni. Ez a hipotézis magyarázatot ad arra a sokszor mért tényre, hogy – nagy sebességek esetén – a durva szemcsés zagyot szinte pontosan akkora energia befektetésével lehet a csőben szállítani, mint ha csak vizet szivattyúznánk. Kisebb sebességek esetén ez a faltól eltaszító erő egyre kevésbé játszik szerepet, ekkor az ülepedés elkezdi dominálni és a durva szemcsék mechanikai kontaktusba kerülnek a csőfallal. A szemcsék és a csőfal között mechanikai súrlódó erő ébred, amely a testeket normál irányban összeszorító erőtől és a súrlódási tényezőtől függ, és nem függ a testek közötti sebességtől. Ezzel ellentétben a csőfal mellett ébredő áramlási súrlódási veszteség függ a sebességtől, sima falú csőben, turbulens vízáramlásban a nyomásvesztés egy a sebesség közel második hatványával arányos. Ezek alapján a durva szemcsékből bekevert zagyok csőáramlását durva keverékáramlásnak neveztük el. Ez egy valóban kétfázisú (szilárd-folyadék) mechanikai rendszer, amelyben valójában csak a folyadék áramlásáról beszélhetünk, és amelyben a szemcsék mechanikai erők hatására mozognak. Amikor a folyó görgeti a sziklákat, jól érzékelhető ez a modell. Akkor viszont, amikor adott csővezetékben, adott sebesség mellett, állandó nyomásvesztéssel, stabil üzemben szállítjuk a durva szemcsés anyagot, megtévesztő a helyzet. Olyan mintha a zagy áramolna, ráadásul a nyomásvesztéséből könnyen meghatározhatunk egy látszólagos zagy viszkozitás értéket is. A finom szuszpenzió – durva keverékáramlás modell alkalmazása megmutatja, hogy ez a megközelítés hibás, célszerű ezt a rendszert úgy tekinteni, hogy a folyadék áramlik a folyási viselkedése által meghatározott módon és ez szállítja a szemcséket, amelyek mozgását mechanikai erők határozzák meg. A nyomásvesztés meg-

tározása elméleti úton ezért rendkívül nehéz, tulajdonképp nincs ilyen a szakirodalomban. Ami viszont igen, az a rendkívül nagyszámú mérési eredmény és az azokra illesztett empirikus összefüggés. Ezeket az összefüggéseket nevezhetjük Durand típusú összefüggéseknek, mivel az eltérő anyagokkal és méreteken elvégzett hidraulikus szállítási vizsgálatok eredményeire meghatározott összefüggések közül az elsőt Durand publikálta. A Durand egyenletben két konstans található. A Froude szám kitevője 3, ami a görbe „görbületét” határozza meg, és egy szorzó konstans, ami a görbe magasságát határozza meg, ami 81. Az eltelt több mint 20 évben elvégzett mérések alapján a durva keverékáramlás nyomásvesztésének a számítására jó közelítéssel alkalmaztuk a Durand egyenletet, azzal a különbséggel, hogy a két konstans ( $n = 3$  és  $K = 81$ ) anyagtól függő paraméternek tekintettük, és az egyenletet módosított Durand egyenletnek neveztük. Az  $n$  és  $K$  anyagi paraméterek meghatározására, – adott anyagokra – félüzemi méretű hidraulikus szállítási vizsgálatokat kell végezni.

Az iparban előforduló szemcsés anyagok, – amelyeket csővezetékben szállítanak folyadékáramban – valójában mindig polidiszperzek, azaz szemcseméret-, szemcsealak- és szemcsesűrűség-eloszlásról kell beszélnünk. A szállított szilárd anyag tartalmazhat finom és durva szemcséket egyaránt. Wasp [10] a homogén – heterogén keverékáramlási modell alkalmazásával dolgozta ki az ún. „vehicle” (szállítójármű) modellt. Ennek az a lényege, hogy adott keverékáramlási sebesség mellett a cső legfelső pontjában kialakuló pillanatnyi, helyi koncentrációnak megfelelő zagy hordozó közegként viselkedik és a szimmetrikus koncentráció eloszláson kívüli szemcséket ez a zagy szállítja. A korábbiakban erős kritikával illettük a homogén – heterogén osztályozási rendszert, azonban a „szállítójármű” koncepció briliáns. Elvi megfontolások alapján kidolgoztuk a durva keverékáramlás a finom szuszpenzióáramlásban modellt. A PhD értekezésemben kidolgozott modellt, számos diszkrét szemcsEFRakcióra bontotta a szilárd anyagot és a nyomásvesztést a szemcsEFRakciók által külön-külön okozott veszteségek összegeként határozta meg, így kezelni tudta, akár a széles szemcseméret tartományt ill. az eltérő, homogén-heterogén viselkedést is. Az időközben elvégzett újabb vizsgálatok alapján alakult ki, az azóta már rutinszerűen alkalmazott durva keverékáramlás a finom szuszpenzióáramlásban modell. Eszerint csak két frakcióra érdemes bontani a szilárd anyagot: finom és durva frakcióra. A határ szemcseméretet szisztematikus vizsgálatokkal kell meghatározni adott anyagra. Az anyagból közel monodiszperz szemcsEFRakciókat kell készíteni szitálással, majd ezeket a csőviszkóziméterbe különböző koncentrációban bekeverve a nyomásvesztés gőrbéket kell mérésel meghatározni. A nyomásvesztés gőrbék matematikai elemzése alapján (következő fejezet) a keverékáramlási jelleg és így a határ szemcseméret meghatározható. A két legfontosabb anyagra, szénerőművi pernye-salakokra (kb. 160  $\mu\text{m}$ ) és homokra (kb. 50  $\mu\text{m}$ ) ezeket a vizsgálatokat elvégeztük. A modell szerint a határszemcsénél kisebb szemcsék a hordozó folyadékkal a csőáramlásban finom szuszpenziót alkotnak és ez a finom szuszpenzióáramlás – nem pedig a folyadékáramlás – fogja a durva szemcséket durva keverékáramlás formájában szállítani. A finom szuszpenzióáramlás nyomásvesztésének a számításához a finom szuszpenzió



sűrűségének, a folyási viselkedésének és az annak megfelelő reológiai paramétereknek az ismeretére van szükség, és nincs szükség a szemcsés anyag jellemzőire, mint pl. szemcseméret-eloszlás, hiszen a modell szerint ez egy egyfázisú folyadék. A durva keverékáramlás nyomásvesztésének számítására a módosított Durand egyenletet használjuk. A durva szemcsék okozta mechanikai súrlódás jelentősen függ a szemcsék süllyedési sebességétől, a durva szemcsefrakció fizikai tulajdonságait figyelembe kell venni. A durva szemcse frakció jellemzésére az  $x_{D80}$ -as (a határszemcseméretnél nagyobb durva frakció 80%-a kisebb, mint  $x_{D80}$ ) szemcsét választottuk. A biztonság érdekében való tévedés érdekében választottunk nagyobb szemcsét, de csak annyira, ami még jól mérhető. A szemcsehalmazt egy jellemző szemcsével jellemezni a számításban, természetesen jelentős egyszerűsítés. Azonban, a módosított Durand egyenletben szereplő  $n$  és  $K$  anyagi paramétereket a nagy hidraulikus körön elvégzett félüzemi mérésekkel határozzuk meg, amikor a függvényillesztést úgy végezzük el, hogy a szítással meghatározott  $x_{D80}$  alapján számítjuk ki a süllyedési végsebességet és az ellenállástényezőt (egy db  $x_{D80}$  szemcse süllyed a finom szuszpenzióban), vagyis a jellemző 80%-os szemcsére kalibráljuk a modellt. Ez a modell így sokkal egyszerűbb és pontosan kalibrálható, szemben a nagyobb szemcsék sok frakcióra való bontásával. A durva keverékáramlás a finom szuszpenzióáramlásban modellel az elmúlt 20 évben elvégzett vizsgálatok közül több is empirikus bizonyítékul szolgált, továbbá a partnerünk az EGI Engineering Ltd. a modell alapján tervezett számos pernyekezelő rendszert a világ több pontján (Jacksonville – USA, Craiova 2, Isalnita, Rovinari, Turceni – Románia, Mátrai Erőmű, stb...).



10. ábra Durva keverékáramlás a finom szuszpenzióáramlásban  
Fig. 10. Coarse mixture flow in the fine suspension flow

A 10. ábrán a Mátrai Erőműből származó R4 nevű receptúra szerint összekevert salak-pernye-víz 33,8% térfogati szállítási koncentrációjú keverék, 75 mm-es belső átmérőjű csőben való áramlásának mért nyomásvesztés görbéje látható. A háromszöggel jelölt pontok a mért pontok. A diagramban a fizikai és reológiai anyagvizsgálatok és a modell alapján számított görbéket is ábrázoltam. Az (1) jelű görbe a tiszta víz számított nyomásvesztés görbéje az adott csőben. Az anyagvizsgálatok eredményei (finom szuszpenzió koncentrációja, sűrűsége, reológiai) alapján számítottam ki a finom szuszpenzióáramlás (2) nyomásvesztés görbéjét. Majd az empirikusan megha-

tározott  $n$  és  $K$  segítségével a durva keverékáramlás a finom szuszpenzióáramlásban modell segítségével adódott a mérésre vonatkozó elméleti nyomásvesztés görbe (3). Az empirikus bizonyítékot az jelenti, hogy nagy sebességek esetén a mért pontok nem a víz (1) görbéjéhez tartanak, hanem egy olyan görbéhez, a finom szuszpenzióáramlás görbéjéhez (2), amelyet más eszközökön elvégzett külön mérések (szítálás, piknométeres sűrűségmérés, csőviszkoziméteres reológiai mérések) eredményei alapján a modell szerint számítottam.

#### Hivatkozások

- [1] Bóhm J. – Debreczeni Á. – Fajtli J. – Gombkötő I. – Meggyes T.: *High-concentration hydraulic transport of tailings*. In Land Contamination and Reclamation, Vol.15 Num. 2; p. 195–217, ISSN:0967-0513, 2007.
- [2] Gombkötő I. – Fajtli L.: *Application of paste technology for tailings handling*. In Proceedings of XXIV International Mineral Processing Congress, p. 3522–3529, XXIV International Mineral Processing Congress, Beijing 2008, ISBN: 978-7-900249-54-8/TD.1, 2008.
- [3] Govier, G. W. – Aziz, K.: *The flow of complex mixtures in pipes*. Van Nostrand Reinhold, 1972.
- [4] Durand R. – Condolios E.: *Deuxième Journée de l'hydraulique*. Soc. Hyd. de France, Grenoble. 1952.
- [5] Hanks R.W.: *Low Reynolds number turbulent pipeline flow of pseudohomogeneous slurries*. Hydrotransport 5, Hannover BHRA Fluid Engineering. 1978.
- [6] Tarján I.: *A mechanikai eljárás technika alapjai*. Miskolci Egyetemi Kiadó. 2006.
- [7] Tarján I. – Debreczeni E.: *A hidraulikus szállítás és hidromechanizáció vizsgálata és bányászati alkalmazása*. (Examination of the hydraulic transport and hydromechanization and applications in mining) Doctoral Thesis Miskolc. 1989.
- [8] Tarján, I. – Fajtli, J.: *The Measurement of the Transport Concentration of Suspension Flows by Pressure Measurements on Vertical Pipes*. Mineral Economy Journal (Gospodarka Surowceni Mineralnymi) Tom 11 - Zeszyt 4, pp. 467–478. 1995.
- [9] Tarján I. – Fajtli J.: *The Distinction of the Fine Suspension Flow from the Coarse Mixture Flow by Measuring of the Pressure Loss on a Horizontal Pipe*. Mineral Economy Journal (Gospodarka Surowceni Mineralnymi) Volume 14 – Number 3, page 61–71. 1998.
- [10] Wasp, E. J. – Kenny, J. P. – Gandhi, R. L.: *Solid-liquid flow Slurry Pipeline Transportation*. Trans. Techn. Publications, Clausthal, 1977.
- [11] Gombkötő I.: *Környezetbarát meddőanyag kezelés*. Bányászati és Kohászati Lapok. 2007. 140. évfolyam 3. szám. pp. 20-25.
- [12] Fajtli J.: *Calculation Process for the Determination of Head Loss of Steady-state Solid Liquid Mixtures Flow in Horizontal Pipelines*. PhD értekezés, Miskolc, pp.1–148. 1998.
- [13] Fajtli J.: *Pressure Loss Calculation Model for Well-Graded Solid-Liquid Pipe Flows on the Basis of Systematic Pilot Plant Investigations*. Intellectual Service for Oil and Gas Industry: Analysis, Solution, Perspectives Co-Proceedings of Ufa State Petroleum Technical University and University of Miskolc, Ufa. 2000.
- [14] *Mátrai Erőműi salak – pernyék csővezeték szállításának kísérleti vizsgálata*. Műszaki szakértői tanulmányok. 1996. 1997. 1998.
- [15] *Astech pernyeminta reológiai vizsgálata*. Műszaki szakértői tanulmány. 2009.
- [16] *Török pernyeminta fizikai anyagvizsgálata*. Műszaki szakértői tanulmány. Miskolc. 2011.

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.2>

Fajtli József: *Szemcsés anyagok – csővezetékben – folyadékárammal való szállításának méretezése*. 1. rész: *Kísérleti berendezések és modell*. Építőanyag, 63. évf. 1–2. szám (2011), 10–15. p.

# Applying master curve at the grids strengthened asphalt structures

**KORNÉL ALMÁSSY, Msc.** ▪ Department of Highway and Railway Engineering ▪ kornel.almassy@gmail.com

**CSABA TÓTH, Msc.** ▪ Department of Highway and Railway Engineering ▪ toth@uvt.bme.hu

Received: 26.08.2010. ▪ Érkezett: 2010.08.26. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.3>

The master curve is an appropriate tool to describe the behavior of the different asphalt mixtures. We can analyze the attitude of the asphalt at very special time and frequency range using master curve method and in this extreme condition we could not solve without it. Different shift coefficients calculation's methods were showed in this study. According to a Dutch (Sigmoid) method, the slope of the master curve determines the fatigue characteristic of the asphalt mixture. In this article we analyze and compare the master curves of the grid strengthened and non grid asphalt structures.

Keywords: asphalt mixtures, master curve, grids, shift factor, stiffness

## 1. Introduction

In the last decade the era of build in mesh and grid in asphalt pavement commenced. In this period different types and qualities of mesh were built into asphalt reconstructions in Hungary with little technological experience and quality control. The Department of Road and Railway Building at Budapest University of Technology and Economics started a research about applying grids in asphalt pavement five years ago. One part of the research work is dealing with a special method of asphalt laboratory testing called the master curve. The master curve is an appropriate tool to describe the behaviour of different asphalt mixtures. This study is aimed to determine the master curve of a grid strengthened asphalt structure as a special parameter. Under extreme conditions a good comparison of the behaviours of the grid strengthened and non-strengthened asphalt structures was found. (As we know, this was the first time when master curves were determined for grid/mesh strengthened asphalt specimens.)

## 2. Processing test results by means of master curves

### a. Time-temperature similarity principle

It is commonly known that the behaviour of – one of the most used construction materials – the asphalt mixture greatly depends on the load character and the test temperature. Determination of stiffness values at different temperatures and load levels characterizes the material behaviour however, there is no simple method to evaluate the values. In Hungary the usual processing method of stiffness values is obtained to present them according to isotherms; however, this is less suitable for demonstrating the differences between mixtures.

Thus, during evaluation we also wanted to find in which other forms the results of the stiffness tests carried out at different temperatures and loads. Having reviewed the international literature, it became obvious that the temperature-time similarity principle of rheology could be a well suited tool for studying the behaviour of asphalt mixtures.

The similarity of the form of temperature modulus and time modulus lets conclude that both temperature and time cause rheological changes in the same direction; this makes both quantities convertible into each other [1, 2].

**Dr. Kornél ALMÁSSY**

graduated in 1999 at Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Civil Engineering and in 2002 at Faculty of Economic Science (Master of Business Administration - MBA). He was Chairman of the National Student Union of Hungary (2001–2003), Chairman of the Youth Democratic Forum (Youth of the Hungarian Democratic Forum) (2004–2006) and Vice-Chairman of the Hungarian Democratic Forum (2004–2008). He was Member of the Hungarian Parliament (2006–2010). Now he is the director of road maintenance department of the Metropolitan Public Space Maintenance Company.

**Dr. Csaba TÓTH**

graduated in 1997 at Budapest University of Technology and Economics and in 2008 at Quality and Production Management (Master of Business Administration - MBA). He is manager of Makadám 2000 Ütterevező Mérnök Iroda since 2000. He is Assistant Professor at Budapest

University of Technology and Economics Department of Highway and Railway Engineering. His main fields of interest is the road pavement structure designing.

According to this principle, as the elasticity modulus is a function of testing time ( $t$ ) and testing temperature ( $T$ ), a certain modulus  $E(T_1; t_1)$  determined at a temperature ( $T_1$ ) and a load time ( $t_1$ ) can be converted to a given reference temperature ( $T_2 < T_1$ ) and a time ( $t_2 > t_1$ ) dependent on that temperature. The basic mathematical relation of the principle is as follows:

$$E(T_1, t_1) = E(T_2, t_2(T_1, T_2)) = E\left(T_2, \frac{t_1}{a_T}\right)$$

where ( $a_T$ ) is the so-called temperature-time shift coefficient:

$$a_T = \frac{t_1}{t_2(T_1, T_2)}$$

indicating a shift in logarithmic time scale.

$$\log t_2(T_1, T_2) = \log t_1 - \log a_T$$

Knowing this shift coefficient, the common illustration and evaluation of the modulus time and modulus temperature relations can be established by means of so-called master curve.

With the assistance of master curve, it is possible to jointly present the measured isotherms, handle them together and compare mixtures in a more complex way.

### b. The shift factor of Arrhenius

The domestic regulation is considerably succinct regarding the master curve determination. The standard MSZ EN 12697-26 on Asphalt Mixtures; Test Methods for Hot Mix Asphalt. Part 26: Stiffness [3] describes the principle of determining the master curve generally. Master curve at a given temperature has to be determined by shifting the isotherms plotted at other temperatures strictly parallel to the axle of the load duration only. The determination of the value of the shift coefficient is not described in the standard.

Based on data from the literature, we chose the shift coefficient according to the relation of Arrhenius. The Arrhenius Law refers in its original form to the dependence of chemical reactions from temperature, but it is used in the rheology to determine the shift coefficient in the following form:

$$\log a_T = \log e \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) = C \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)$$

where

- $a_T$  = shift coefficient
- $T$  = test temperature (K)
- $T_{ref}$  = reference temperature (K)
- $C$  = constant (K)
- $\Delta H$  = activation energy (J/mol)
- $R$  = universal gas constant, 8,314 J/mol K

As for the constant ( $C$ ) to be used for asphalt mixtures, some data can be found in the international literature [4]. Francken, based on his tests with bitumen and asphalts, proposed a value of 50 kcal/mol for the activation energy, which yields a value of (10920K) for the constant ( $C$ ). Others, e.g. Lytton et al and Jacobs (1995) proposed the values ( $C = 13030K$ ) and ( $C = 7680K$ ), respectively.

### c. Sigmoid model

Consequently, knowing the shift coefficient, we have to determine the master curve related to a given temperature, by shifting the isotherms plotted at other temperatures. However, this means determining one discrete series of points only; it is useful, if we could describe it in form of some function relation to be able to analyze at a later time. This used to be achieved by means of polynomials earlier.

Related to the tested mixtures, we used the shift coefficient of Arrhenius when determining the master curves and fitted a function of sigmoid form (1) onto the received point series.

$$\log |E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta - \gamma \log f_r}} \quad (1)$$

where

- $E^*$  = complex modulus (MPa)
- $\alpha, \beta, \delta, \gamma$  = constant parameters characterizing the mixture
- $f_{red}$  = reduced frequency (Hz)

The parameters of the function which describes the relation between stiffness and load – at a specific reference temperature – can be determined by the so-called simultaneous optimization technique. In essence, this method simultaneously changes the shift coefficient and the sigmoid model parameters, while we try to find the function that best fits to the measurement points. However, this search for the optimum values can be performed relatively simply by using the solver module of Excel.

By also treating the parameter ( $C$ ) of the shift coefficient as a variable, the master curves determined at 20 °C are shown in Fig. 1.

## 3. Master curve of the grid strengthened and non grid asphalt specimens

### d. Testing and evaluation

To determine the master curve we use the method of the 4 point bending beam test, but only still the 100 cycle, when we read the starting stiffness of the asphalt structure. For the testing we used two layer asphalt specimen made by AC-11 without any grid and two layer asphalt specimen also made by AC-11 strengthened with GlasGrid 8502 asphalt grid.

With the definition of the master curve we were curious for stiffness differences of the grid reinforced and unreinforced

specimen's value. We would like to know when to start work the grid, to set forth positive impact. Fig. 1. shows the master curves of the specimens with and without grids. (KH means specimens with grids and KR means reference specimens without any grids.)

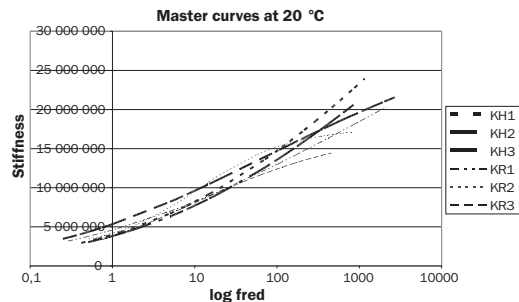


Fig. 1. Master curves at 20 °C for strengthened and normal specimens (without grids)

1. ábra A rácserősítésű és rács nélküli próbatestek mestergörbéi 20 °C-on (KH jelű: rács, KR jelű: referencia)

In Fig. 1. the stiffness of the asphalt structure increase at the higher frequency range for the benefit of the reinforced specimen. At medium frequency level the grid reinforced specimen has the same stiffness value like the unreinforced sample.

Dissection of the master curves justified our previous test experience – wheel tracking and bending test – that at the lower quality asphalt mixture get on lot better the impact of the stiffer asphalt grid.

### References

- [1] Tóth, S. (2000): *Rheology, Rheometry*. Publishing House of the University of Veszprém
- [2] Bodor, G. – Vas, L. M. (2005): *Polymer Material Science*. Publishing House of the Technical University
- [3] MSZ EN 12697-26
- [4] Medani, T. O. – Huurman, M. (2003): *Constructing the Stiffness Master Curves for Asphaltic Mixes*. Report 7-01-127-3 ISSN 0169-9288. Delft University of Technology
- [5] Almássy, K. – Joó, A. L.: *Special materials in the road building – Grids and nets application terms for improving the pavement structures*. Építőanyag, 2009/2, pp 55-59.

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.3>

Kornél Almássy – Csaba Tóth: *Applying master curve at the grids strengthened asphalt structures*. Építőanyag, 63. évf. 1-2. szám (2011), 16-17. p.

### Mester görbék alkalmazása a rácserősítésű aszfaltszerkezeteknél

A mester görbék nagyon pontos leírást adnak a különböző aszfaltkeverékek tulajdonságairól. A mestergörbék meghatározásával olyan idő és frekvencia tartományokban vizsgálhatjuk az aszfaltok viselkedését, amelyet kísérletileg nem, vagy csak nagyon nehezen lehetne megoldani. A mestergörbék meghatározásához szükséges úgynevezett eltolási tényező kiszámítási módszereit mutatjuk be a tanulmány során. Egy holland, úgynevezett Szigmoid eljárással meghatározott mestergörbék meredeksége fontos információt ad az aszfaltkeverékek tönkremeneteli karakterisztikájával kapcsolatban. A cikkben a rácserősítéssel, illetve anélkül készült aszfaltszerkezetek mestergörbéit elemezzük és hasonlítjuk össze. Kulcsszavak: aszfalt keverékek, mester görbe, rács, eltolási tényező, merevség

# Durability of H-class cement and blast furnace slag-based cementitious composites

MARIA TERESA FUENTES-ROMERO • Departamento de Ingeniería Metalúrgica, ESQIE-IPN

ENRIQUE ROCHA-RANGEL • Universidad Politécnica de Victoria

SEBASTIAN DIAZ DE LA TORRE • CIITEC-IPN

MANUELA DÍAZ CRUZ • Departamento de Ingeniería Metalúrgica, ESQIE-IPN

Received: 04.01.2011. • Érkezett: 2011.01.04. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.4>

The usage of residual slag generated in the steel making process has been highlighted both as an ecological and/or economical alternative for the production of innovative cement and/or special cement composites. However, the effect of granulated blast furnace slag (GBFS) on the durability of cement still requires experimental research. This paper discusses the durability of H-class cement considered suitable for cementing oil wells, which was mixed with blast furnace slag and activated with NaOH alkali. This research has been conducting in accordance to the methods established under Mexican standards for assessing the technical suitability in developing an alternative cementitious product. The characterization of the products thus obtained was carried out through chemical analyses, compressive resistance and sulfate attack testing. The microstructure of obtained composites was also analyzed by scanning electron microscopy. Results show a limited durability of the cementitious composites, revealing a decrease in their mechanical resistance to compression as the percentage of slag increases, as well as a poor performance when exposed to sulfates media. As the slag percentage in H-class cement was increased a certain reduction on the expansion level of the composite was observed.

Keywords: cementitious composites, aggregated alkali, granulated blast furnace slag, durability, resistance to sulfates

## Introduction

The durability of cement or derivatives thereof may be defined as the capacity of a cement product to resist the action of external forces or destabilizing systems to chemical and/or physical-mechanical attack. Depending on the quality and application method of cement and products derived there from, they might be vulnerable when exposed to aggressive environments which foster important chemical reactions, such as those typical in the cement decarbonization. The formation of cracks and accelerated erosion of these materials are other examples associated with durability. Traditionally, durability of cement has been correlated to its strengthening characteristics, specifically with its compression resistance. However, in several publications [1–10], it has been shown that this parameter is not enough to fully characterize the durability of cement. Analyzing durability of concrete and/or its products can be a complex task, depending on every exposure environment and/or service condition. The type of material used and the mixture design, the additives features, the production technique and the construction process can all be determining factors to consider in the analysis. In practice, there are environmentally friendly alternatives for cement to extend its lifetime, which include the addition of inorganic materials (i.e. blast furnace slag, natural pozzolans, volcanic ash, silica fume, calcined clay, among others) that have similar composition to cement. These mixtures are referred to as cementitious composites, in which its major components are cement and one or more inorganic materials that take part in the hydration reactions and therefore make a substantial contribution to the hydration products [1]. According to Osborne [2] the factors that may affect durability

**María Teresa FUENTES ROMERO**

is actually works in the external service department of the Technology of Superior Studies from Monterrey, Campus Estado de Mexico. She has gotten her bachelor in Metallurgical Engineering and Master in Metallurgy and Materials both in the IPN.

**Enrique ROCHA-RANGEL**

is actually is titular professor at the Politechnique University of Victoria in Tamaulipas Mexico. He has gotten his bachelor and master in Metallurgical Engineering by the IPN. His doctoral was in the field of Metallurgy and Materials in the IPN. Also he has had Research Stay and Postdoctoral Studies in The Toyohashi University of Technology, Japan and Oak Ridge National Laboratory, USA respectively. His main field of work is the study of composite materials reinforced with different metals, ceramics and polymers.

**Sebastián Díaz DE LA TORRE**

is actually is titular professor in the Research and Innovation Technology Center of the IPN. His bachelor studies were in the field of the Chemistry Engineering by the Autonomous Zacatecas University in México. He has gotten his master degree in Metallurgical Engineering by the IPN. Whereas, his doctoral studies were in the field of the Materials Processing in the Kyoto University, Japan. He had worked for more than 10 years as an invited researcher in The Technological Research Institute of Osaka, Japan. His main field of work is in the referent to production and characterization of structural materials.

**Manuela DÍAZ CRUZ**

is actually is titular professor at the Metallurgy and Materials Engineering Department of the National Institute Politechnique (IPN) in Mexico City. She has gotten his bachelor and master in Metallurgical Engineering by the IPN. His doctoral was in the field of metallurgical reactors with gas injection through rotary lances in the Nagoya University. Her main field of work is in the study of steelmaking process.

are setting time and the type of cement being used; as well as the Alite ( $C_3A$ ) phase content and the percentage of alumina present in the slag. Tailing et. al. [3] reported that when cement contain considerable amount of vitreous blast furnace slag (either granulated or pelleted) their cementitious derived products exhibit good durability. Such statements, however still require further study.

Cement containing alkali-activated-slag was first developed in the early 60's by Glukhovsky and Wang [4]. Recently, Escalante et. al. [5] analyzed the hydration products and the reactivity of blast furnace slag using  $Na_2 \cdot nSiO_2$ , NaOH and carbonates admixtures, sulfates and hydroxides as chemical activators. These later studies confirmed that the major hydration product formed when analyzing several activating agents is calcium silicate hydrate (CSH). X-ray studies conducted on such material revealed the presence of a hydrated calcite phase, suggesting that the addition of NaOH makes slag more reactive. Irassar [6] on the hand replaced cement by granulated blast furnace slag to improve its mechanical resistance and determined that its strength depends on the amount of slag. Locher [7] concluded that the ultimate strength of concrete containing slag is a function of the microstructure of constitutive particles. Mejia

et. al. [8] conducted a study based on the sulfate attack to a material made out of a mixture of activated slag and Portland cement. They reported stability of their specimens to sulfates and attributed major resistant to sulfate attack due to the alkali-activated slag as compared to those made by Portland cement with no slag. From the work of Kurtis [9] it can be inferred that given the mechanical advantages conferred to cement through the proper addition of blast furnace slag (such as high compressive strength, high resistance to chemical attack and low synthesis temperature), this kind of material is potentially more convenient than normal ordinary Portland cement.

This work aims to study the durability of some blast furnace slag-based cements and H-class cementitious composites (which are suitable for applications such as cementing in oil wells), throughout their compressive strength evaluation and chemical attack to sulfates, as well as analyzing their general behavior when exposed to alkalis.

### Materials and methods

The cementitious materials used are: granulated blast furnace slag (GBFS) and H-class cement. The GBFS is a glassy slag provided by the Altos Hornos de Mexico Company and has a specific gravity of 2960 Kg<sup>m</sup><sup>-3</sup>. Its chemical composition is presented in Table 1., including the H-class cement. Because of its hydraulic characteristics, grain size and high resistance; this cement is used in practice for protection from chemical attack to sulfates. The chemical agent used in the preparation of studied material is an alkaline solution of sodium hydroxide (NaOH) at concentrations of 2 and 5% in relation to the mass of slag. This research has been conducting in accordance to the methods established under Mexican standards for assessing the technical suitability in developing an alternative cementitious product. Mexican standards followed in this work include NMX C 418 ONNCCE 2001, which relates to the ASTM C-1012. For the microscopic analysis conducted in this work a scanning electron microscope (JEOL 6360LV) was used.

Granulated blast furnace slag (GBFS)		Class-H cement	
Compound	Composition (%)	Compound	Composition (%)
CaO	35.70	CaO	64.80
SiO <sub>2</sub>	36.90	SiO <sub>2</sub>	20.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.41	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.28	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.31
MgO	9.03	MgO	1.95
SO <sub>3</sub>	0.06	-	-
S-	1.60	-	-
Na <sub>2</sub> O	1.10	Na <sub>2</sub> O	0.51
K <sub>2</sub> O	1.20	K <sub>2</sub> O	0.21
R.I.	0.19	R.I.	0.21
R.F.	2.49	R.F.	1.22

Table 1. Chemical composition of materials used in this work (weight %)  
1. táblázat A vizsgált anyagok kémiai összetétele (tömeg %)

The chemical formulation of the specimens used in the compressive strength and sulfate testing is described in Table 2. The compositions of the materials used in the reactivity test to aggregate alkali are also listed. For each of the composites shown in Table 2., nine cubes of 50 mm side and six bars of 250 × 25 × 25 mm were prepared (MNX C 061 ONNCCE 2001). The cement cubes were used to measure compressive strength in a hydraulic commercial machine, (Soilest Model CI-7510). The bars were immersed in sulfate solutions at setting times of 1, 3, 7, 14 and 28 days. The longitudinal change occurred in the samples before and after the endurance of sulfate resistance test was carried out using a commercial digital display (Humboldt MFG CO H model 3259).

For compressive strength and sulfate resistance	For reactivity to aggregate alkalis
100 % H-cement	100 % H-cement
100 % GBFS activated with 2% NaOH	
100 % GBFS activated with 5% NaOH	100 % GBFS activated with 5% NaOH
80 % GBFS - 20% H-cement	
60 % GBFS - 40% H-cement	
40 % GBFS - 60% H-cement	40 % GBFS - 60% H-cement
20 % GBFS - 80% H-cement	20 % GBFS - 80% H-cement

Table 2. Formulation of materials used to evaluate the compressive strength and sulfate resistance, as well as proof of reactivity to aggregate alkalis (wt %)  
2. táblázat A nyomószilárdság és a szulfátállóság, valamint az aggregátumok lúggal szembeni viselkedésének vizsgálatához használt anyagok összetétele (tömeg %)

### Results and discussion

#### Compressive strength

Fig. 1. shows the compressive strength of the cementitious composites analyzed. These include H-class cement and that of the activated slag with 2 and 5% NaOH as a function of setting time. The cementitious composites developed their compressive strength much slower than that shown by the H-class cement at initial stages (3–7 days), which according to Barnett [10] is a feature of cements having high slag content (<50% of GBFS). The addition of GBFS to H-class cement undermines the compressive strength as compared to its pure state, although it tends to improve along further setting time. For pure H-cement this parameter tends to increase over the first 7 days of curing. Note that both the pure H-class cement (—▲—) and the composite 20% GBFS - H-cement (—▶—) provide mechanical resistance to compression above 20 MPa at 7 and 14 days, respectively. For GBFS at 100% without NaOH it would not be possible to assess the resistance because it does not cure its own without the presence of sodium hydroxide or other alkali. In the case of GBFS, which was NaOH-activated it is observed that the compressive strength increases as the alkali concentration is higher. In both cases, resistance tends to increase up to 14 days to develop very shortly thereafter. This is attributed to the fact that NaOH acts as a cement retardant, in addition to the activators that disclose a specific selectivity [11], which in turn depends on the used materials chemical composition. Studies carried out by different researchers [6–8] report that activated slag cements are basically dependent on the same factors as ordinary Portland cement, although in

the first case the initial reaction mechanisms are dissolution and precipitation [3]; whereas in the case of ordinary Portland cement it is attributed to more than a diffusion phenomenon. The large compressive strength observed at early setting times on those cementitious composites is associated to the nature of the anion present in the activating solution. In this case, the presence of Na<sup>+</sup> cations, which initially compete and/or interact with the Ca<sup>++</sup> cations in the slag form the calcium silicate hydrate (CSH gel) responsible for the development of resistance [3].

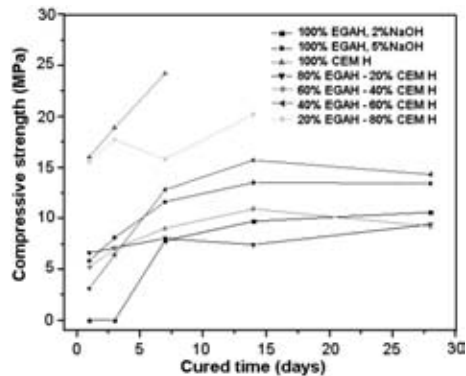


Fig. 1. Compressive strength observed in different cementitious composites  
1. ábra A különféle kísérleti cementek nyomószilárdsága

## Durability of cementitious composites to chemical attack

### A. In Magnesium sulfate solution (MgSO<sub>4</sub>)

Since MgSO<sub>4</sub> tends to react with the mineral constituents of cement by creating product compounds whose crystalline volume per unit cell is larger than its precursors, the mechanical resistance of cementitious composites was determined throughout evaluation of their expansion percentage shown when exposed to sulfates. Macroscopically, those materials reveal volumetric expansion by swelling themselves; this could lead to catastrophic fracture of the cementitious composites. This failure risk can be prevented if the evaluation approach reveals that the value of the expansion is minimal. The results are shown in Fig. 2. (a) and (b). It is noted that the increase in the amount of slag in H-class cement reduces the percentage of expansion from 0.07% to 0.02% after 12 months. Fig. 2. (a) shows that compared to the composites exposed to the same conditions, pure H-class cement undergoes larger expansion level despite being a cement composite designed to withstand aggressive chemical reactions. Cementitious composites with composition of 60% H CEM GBFS -40% (—▲—), 40% H CEM GBFS -60% (—▼—) and 20% H CEM GBFS -80% (—◆—) have a similar expansion behavior, which is much lower than that of pure H-class cement. Therefore, one would expect these materials to disclose an adequate resistance to sulfates. In general, these results show that when GBFS is activated with NaOH it triggers resistance, which increases up to 28 days. This indicates that the addition of slag improves the composites resistance to chemical attack. The materials that reached 20 MPa before the 28 days, such as 100% H CEM and 20% GBFS -80% CEM H experience greater expansion than those which did not reach it, as it is the case of 100% activated GBFS 5% NaOH.

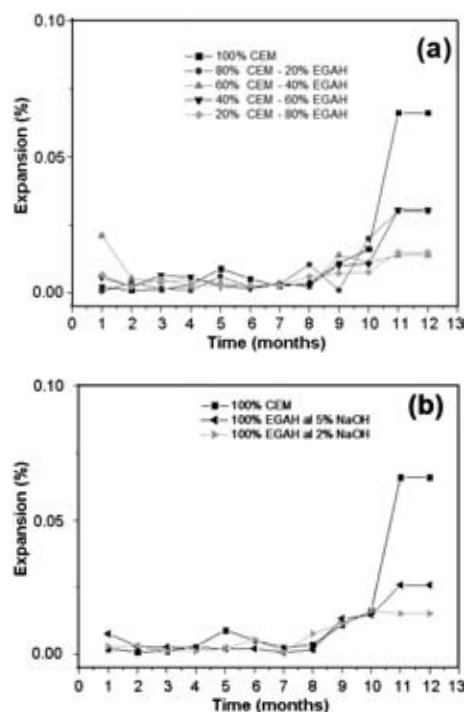


Fig. 2. (a) Volumetric expansion behavior shown by cementitious composites and CEM-H in magnesium sulfate MgSO<sub>4</sub>. (b) H-CEM and GBFS behavior activated with 2 and 5% NaOH  
2. ábra (a) a különféle kísérleti cementek és a CEM-H térfogatának növekedése magnézium-szulfát oldatban, (b) a 2, illetve 5% NaOH-dal aktivált granulát kohósalak és a CEM-H viselkedése

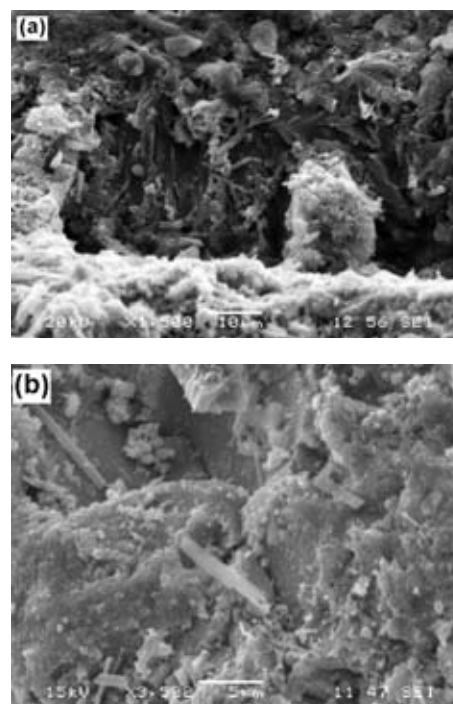


Fig. 3. Micrograph of the H-class cement, (a) showing a pore and (b) a deposition of ettringite in the pore  
3. ábra A CEM-H SEM felvétele (a) egy pórus képe, (b) ettringit lerakódása a pórusban

Derived from the scanning electron microscopy (SEM) analysis, it was confirmed the formation of some products resulting from the interaction between the blast furnace slag-based composites cementitious and the H-class cement in the magnesium sulfate solution. Fig. 3. (a) shows a micrograph

of H-class cement revealing the pores present, which when observed at higher magnification (Fig. 3. (b)), are found to be filled with needle-shaped crystals, corresponding to ettringite.

**B. In sodium sulfate solution (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

Fig. 4. (a) and (b) show the volume expansion percentage of studied material monitored for one year along its exposure to this environment. Initially, the edges found on the surface of specimens enlarged through a sort of peeling process occurred at the top and bottom of the bar-samples. For some bars it was even noticed that the expansion process took place whereas the addition of larger amounts of slag reduces the expansion percentage to values below 0.1% after 12 months. It is noteworthy that sodium sulfate is a much more aggressive agent than magnesium sulfate. Thus, the H-class cement slowly increases the rate of expansion. After nine months testing the volume expansion of analyzed material starts to rise in all cases. Such subsequent behavior is associated to the precipitation of sulfates, basically occurred in the center of the grains without causing any cracking. The later is based on the fact that no composite expansion was recorded to exceed the limits set out in NMX C 418 ONNCCE 2001, which is of 0.07% at maximum. Moreover, according to the American norm ASTM C-1012 used in several investigations [6, 12–13] the maximum volume expansion allowed in these specimens is of 0.05% during the first 6 months. If the later takes place in the analysis then such material having high resistance to sulfates and 0.10% expansion can be classified as one of moderate resistance. The expansion percentages obtained in this investigation indicate that the slag activated with sodium hydroxide corresponds to a material with high resistance to sulfates.

The scanning electron microscopy SEM study confirmed the formation of some products resulting from the interaction between the blast furnace slag-based cementitious composites and H-class cement in the sodium sulfate solution. Fig. 5. (a) shows the surface of the H-class cement showing a particle size of 10 μm. Although in this case, it was not observed the presence of pores or cracks. Fig. 5. (b) shows the formation of gypsum and ettringite crystals.

**C. Alkali aggregate reactivity**

The alkalis (Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>) are typically encountered in the Portland cement chemical composition, although other major cations may additionally be supplied through the incorporation of enriching materials. Granulated blast furnace slag GBFS substantially increases the amount of Si<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Al<sup>3+</sup> through a past richer in SiO<sub>2</sub>, CaO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (see Table 1). Thus, ions might undergo reactive with specific aggregates (quartz, chalcedony, opal, volcanic glass, clay, etc.) modifying acidic and/or basic behavior of cement and thus its final properties. To assess the chemical reactivity of alkali aggregates in the studied cement and aggregate admixtures it was analyzed the potentially expansive reactions, involving hydroxide ions that are associated to (sodium and potassium) alkalis by measuring the length of the cement bar. Fig. 6. shows the volume expansion percentage, which indirectly reflects the reaction effect between the alkali in the solution and reactive aggregates (Pyrex glass). The volume expansion was measured directly from the mortar bars at 38 °C ± 2 °C and a relative humidity of not less than 80%.

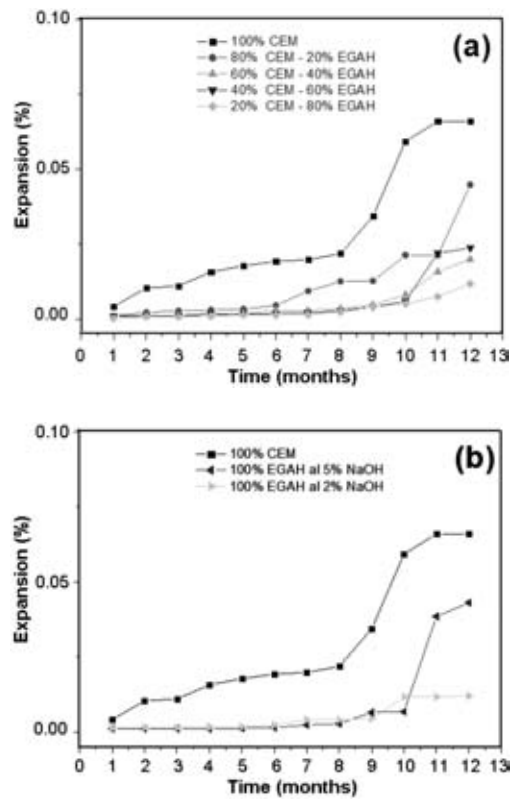


Fig. 4. Volume expansion behavior of blast furnace slag-based cementitious composites exposed to Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

4. ábra A kohósalakot tartalmazó különféle cementkompozíciók térfogat növekedése Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oldatban

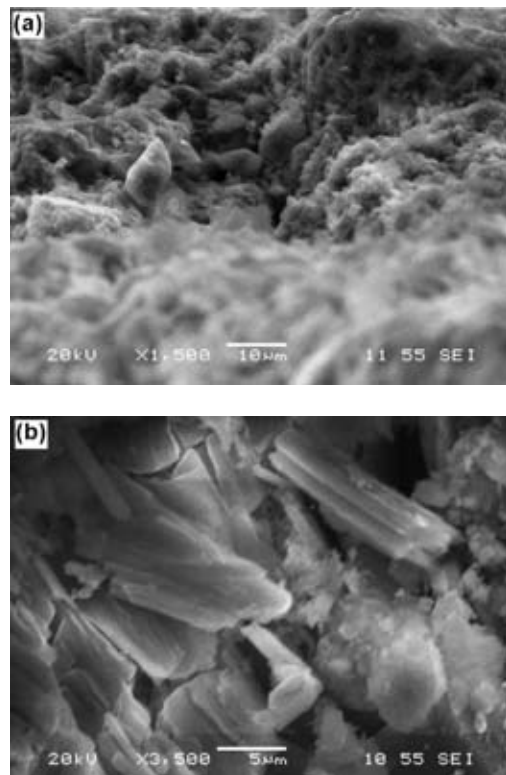


Fig. 5. (a) Micrograph of the surface of the H-class cement and (b) magnification of formed crystals

5. ábra (a) a CEM-H felületéről készített SEM felvétel, (b) a képződött kristályok kinagyítva

The reaction most often occurred between alkalis and silica, takes place between alkali cement and aggregates. The reaction products can be represented in simplified form as follows:



The gel product of the reaction has the ability to absorb water and therefore increases in volume. This expansion creates internal tensile forces that end up breaking the mortar. Therefore, it appears that both the H-class cement, as well as the 5% NaOH alkali activated GBFS and the 80% cement composite H-20% can be considered as materials with a moderate alkali aggregate reactivity. That explains why no cracks or fissures are observed in the petrographic inspection (i.e., given the slowness of the reaction).

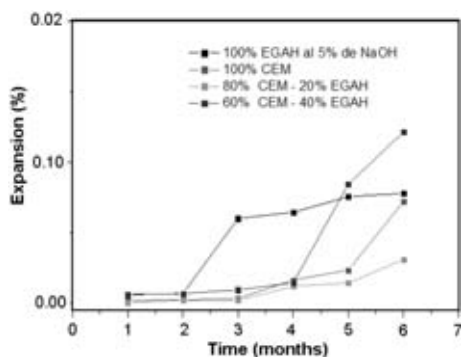


Fig. 6. Mean volumetric expansion of cementitious composites testing aggregate alkali reactivity

6. ábra A különféle cementkompozíciók átlagos térfogat növekedése az aggregátumok lúggal szembeni viselkedésének vizsgálatakor

## Conclusions

- The durability effect of H-class cement, considered suitable for cementing oil wells, was evaluated in this study by mixing it with blast furnace slag and its activation with NaOH.
- A limited durability of the cementitious composites is inferred from axial-compressive testing. The compressive resistance of composites decreases as the percentage of slag rose.
- The addition of 60 and 80wt% slag reduces the volume expansion level to values below 0.1% after 12 months testing.
- The volume expansion level of the H-class cement specimens after being activated with NaOH reduced as the granulated blast furnace slag GBFS amount was increased.
- Since the cementitious composites obtained after 12 months disclosed a volume expansion of about 0.035%, they can be considered as materials of moderate resistance to sulfate.
- The main reaction products detected in cementitious composites are hydrated calcium silicate, ettringite, gypsum and small amounts of hydroxalcite.

## Acknowledgements

The authors thank the National Polytechnic Institute, COFAA and CONACyT for the support given during the course of this work. Thanks to Cooperativa Cruz Azul RCL, for the access to

its facilities and equipment, especially to Mr. Guillermo Patiño. MDC, ERR and SDT acknowledge the support given by the SNI.

## References

- [1] Taylor H. F. W.: *Composite Cements*. Cement Chemistry Edit. Telford. (2004), pp. 262-272.
- [2] Osborne G. J.: *Durability of Portland blast – furnace slag cements concrete*. Cement Concrete Composites. (1999), pp. 11-21.
- [3] Tailing B. – Krivedo P.: *Blast Furnace Slag- The Ultimate Binder*. Chapter 5”, Waste Materials Used in Concrete Manufacturing, William Abdreu Publishing Noyes. (1997).
- [4] Glukhovskiy: *High strength slag-alkaline cements*. 7th Internacional Congr. Chem. Cem (Paris), Rumyna G.V. (1980) Vol. 3, pp. 164-168.
- [5] Escalante J. I. – Fuentes A. F. – Gorokhivsky A. – Faire P. E. – Mendoza G.: *Hydration products and reactivity of blast-furnace slag activated by various alkalis*. American Ceramic Society. (2003) Vol. 86, p. 731.
- [6] Irassar E. F.: *Sulfate resistance of blended cement: Prediction and relation with flexural strength*. Cement Concrete Research. (1990) Vol. 20, pp. 209-218.
- [7] Locher F.: *Zem- Kall-Gips*. (1966) Vol. 19, p. 135.
- [8] Mejía Ruby: *Propiedades de los morteros con escorias activadas alcalina- mente*. III Jornadas de Materiales de Construcción, Cali Colombia.
- [9] Kurtis K. E.: *Empirical models to predict concrete expansion caused by sul- fate attack*. AC Mater. (2000), pp. 156-161.
- [10] Barnet S. J. – Soutsos M. N. – Millard S. G. – Bumgey J. H.: *Strenght devel- opments of mortars containing ground granulated blast furnace slag: effect of curing temperature and determination of apparent activation energies*. Cement and Concrete Research. (2006), pp. 8-14.
- [11] Shi C. – Day R. L.: *Selectivity of Alkaline activators for the activation of Slags*. Cement and Concrete Research. (1996), pp. 434-440
- [12] Douglas E. – Bilodeau A. – Malhora V. M.: *Properties and durability of al- kali-activated slag concrete*. ACI Materials Journal. (1992) Vol. 89, pp. 509-516
- [13] Santhanam M. – Cohen M. D. – Olek J.: *Mechanism of sulfate attack a fresh look: Part I Summary of experiments results*. Cement and Concrete Research. (2002) Vol. 176, pp. 915-921.

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.4>

Maria Teresa **Fuentes-Romero** – Enrique **Rocha-Rangel** – Sebastian **Díaz de la Torre** – Manuela **Díaz Cruz**: *Durability of H-class cement and blast furnace slag-based cementitious composites*. *Építőanyag*, 63. évf. 1–2. szám (2011), 18–22. p.

## H-osztályú cement és nagyolvasztói salak alapú kompozit cementek tartóssága

Az acélgyártási salakok újszerű cementekben, vagy különleges cement kompozíciókban történő felhasználását mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontból már széleskörűen vizsgálták. Ugyanakkor a granulált kohósalakok (GBFS) esetében még kutatásokra van szükség annak felderítésére, hogy azok bekeverése miként befolyásolja a cementek tartósságát. Cikkünkben egy olyan, olajkutaták bélélésére használt H-osztályú cement tartósságát vizsgáljuk, amelyhez kohósalakot adagoltunk, majd NaOH-dal aktiváltunk. Kutatásainkat az alternatív cementtermékek kifejlesztésének műszaki szempontjaira vonatkozó mexikói szabványok szerint végeztük. Meghatároztuk a kapott termékek kémiai összetételét, nyomószilárdságát, és szulfátállóságát. Mikroszerkezetüket pásztázó elektronmikroszkópos felvételek alapján jellemeztük. Eredményeink szerint a cement kompozíciók mérsékelt tartósságúak: mechanikai sajátosságai a salaktartalom növelésével romlanak, és szulfátállóságuk sem megfelelő. A salaktartalom növelésével ugyanakkor a cement duzzadóképesége csökkent.

Kulcsszavak: cementkeverékek, aggregált, lúggal kezelt kohósalak, tartósság, szulfátállóság





## SZIKKTI LABOR SZILIKÁTKÉMIAI ANYAGVIZSGÁLÓ-KUTATÓ KFT.

A NAT által akkreditált vizsgálólaboratórium

Az MSZ EN ISO/IEC 17025:2001 szabvány követelményeinek megfelelően

Cím: 1034 Budapest, Bécsi út 122-124. • Levélcím: 1301 Budapest, Pf. 81

### TEVÉKENYSÉGI KÖR

- » Szilikátipari nyersanyagok, félkész és késztermékek (cement, üveg, szigetelőanyag, beton, téglá, cserép, kerámia, tűzálló anyag stb.) kémiai, fizikai, kristályszerkezeti, termoanalitikai, morfológiai vizsgálata.
- » Szervetlen szintetikus szálasanyagok korróziójának, szálerősítésű termékek tulajdonságainak vizsgálata. Különleges minőségű szálasanyag-összetételek kidolgozása.
- » Környezetvédelemmel kapcsolatos vizsgálatok (pl. azbeszttartalom, szabad kovasavtartalom stb. meghatározása).
- » CO<sub>2</sub>-kibocsátás vizsgálata különböző nyersanyagok, adalékok esetén. Az anyagban levő karbonátok minőségi és mennyiségi meghatározása. Szervesanyag-tartalom, Corg vizsgálata.
- » Műemlékvédelemmel kapcsolatos kötiszttási és konzerválási eljárások hatékonyságának vizsgálata.
- » Ipari hulladékok hasznosítása, újrafeldolgozása.
- » Kutatási, fejlesztési és szakértői megbízások teljesítése, komplex vizsgálati módszerek alkalmazásával.

### ANYAGVIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEK ÉS ESZKÖZÖK

#### Fizikai vizsgálatok

- » Porozitás és pórusméret-eloszlás 4 nm–177 µm pórusmérő-tartományban higanypenetrációs porozitméterrel.
- » Fajlagos felület mérése „egyponthos” nitrogéngáz abszorpcióshos módszerrel 0,1 m<sup>2</sup>/g-nál nagyobb fajlagos felületű anyagokra!
- » Sűrűség meghatározása hélium-piknométereshos módszerrel, folyadékban nem vizsgálható, azaz oldódó anyagokra is!
- » Szemcseméret-eloszlás és átlagos szemcseméret mérése 0,1–80 µm és 1,2–600 µm tartományban lézerggranulométerrel. A vizsgálatokhoz már 0,5 g anyag elegendő!

#### Termoanalitikai vizsgálatok

- » Differenciál termoanalitikai vizsgálatok, számítógépes adatfeldolgozású derivatográffal 1000 °C vagy 1500 °C-ig (tömeg és entalpiaváltozás mérése hőmérséklet, valamint idő függvényében).
- » Dilatációs vizsgálatok (hosszváltozás mérése) 20–1000 °C, 20–1500 °C és -170–400 °C tartományban.
- » Terhelés alatti lágyulás és kúszás vizsgálata max. 1700 °C-ig.

#### Kristályszerkezeti vizsgálatok

- » Minőségi és mennyiségi röntgenpordiffrakcióshos fáziselemzés számítógépes adatfeldolgozáshossal. Fázisátalakulások in situ vizsgálata levegőn 1500 °C-ig, vákuumban 2200 °C-ig.

#### Morfológiai és mikroszondás vizsgálatok

- » Morfológiai vizsgálatok pásztázó elektromikroszkoppal, 20–60 000-szeres nagyítási tartományban.
- » Lokális kémiai összetétel tanulmányozása a morfológiailag is megfigyelhető különböző fázisok, hibahelyek stb. esetén energiadiszperz mikroszondával.
- » Optikai mikroszkópia számítógépes adatfeldolgozású képanalizátorral (különböző anyagok optikai jellemzőinek meghatározása).

#### Kémiai összetétel meghatározása

- » Röntgenfluoreszcens analizátorral sorozatminták vizsgálata 1–3 nap alatt.

További információ: Dr. Wojnárovits Lászlóné ügyvezető igazgató

Telefon: 06-1/388-8752 • Telefon/fax: 06-1/368-7626 • Fax: 06-1/430-1460

E-mail: szikktilaborkft@t-online.hu • www.szikktilaborkft.hu



# Treatment, characterization and $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ and $\text{Zn}^{2+}$ adsorption behaviour of chemically treated bentonite clay: a comparative study

MAKHOLOUF BOUFATIT\* • Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène (U.S.T.H.B.)

▪ maboufatit@yahoo.com

FETTOUMA MOHAMMED-AZIZI • U.S.T.H.B.

SORAYA DIB • U.S.T.H.B.

Received: 23.11.2010. • Érkezett: 2010.11.23. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.5>

A sample of bentonite from Mostaganem (N.W. Algeria) was characterized by powder X-ray diffraction, FT-IR spectroscopy and elemental analysis. The acid-activated bentonite was employed as adsorbent for four heavy metal ions from aqueous solutions by mean of batch experiments. The effect of shaking time, pH of aqueous solution, metal concentration and adsorbent amount was studied. The effective pH range was found to be in the range 4 to 6, in which Algerian bentonite showed significant removing potential for  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  ions from aqueous solutions.

Keywords: acid-activated bentonite, removal, toxic, heavy metals

## 1. Introduction

Due to their remarkable properties as adsorbents (high specific surface area, chemical stability, tendency to hold water in the interlayer sites, availability and low cost, material clays have received great attention for the removal of hazardous organic and inorganic pollutants from water (Bereket et al., 1997; Bailey et al., 1999; Gupta and Bhattacharyya, 2005; Okada et al., 2005; Boufatit et al., 2007a, b; Khazali et al., 2007; Dib et al., 2008). Attempts have been made to further improve their surface properties by chemical treatment and by intercalation with inorganic or organic molecules (Bhattacharyya and Gupta, 2008; Boufatit et al., 2008; Kwon et al., 2001; Pérez-Quintanilla et al., 2007; Uribe et al., 2002; Yapar, 2009). However, the sorbing properties of acid-activated clays for heavy metal ions must be characterized in order to predict the behaviour and removal of toxic heavy metals such as chromium, lead, cadmium, copper, nickel, and zinc from industrial wastewaters is still remains a technological challenge (Xu et al., 2008; Khazali et al., 2007; Al-Qunaibit et al., 2005; Donat et al., 2005; Yaruza et al., 2003). In this work, we report new data on the efficiency of native Algerian bentonite in removing  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  ions from aqueous systems.

## 2. Materials and experimental methods

### 2.1. Reagents and solutions

All chemicals were purchased in analytical reagent grade and were used as delivered. These were obtained from Carlo Erba (NaOH, 98%), Fluka (KOH, 99.5%;  $\text{CuCl}_2$ , 97%), Merck (HCl, 37%;  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 99%) and Panreac ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). The elements standard solutions used were prepared with distilled water.

Dr. Makhlof BOUFATIT is "Maître de Conférences" at the "Faculté de Chimie" - U.S.T.H.B, University of Science and Technology Houari Boumediène, in Algiers, Algeria. He's working on 'local material clays and looking at the ability of these clays treated /modified to sorb environmental hazardous materials (pollutants).

Laboratoire d'Electrochimie - Corrosion, Métallurgie et Chimie Minérale, Inorganic Material Research Group (Environmental Chemistry).Corresponding author of this paper.

Fettouma MOHAMMED-AZIZI

and

Soraya DIB

are Doctorate (PhD) Students of Makhlof Boufatit.

### 2.2. Preparation of bentonite

In this study, we used bentonite samples from Mostaganem (N.W. Algeria). The commercial clay was purified using a sedimentation method (Van Olphen, 1963). In this method, 5 g of clay were dispersed in 500 ml distilled water and shaken overnight on mechanical shaker (Janke type, Hunkel Ika. Werk, KS 500). The resulting clay slurry was then left to stand for 2 h to allow sedimentation of silica and other heavy impurities. The suspension was then centrifuged and the supernatant water discarded. The restrained sample was air dried (Fig. 1.). The purified bentonite was reacted with a 0.05 M, 0.1 M, 0.2 M, 0.5 M or 1 M HCl solution. The suspension composed of purified clay (5 g) and a HCl solution (500 ml) was shaken for 24 h. The acid-activated bentonite was centrifuged, air dried and ground to fine powder then stored for further use (Fig. 2.).

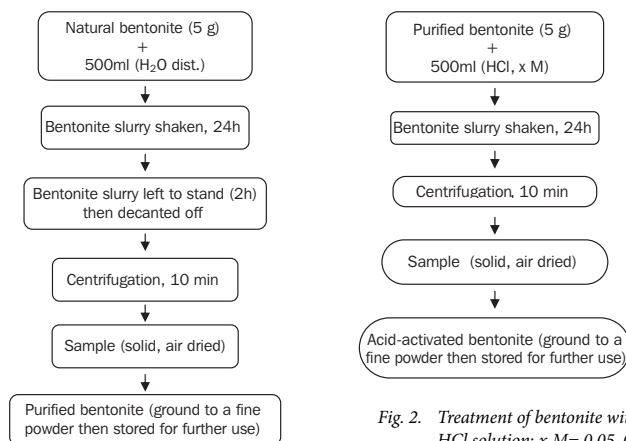


Fig. 1. Procedure for purification of bentonite clay

1. ábra A bentonittisztítás vázlatja

Fig. 2. Treatment of bentonite with HCl solution:  $x M = 0.05, 0.1, 0.2, 0.5$  or  $1 M$  HCl

2. ábra A bentonit kezelése sósavval:  $x M = 0.05, 0.1, 0.2, 0.5$  or  $1 M$  HCl

Figs. 1–2. Schematic diagrams for the procedure of purification and acid-treatment of bentonite (adapted from Van Olphen, 1963)

1–2. ábra A bentonit tisztításának és savval történő kezelésének sematikus diagramjai

\* Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène (U. S. T. H. B.), Faculté de Chimie, Laboratoire d'Electrochimie-Corrosion, Métallurgie et Chimie Minérale, B.P: 32, El-Alia, Bab-Ezzouar, Alger 16111, Algeria; Tel/Fax: + 213 21 24 73 11

Corresponding author: E-mail: maboufatit@yahoo.com; mboufatit@usthb.dz

### 2.3. Adsorption experiments

1g of acid-activated bentonite, with HCl solution, was added to 100 ml aqueous solution containing separately  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  ions into 200 ml conical flasks and shaken to achieve the desired concentrations of different components. The pH values of the solution were adjusted by adding negligible volumes of 0.1 mol/l HCl or NaOH solution. After stirring the suspensions for 2h ( $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ) and 1h ( $Zn^{2+}$ ), the solid and liquid phases were separated by centrifugation at room temperature.

### 2.4. Analytical method

The surface properties of raw and acid-activated bentonite were characterized by Fourier Transform Infrared spectra (FT-IR) and X-ray diffraction (XRD).

XRD patterns were obtained from Philips PW 1730 diffractometer equipped with anode using Cu-K $\alpha$  radiation (40 kV, 30 mA). The sample for the FT-IR measurement of raw and acid-activated bentonite was obtained on a FT-IR Spectrometer, type Perkin Elmer Spectrum one model in KBr pellet at room temperature.

The specific surface analysis of the raw and acid-activated bentonite was obtained with an analyzer (Micromeritics ASAP 2020 equipment), using  $N_2$  as adsorbate.

The concentrations of  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  were analyzed by Varian type SAA-110 flame atomic absorption spectrometer equipped with deuterium background corrector. All measurements were carried out in air/acetylene flame. The removal of metal ions was calculated as:

$$\text{Removal \%} = \left( \frac{C_i - C_e}{C_i} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

where  $C_i$  and  $C_e$  are the initial and equilibrium metal ions concentrations, respectively.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Characterization of bentonite

The specific surface analysis of the raw bentonite was found to be 52 m<sup>2</sup>/g, (Boufatit and Ait-Amar, 2007b). The chemical composition was (55–65)% SiO<sub>2</sub>; (12–19)% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (0.5–1.8)% K<sub>2</sub>O; (2–3)% MgO; (0–2)% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.5–5.5)% CaO; (1–3)% Na<sub>2</sub>O, (Dib and Boufatit, 2009). The chemical composition of this natural clay mineral indicates the presence of important quantity of silica (SiO<sub>2</sub>) with traces of calcium and potassium oxides in the form of impurities (CaO and K<sub>2</sub>O). The ignition loss of the clay at 1000 °C was found to be 7.5%, humidity 15%, and swell 0.8%.

#### 3.1.1. XRD analysis

XRD analysis (Fig. 3.) showed that there was no obvious difference in the crystal structure of the raw and acid-activated bentonite (which was used in the experiments). The reflexions of all samples were exactly the same except the disappearance of the reflexion centred at  $2\theta = 9^\circ$  in the acid-activated bentonite (0.2M HCl) spectrum. In addition, associated montmorillonite and quartz impurities were also found in both materials.

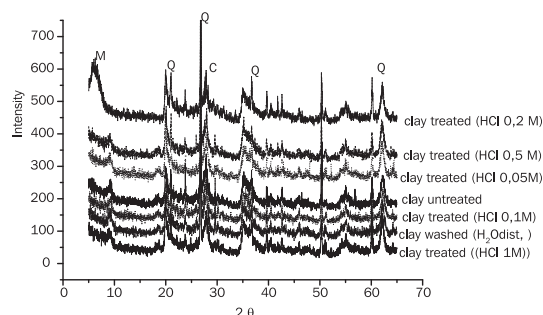


Fig. 3. X-ray diffractograms of raw and acid-activated bentonite with HCl  
3. ábra A nyers és a sósavval aktivált bentonitminták röntgen diffraktogramjai

### 3.1.2. Infrared Spectroscopy Study

The characteristic bands of bentonite and the detailed vibrational frequencies with possible assignments being given are obtained from studies reported earlier (Boufatit et al., 2007b, 2008; Ledoux et al., 1964; Slosiarikova et al., 1992; Van der Marcel et al., 1979). All products (Fig. 4.) exhibit a moderately intense band at 3451 cm<sup>-1</sup>, which might be ascribed to the stretching frequencies of the OH functional group of co-ordination water and of the hydration OH stretching. The absorption band at 1638 cm<sup>-1</sup> can be attributed to both OH stretching vibration and  $\delta(H_2O)$  deformation. The rest of the bands between 1043 and 500 cm<sup>-1</sup> in all samples are due to stretching vibrations of Si-O, Si-O-Si, OH attached to (Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup> and Mg<sup>2+</sup>) groups and the Silica Quartz impurities. The main change of spectra found after the acid treatment is the disappearance of the absorption bands centred at 1109 cm<sup>-1</sup> and 500 cm<sup>-1</sup> in the acid-activated bentonite (0.05, 0.5 and 1M HCl).

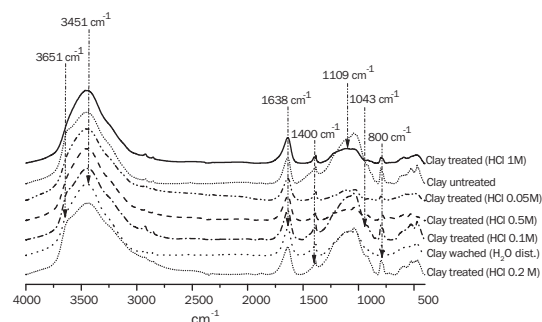


Fig. 4. Compared Infrared Spectra of raw and acid-activated bentonite with HCl  
4. ábra A nyers és a sósavval aktivált bentonitminták FT-IR spektrumai

### 3.2. Effect of shaking time

The effect of shaking time on the removal of  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  ions is shown in Fig. 5. According to this figure, the removal increases with the increasing of shaking time, in the range of 5–120 min, to reach a highest value at the contact time of 15 min. Then, it decreases when shaking time exceeds 20 min to reach equilibrium within 60 min in the case of  $Pb^{2+}$ . Similar behaviour was reported elsewhere (Dib and Boufatit, 2009; Xu et al., 2008). However, the removal of  $Zn^{2+}$  ions increases with time and attains saturation within 60 min. In contrast, the removal of both  $Cu^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  ions was slightly decreasing to reach equilibrium within 90 min. Maxima adsorptions were: 94% ( $Pb^{2+}$ ); 96% ( $Cu^{2+}$ ); 91% ( $Ni^{2+}$ ) and 91.7% ( $Zn^{2+}$ ).

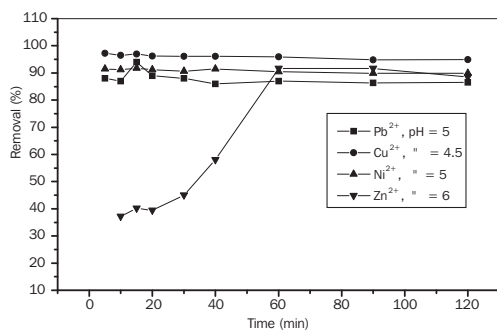


Fig. 5. Removal of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> onto acid-activated bentonite (0.05M HCl) as a function of shaking time (initial metal concentration: 10 mg.l<sup>-1</sup>; mass of acid-activated bentonite: 1g, T: 25°C)

5. ábra Az Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> és Zn<sup>2+</sup> ionok megkötése sósavval aktivált bentoniton (0.05M HCl) az érintkezési idő függvényében (kezdeti fémkoncentráció 10 mg.l<sup>-1</sup>, sósavval aktivált bentonit tömege 1 g, hőmérséklet 25°C)

### 3.3. Effect of pH

The removal of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> ions strongly depended on pH values (Fig. 6). The pH effect was investigated within the range from 1 to 7 in order to avoid any possibility of metal hydroxide precipitates. In fact, adsorption of these ions on bentonite could be masked and difficult to quantify at pH values slightly higher than 6. It is found that the removal of these ions increased gradually in acidic solutions within the pH range of 1–4 and then becomes constant within the pH range of 4–7. Taking into account the effect of H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> at low pH values on surface of bentonite, this surface would be closely associated with hydronium ions (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) which hinder the access of metal ions, by repulsive forces, to the surface functional groups (Bhattacharyya and Gupta, 2008). However, with the increasing pH, the concentration of H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> decreases and more of the metal ions could reach the clay surface and adsorb on it. The percentage removals of the metal ions reach the following maxima: 95% at pH = 4 for Cu<sup>2+</sup> ions; 90% at pH = 5 for Ni<sup>2+</sup>; 98% at pH = 5 for Pb<sup>2+</sup> ions and 85% at pH = 6 for Zn<sup>2+</sup> ions.

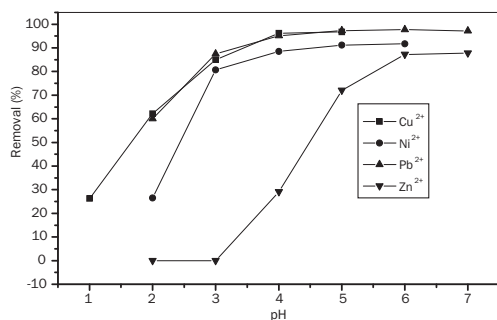


Fig. 6. Removal of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> onto acid-activated bentonite (0.05M HCl) as a function of pH (initial metal concentration: 10 mg.l<sup>-1</sup>; mass of acid-activated bentonite: 1g, T: 25°C)

6. ábra Az Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> és Zn<sup>2+</sup> ionok megkötése sósavval aktivált bentoniton (0.05M HCl) a pH függvényében (kezdeti fémkoncentráció 10 mg.l<sup>-1</sup>, sósavval aktivált bentonit tömege 1 g, hőmérséklet 25°C)

### 3.4. Effect of mass of bentonite

The removal of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> increased with the bentonite amount (Fig. 7). This removal became constant beyond masses greater than 1 g for the three metals ions Cu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> and 2g for Ni<sup>2+</sup> ions. This increase may be associated with the increase of available sites on the bentonite surface upon

increasing the amount of bentonite. The optimized removal was 91% (Cu<sup>2+</sup>), 74% (Ni<sup>2+</sup>), 99% (Pb<sup>2+</sup>) and 36% (Zn<sup>2+</sup>).

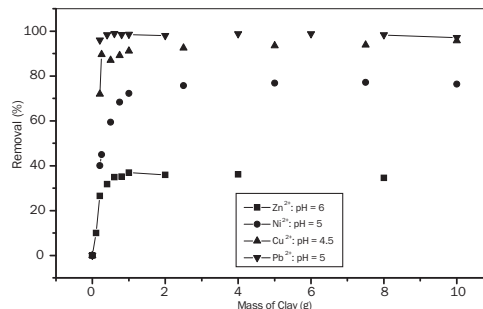


Fig. 7. Removal of Zn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> as a function of acid-activated bentonite (0.05M HCl) mass (initial metal concentration: 10 mg.l<sup>-1</sup>; T: 25°C)

5. ábra Az Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> és Zn<sup>2+</sup> ionok megkötése sósavval aktivált bentoniton (0.05M HCl) a bentonit tömegének függvényében (kezdeti fémkoncentráció 10 mg.l<sup>-1</sup>, hőmérséklet 25°C)

### 3.5. Effect of initial concentration of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> ions

The removal of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> ions on bentonite as a function of initial concentration in the range 5–100 mg/l was investigated at pH = 5 (Fig. 8). As seen in this figure, the removal was constant for initial concentration exceeding 30 mg. L<sup>-1</sup> for Pb<sup>2+</sup> ions, while the extent of the removal decreased continuously for Cu<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> ions. This behaviour observed for Cu<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> ions might be explained by the availability of sites.

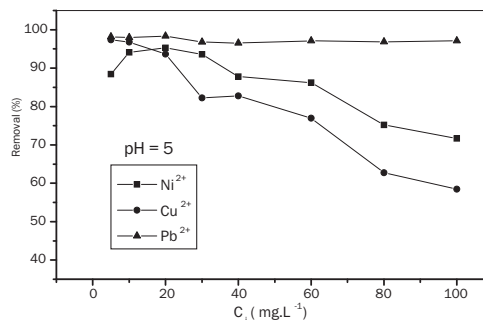


Fig. 8. Removal of Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> ions as a function of initial metal concentration (pH of the aqueous solution: 5; mass of acid-activated bentonite: 1g; T: 25°C)

8. ábra Az Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> és Ni<sup>2+</sup> ionok megkötése sósavval aktivált bentoniton a fémkoncentráció függvényében (vizes oldat pH-ja 5, bentonit tömege 1 g, hőmérséklet 25°C)

## 4. Conclusion

Acid-activated bentonite from Mostaganem (N.W. Algeria) can be used as an effective adsorbent for the removal of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> from aqueous solutions.

The effective solution pH for the removal was: 4 for Cu<sup>2+</sup>, 5 for (Pb<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>) and 6 for Zn<sup>2+</sup>.

The contact time for the maximum removal required was 90 min for Cu<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> and 60 min for Pb<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup>.

The availability and the low cost of this bentonite make it a good candidate in adsorption processes for use in water treatment and purification.

## Acknowledgements

The authors are thankful to the Algerian bentonite Company (ENOF) for providing bentonite samples.

## References

- [1] Al-Qunaibit, M. H. – Mekhemer, W. K. – Zaghoul, A. A.: *The adsorption of Cu(II) 152. ions onto bentonite-a kinetic study*. J. Colloid Interface Sci. 283, 2005. 316–321.
- [2] Bailey, E.S. – Olin, T.J. – Bricka, R.M. – Adrian, D.D.: *A review of potentially low-154. cost sorbents for heavy metals*. Water Res. 33(11), 1999. 2469–2479.
- [3] Bereket, G. – Aroguz, A.Z. – Ozel, M.Z.: *Removal of Pb(II), Cd(II), Cu(II) and Zn(II) from aqueous solutions by adsorption on bentonite*. J. Colloid Interface Sci. 187, 1997. 338–343.
- [4] Bhattacharyya, K.G. – Gupta, S.S.: *Adsorption of Fe(III), Co(II) and Ni(II) on ZrO-kaolinite and ZrO-montmorillonite surfaces in aqueous medium*. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 317, 2008. 71–79.
- [5] Boufatit, M. – Ait-Amar, H. – McWhinnie, W. R.: *Development of Algerian material montmorillonite clay. Adsorption of phenol, 2-dichlorophenol and 2, 4, 6-trichlorophenol from aqueous solutions onto montmorillonite exchanged with transition metal complexes*. Desalination, 206, 2007a. 394–406.
- [6] Boufatit, M. – Ait-Amar, H.: *Removal of N, N-dimethylaniline from dilute aqueous solution by Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> saturated montmorillonite*. Desalination, 206, 2007b. 300–310.
- [7] Boufatit, M. – Ait-Amar, H. – McWhinnie, W. R.: *Development of Algerian material montmorillonite clay - Intercalation with selective long chain alkylammonium cations (Octadecyltrimethylammonium, Cetylpyridium and Tetrabutylammonium) and with tellerium complexes*. Desalination 223, 2008. 366–374.
- [8] Dib, S. – Khouider, A. – Boufatit, M.: *Removal of Cu<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> from aqueous solution by Algerian clay materials*. Proceedings of the Global Conference on Global Warming-2008 (GCGW-08), 6-10 July 2008, Istanbul, Turkey. pp.737–744.
- [9] Dib, S. – Boufatit, M.: *Equilibrium study of adsorption of Pb<sup>2+</sup> from aqueous solution onto Algerian bentonite clay*. Desalination and Water Treatment, 5, 2009. 106-110.
- [10] Donat, R. – Akdogan, A. – Erden, Cetisli, H.: *Thermodynamics of Pb<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> adsorption onto natural bentonite from aqueous solutions*. J. Colloid Interface Sci. 286, 2005. 43–52.
- [11] Findon A. – Mckay O. – Blair H. S.: *Transport studies for the sorption of copper ions by chitosan*. J. Environ. Sci. Health, 1993. A28: 173–185.
- [12] Gupta, S. S. – Bhattacharyya, K. G.: *Interaction of metal ions with clays: I, A case study with Pb(II)*. Appl. Clay Sci. 30, 2005. 199–208.
- [13] Khazali, O. – Abu-El-Halawa, R. – Al-Sou'od, K.: *Removal of copper (II) from aqueous solution by Jordanian pottery materials*. J. of Hazardous Materials, 139(1), 2007. 67–71.
- [14] Kocaoba, S. – Orhan, Y. – Akyüz, T.: *Kinetics and equilibrium studies of heavy metal ions removal by use of natural zeolite*. Desalination 214, 2007. 1–10.
- [15] Kwon, O.Y. – Park, K.W. – Jeong, S. Y.: *Preparation of porous silica-pillared montmorillonite: simultaneous intercalation of amine-tetraethylorthosilicate into H-Montmorillonite and intra-gallery amine-catalyzed hydrolysis of tetraethylorthosilicate*. Bulletin Korean of Chemical Society 22 (7) 2001. 678–684.
- [16] Ledoux, R. L. – White, J. L.: *Infrared study of selective deuteration of kaolinite and halloysite at room temperature*. Science 145 1964. 47–49.
- [17] Marcel, Van der H.W. – Spacher, H. B.: *Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures*. Elsevier, Amsterdam. 1979.
- [18] Okada, T. – Morita, T. – Ogawa, M.: *Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II)-clays as adsorbents for phenol and chlorinated phenols from aqueous solution*. Applied Clay Science 29, 2005. 45–53.
- [19] Olphen, H. V.: *An introduction to clay colloid chemistry. App. I: Preparation of clay suspensions*. Interscience Publishers, John Wiley and Sons. N.Y, London, 1963. pp 239–243.
- [20] Pérez-Quintanilla, D. – Sanchez, A. – Del Hierro, I. – Fajardo, M. – Sierra, I.: *Preparation, characterization, and Zn<sup>2+</sup> adsorption behavior of chemically modified MCM-41 with 5-mercapto-1-methyltetrazole*. J. Colloid Interface Sci. 313(2), 2007. 551–562.
- [21] Slosiarikova, H. – Bujdak, J. – Hlauaty, V.: *IR spectra of octadecylammonium-montmorillonite in the range of Si-O vibrations*. The Journal of inclusion phenomena and molecular recognition in chemistry 13(3) 1992. 267–272.
- [22] Uribe, A. – Bishop, P. L. – Neville, G. P.: *The influence of pH and temperature changes on the adsorption behaviour of organophilic clays used in the stabilisation/solidification of hazardous wastes*. Journal of Environmental and Engineering Science 1: 2002. 123–133.
- [23] Xu, D. – Tan, X. L. – Chen, C. L. – Wang, X. K.: *Adsorption of Pb(II) from aqueous solution to MX-80 bent: Effect of pH, ionic strength, foreign ions and temperature*. Applied Clay Science, 41, 2008. 37–46.
- [24] Yapar, S.: *Physicochemical study of microwave-synthesized organoclays*. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 345, 2009. 75–81.
- [25] Yaruza, Ö. – Altunkaynak, Y. – Güzel, F.: *Removal of copper, nickel, cobalt and manganese from aqueous solution by kaolinite*. Water Res. 37, 2003. 948–952.

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.5>

Makhlouf **Boufatit** – Fettouma **Mohammed-Azizi** – Saroya **Dib**: *Treatment, characterization and Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> adsorption behaviour of chemically treated bentonite clay: a comparative study*. Építőanyag, 63. évf. 1–2. szám (2011), 24–27. p.

### Összehasonlító vizsgálatok egy bentonitos agyag kémiai kezeléséről, jellemzéséről, valamint Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> és Zn<sup>2+</sup> adszorpciójáról

Mostaganem-ből (Délnyugat-Algéria) származó bentonitmin-tát vizsgáltunk pordiffrakciós, FT-IR spektroszkópiai módszerekkel, és meghatároztuk kémiai összetételét is. A savval aktivált bentonitot adszorbensként használtuk nehézfémek vizes oldatból való megkötéséhez, szakaszos körülmények között. Tanulmányoztuk az érintkezési idő, az oldat pH-ja, a fémkoncentráció és az adszorbens mennyiségének hatását a fémmegkötő képességre. A legmegfelelőbb pH tartomány 4–6 közé esik. Ekkor az adott bentonit jelentős mennyiségű Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> és Zn<sup>2+</sup> iont köt meg vizes oldatokból. Kulcsszavak: savval aktivált bentonit, toxikus nehézfémek eltávolítása

## AZ ÉPÍTÉS FEJLŐDÉSÉÉRT ALAPÍTVÁNY 2010. ÉVI PÁLYÁZATAINAK NYERTESEI

### Diplomadíj pályázat:

- I. díj: Hóbor Eszter: Ability Park
- I. díj: Román Zsolt: Épületen kívüli robbantások modellezése vázas épület esetén való alkalmazása
- II. díj: Wettstein Domonkos: Történelmi tanösvény a vasfüggöny mentén
- II. díj: Kovács Gábor: Árvízvédelmi védvonal áthelyezésének lehetőségei az új Mosoni-Duna hídnál
- II. díj: Funk Bogdán: Régészeti kutatóközpont

III. díj: Balázs Marcell: Vakok és gyengénlátók iskolája

III. díj: Kovács Dávid: Hegyestű Geopark

III. díj: Horváth Csaba: Hotel Rudas

Különdíj: Hakkel Márton: Szakkórház a békásmegyéri lakótelepen

### Az év kiemelkedő fiatal építésze pályázat:

- I. díj: Valkai Csaba: Ravatalozó, Tömörkény; Művészetek Palotája – Fesztivál Színház, Budapest; Önkormányzati lakóépület, Budapest; Rác Fűdő, Budapest
- II. díj: Menyhárt Gergő: Celldömök – Városháza
- III. díj: Koós Marianna: Konferencia- és rendezvényközpont – Szombathely
- III. díj: Kolossa József: Esztergály Mihály Általános Iskola – Csomád

# Development of hydraulic binder using industrial wastes

**GÁBOR MUCSI** • University of Miskolc • ejtmucsi@uni-miskolc.hu

**ÁKOS DEBRECZENI** • University of Miskolc

**VIKTOR MÁDAI** • University of Miskolc

**TÍMEA DUDOK** • Carmeuse Hungary Co. Ltd.

**BARNABÁS CSŐKE** • University of Miskolc • ejtcsoba@uni-miskolc.hu

Received: 02.02.2011. • Érkezett: 2011.02.02. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.6>

This paper is focused on the utilization of landfilled F class fly ash as a main component of hydraulic binder; furthermore quick lime (CaO) and lime kiln dust (LKD) were tested as additives during the experiments. After determination of the material properties, such as particle size distribution, moisture content, real and bulk density and specific surface area, mechanical activation was performed for certain time by laboratory ball mill to improve the pozzolanic activity of fly ash. Then test specimens were produced using different type and composition of hydraulic binder and the compressive strength was measured at 14, 28 and 56 days. Optimal mechanical property was achieved with binder No. II. (containing 80% fly ash, 20% CaO) and No. V. (70% fly ash, 15% CaO and 15% LKD), compressive strength was 4.67 and 4.31 N/mm<sup>2</sup> respectively.

Keywords: power plant fly ash, lime kiln dust, grinding, hydraulic binder

## Introduction

According to the research experience of the Institute of Raw Material Preparation and Environmental Process Engineering, University of Miskolc quality-guaranteed fly ash based binder can be produced using F class ground fly ash and quick or hydrated lime powder mixed in appropriate ratio. The aim of the present work is how the above mentioned CaO and Ca(OH)<sub>2</sub> can be replaced partially or fully with Lime Kiln Dust (LKD), a secondary raw material that generated in lime kiln plants in significant amount worldwide.

## Preliminaries

Preliminary of this paper is a successfully implemented project started in 2005 (finished in 2007), namely the project entitled „Development of a technological system producing quality guaranteed fly-ash based binder” (GVOP-3.1.1-2004-05-0113/3.0). The main aim of the project was to develop a low-cost quality-guaranteed fly ash based binder especially for road construction (facilitating the construction of economical surface pavement). In the frame of the research laboratory and pilot plant experiments were carried out. The members of the consortium beside Institute of Raw Material Preparation and Environmental Process Engineering, University of Miskolc were as follows: H-TPA Innovation and Quality control Ltd., KTI Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd. and IHU Industrial Waste Utilization Non-profit Ltd. The scientific coordinator was Prof. Dr. Barnabás Csőke.

Based on the results of the laboratory experiments it was stated that the pozzolanic activity of the investigated deposited fly ash samples, originated from four dumpsites, can be controlled by mechanical activation (grinding). One of them can be seen from Fig. 1. Furthermore, applicable hydraulic binder can be manufactured from industrial wastes (mainly fly ash) by adding adequate quantity of lime. The strength of specimens met the requirements of technical specifications, i.e.

**Dr. Gábor MUCSI**

is Assistant Professor at University of Miskolc, Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing since 2010. His main fields in education and research are mechanical processes – crushing and grinding, especially fine grinding – and utilization of industrial waste materials. He has 43 publications.

**Dr. Ákos DEBRECZENI**

is Associate Professor at University of Miskolc, Institution of Mining and Geotechnical Engineering since 1999. He has over 50 publications. His research areas are geomechanics, rock mechanics, investigation and improvement of tailings facilities, hydraulic and pneumatic transport.

**Dr. Viktor MÁDAI**

is Assistant Professor at University of Miskolc, Department of Mineralogy and Petrology since 2005. Main research fields are silicate chemistry, and its environmental applications. He has 19 scientific papers and presentations.

**Tímea DUDOK**

is Marketing Expert at Carmeuse Hungary Co. Ltd since 2008. She graduated in 1997 at Sopron University as wood engineer (MSc) and in 2003 as Marketing Expert at the College of Foreign Commerce. Main fields are environmental (flue gas treatment and desulfurization) and construction industry (soil stabilization, hydrate in HMA).

**Prof. Dr. Barnabás CSŐKE**

is Professor at University of Miskolc, Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing. Research areas are mechanical processing, raw materials preparation, fracture-mechanical and physical phenomena in fine disperse systems, research and development of processing techniques, modelling and simulation of comminution and separation processes, computer application in field of processing. He has over 150 publications.

it can be applied for building of road bedding. Thus a relative inexpensive binder can be produced using suitable raw material preparation technologies consists of grinding, classification, homogenization,... processes.

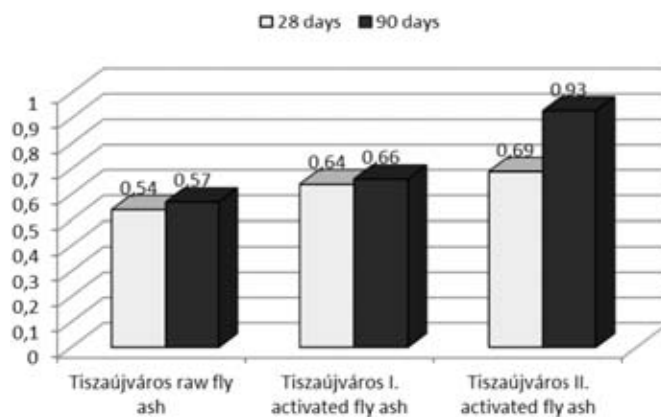


Fig. 1. Effect of mechanical activation on the activity index of Tiszaújváros fly ash (Mucsi et al., 2009)

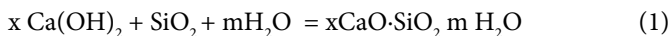
1. ábra Mechanikai aktiválás hatása a tiszaújvárosi pernyeminta aktivitás indexére (Mucsi és szerzőtársai, 2009)

Two basic ideas led to start the present research of Lime Kiln Dust utilization. On the one hand from economic point of view the price of lime additive represents a significant amount in the production cost of the above presented fly-ash based hydraulic binder. This expense can be reduced using a

lime coating secondary raw material. On the other hand from environmental point of view the treatment of a powdered by-product (LKD) containing significant free lime can be solved by its application as a binder additive.

### About power station fly ash and LKD

Fly ash is a pozzolanic powdery residue (mineral matter showing pozzolanic activity) collected in electric or mechanical dust collectors following combustion of coal in coal fired power plants. Fly ash is a finely dispersed material with average particle size between 10 to 30  $\mu\text{m}$ . Particle size distribution of the fly ash depends on minerogenetic composition of the fuel coal the fineness of grinding and parameters of the system the fly ash was collected in. Hydraulic activity is one of the major characteristics of fly ash. The chemical reaction between  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and the active component of fly ash (mainly reactive  $\text{SiO}_2$ ) leading to binding of the mixture is called pozzolanic reaction (Opoczky, 2001):



Hydraulic activity of fly ash is governed by the totality of its physical and chemical properties. Most important factors are the chemical composition and phase structure, the degree of dispersion (particle size distribution and specific surface area) as well as the morphology of particles (see Fig. 2.).

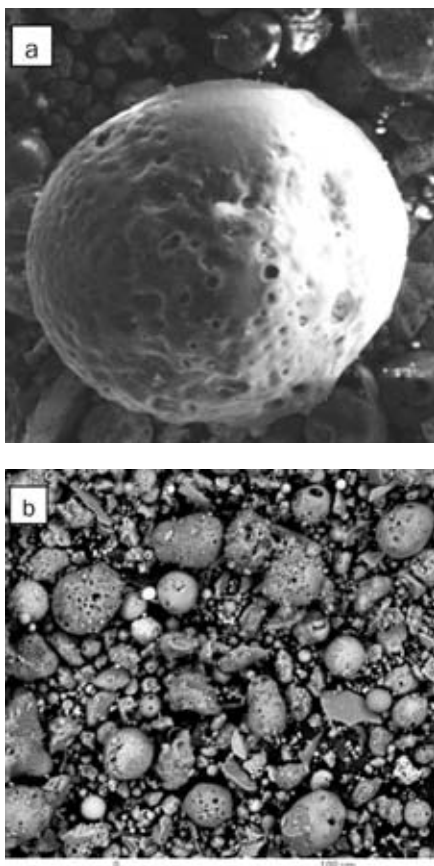


Fig. 2. a) and b) SEM images of fly ash  
2. ábra a) és b) Pernye minták SEM felvételei

The amorphous (glassy) material of fly ash has important role in pozzolanic activity. Kusnierová et al. (2005) investigated the

change of amorphous content of a black coal fly ash depending on time. They found significant devitrification in case of the previously landfilled fly ash, i.e. the ratio of glassy phase reduced. Namely the amorphous content of initial fresh fly ash of 90.65% reduced to 79.30% after 5 years, and to 67.70% after 20 years. During the progress mostly illite and zeolites are generated.

Muluken et al. (2009) investigated the chemical, mineralogical and geochemical properties of fly ash after landfilling for various durations and at various depths. The effects of weathering on the landfilled fly ash are studied in comparison with the fresh fly ash from the same site. The results shown the alternation in mineralogy and microstructure of the fly ash, and revealed the formation of secondary minerals (calcite and ettringite) mainly due to hydration, carbonation and pozzolanic reactions.

Regarding the origin of the fly ash they can be generated from the burning of lignite, brown and black coal, as for collection method they are filter or cyclone fly ash.

Utilization of fly ash and lime kiln dust as raw material is of common interest, since beside the users, the power plant and lime plant owners can benefit significantly by reducing the amount of material to be treated and stored. Furthermore the population would have advantages as well by exempting valuable fields at the place of dumpsites. The rational primary raw material (limestone, dolomite, clay, sand, etc...) management is of great importance, additional advantage is to save the mineral deposits and to reduce the energy input for their preparation as well as to diminish the  $\text{CO}_2$  emission.

According to the results of the international research work it can be stated that the utilization of fly ash in the concrete industry has the following advantages:

- Better workability, due to the spherical particles the viscosity of the concrete mixture will be better.
- The strength of the concrete can be improved by filling the pores by small fly ash particles (filler effect).
- The heat of hydration is reduced.
- The waterproofing is improved.
- The fluid concrete can be pumped easier.
- Better insulation effect can be reached.
- The efflorescence generated by  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and salts can be diminished.

The above presented material characteristics can be modified by using the appropriate raw material preparation technologies and processes (grinding, classification, enrichment). The concrete produced by this way have favorable properties from economic and environmental aspects as well.

During the calcination of limestone significant amount of dust by-product is generated, which called lime burning dust or lime kiln dust (LKD) collected in electrofilter. Different types of dust control equipment are used, but basically the systems can be classified as either wet or dry. The chemical composition of LKD from high-calcium lime plants varies widely depending on factors such as the physical and chemical characteristics of the limestone used, the type of kiln used, whether a preheater is used, operating parameters of the kiln, reactivity of the lime

produced, and chemical composition of the fuel used. The LKD material may contain roughly equal amounts of free/available CaO and uncalcined calcium carbonate, and lesser amounts of impurities such as MgO derived from the limestone.

However, the landfilling of such material is complicated and not favorable from environmental aspect because of its high free lime content. Therefore an environmental friendly solution would be the utilization of LKD in inert form, for instance as an activating additive for low free lime content binders. For this opportunity it is necessary to know the hydration behavior and chemical/mineralogical composition of the raw by-product.

## Materials

### Fly ash

The brown coal fly ash sample investigated is originated from the Tiszaújváros dumpsite which was landfilled few decades ago and probably during this period the material was passivated, i.e. the amorphous, glassy phases are partially recrystallized spontaneously. The amorphous content was found to be 23.00%.

The material fineness can be characterized by median of  $x_{50} = 48.58 \mu\text{m}$  and specific surface area of  $S_m = 2664.65 \text{ cm}^2/\text{g}$ , its density is  $1960 \text{ kg/m}^3$ . Based on our earlier experience, we decided to use an activated fly ash (20 min ball milled) for experiments. The ground material has  $7931.16 \text{ cm}^2/\text{g}$  of fineness. Since the raw material had 21.63% initial moisture content, the fly ash was dried in a drying cabinet before grinding.

The chemical composition of fly ash shows 85.20% combined  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content and 2.30% CaO content.

### Lime kiln dust

Carmeuse Hungary Co. Ltd. provided two different LKD samples for experiments, one from Hungary and another from Czech Republic. Before the laboratory tests X-Ray Diffraction measurements were carried out using a Bruker D8 Advance apparatus in the laboratory of Department of Mineralogy and Petrology (University of Miskolc). Results can be found in *Table 1*. The main phases are calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), portlandite ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), lime (CaO) and tobermorite ( $\text{Ca}_5(\text{Si}_6\text{O}_{16})(\text{OH})_2$ ) was detected in minor quantity. The moisture content of the Hungarian and the Czech sample was 0.77 % and 0.60 % respectively.

	Hungarian sample	Czech sample
<b>CaCO<sub>3</sub>, calcite, %</b>	78.40	27.80
<b>Ca(OH)<sub>2</sub>, portlandite, %</b>	21.60	3.20
<b>CaO, lime, %</b>	0.00	64.50
<b>Ca<sub>5</sub>(Si<sub>6</sub>O<sub>16</sub>)(OH)<sub>2</sub>, tobermorite 9A, %</b>	0.00	4.50

Table 1. Mineral composition of LKD samples  
1. táblázat Mészégetési por minták (LKD) ásványos összetétele

The high calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) content of the Hungarian sample (78.40%) is probably the result of the incomplete burning of the limestone, the presence of portlandite (21.60%) can be explained by the hydration of the CaO due to the humidity of air. In the case of the Czech sample the lime (CaO) content is relatively high (64.50%) and small amount of  $\text{Ca(OH)}_2$

(product of hydration) can be detected as well. The tobermorite mineral of the Czech sample was supposedly present in the raw limestone due to the natural hydrothermal conversion or a Si coating phase reacted with  $\text{CaCO}_3$  during the calcination.

There is significant difference between the mineral composition of the LKD samples, which result from the operating and machine parameters of the technology using for lime calcination and the handling of the lime burning secondary raw material.

The particle size distribution of the samples was measured by a laser diffraction particle size analyzer (Fritsch Analysette 22). The Hungarian sample is of  $x_{50} = 29.79 \mu\text{m}$  median and  $x_{80} = 81.97 \mu\text{m}$  80% passing size, the Czech sample have  $x_{50} = 17.82 \mu\text{m}$  and  $x_{80} = 40.01 \mu\text{m}$ .

The applied lime sample was a conventional lime produced by Carmeuse Group in the Miskolc Hejőcsaba plant. It can be characterized with following parameters: maximum particle size  $x_{\text{max}} = 2 \text{ mm}$ , density  $\rho_{\text{bulk}} = 0.8 \text{ g/cm}^3$ , CaO content 90 m/m%, reactivity: 60 °C reached during 120 s.

## Experimental

In order to realize the previously presented aims the following systematic experimental series were carried out regarding the applicability determination of mechanically activated fly ash, CaO and Hungarian lime kiln dust as component of hydraulic binder. Firstly, binder mixtures of ground fly ash and lime were produced in different ratios (see *Table 2.*), than mixing it with water and sandy gravel aggregate ( $x < 20 \text{ mm}$ ) was conducted, finally cylindrical concrete specimens were formed. After removing them from the mould the specimens were kept under appropriate circumstances and mechanical strength was determined by an uniaxial compression testing machine at the age of 14, 28 and 56 days.

Number of experiment	Ratio [%]	Ratio [%]
I.	85	15
II.	80	20
III.	Fly ash	85
IV.		80
V.		70
		CaO
		LKD (Hungarian)
		CaO+LKD (Hungarian)
		15+15

Table 2. The composition of the hydraulic binder  
2. táblázat A hidraulikus kötőanyag keverékek összetétele

Nine pieces of cylindrical specimens were produced per composition since the strength of the bodies was determined at three ages. The amount of the binder to the concrete was  $170 \text{ kg/m}^3$  during the experiments.

The preparation of the specimens and the implementation of the compressive tests were completed in accordance with MSZ EN 13286-41 and MSZ EN 13286-42 in the laboratory of the Institution of Mining and Geotechnical Engineering (University of Miskolc). The dimensions of the cylinders (*Fig. 3.*) were  $\text{Ø}102 \times 115 \text{ mm}$ . Accordant to the Technical Specification ÚT



2-3:207 regulations the compacting of the concrete specimens were conducted using a proctor device.

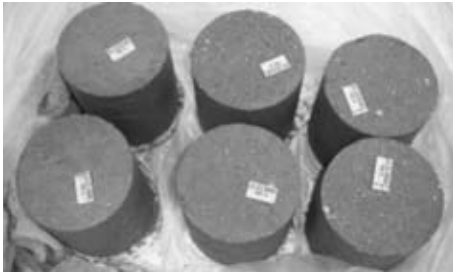


Fig. 3. Cylindrical concrete specimens  
3. ábra Hengeres beton próbatestek

## Results

Fig 4. shows the change of compressive strength as function of age in case of the presented binder mixtures. It can be established from the test results that the fly ash-LKD type binders have the lowest strength (III. and IV. experimental series). In these cases 0.21 and 0.58 N/mm<sup>2</sup> maximum values were measured respectively at the age of 56 days.

On the contrary the compressive strength shows significantly higher values using the conventional lime produced by Carmeuse Group. The strength resulted at 56 days reached 4.67 N/mm<sup>2</sup> in the measurement serie No. II. (80% fly ash – 20% CaO), which is a relatively high value. However, only slight difference from that was found using the binder No. V. (70% fly ash – 15% CaO – 15% LKD), it was 4.31 N/mm<sup>2</sup>.

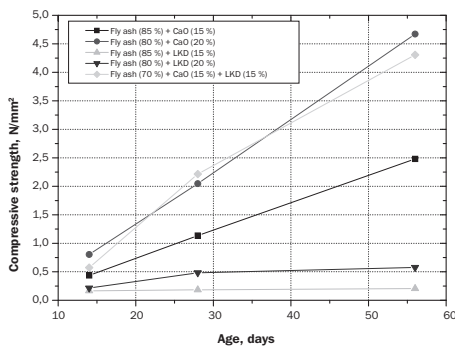


Fig. 4. Compressive strength of specimen as function of age  
4. ábra Próbatestek nyomószilárdsága a vizsgálati kor függvényében

Furthermore, comparing the hardening process of the concrete specimens containing different binders shown in Table 2., it can be seen a greatly slower solidification in case of LKD coating bodies than that of CaO and CaO-LKD containing specimens. Probably, it can be explained by the result of the low content of free lime in case of lime burning by product, i.e. pozzolanic reaction generates weak calcium-silicate-hydrate product.

Regarding the coefficient of standard deviation of compressive strength considerable fluctuation can be seen (Fig. 5.), the curves are of diverse shape. Coefficient of standard deviation containing LKD shows lower value.

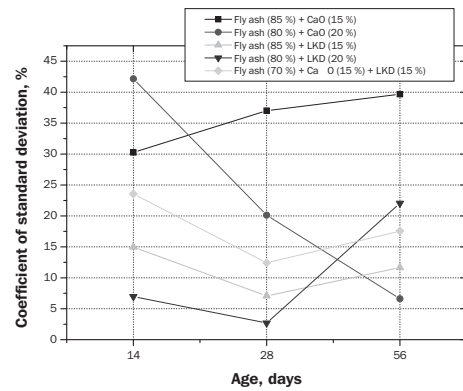


Fig. 5. Coefficient of standard deviation of compressive strength as function of age  
5. ábra Nyomószilárdság szórási együtthatójának változása a vizsgálati kor függvényében

## Conclusions and suggestions

Based on the results of the laboratory experiments the following statements can be created:

- Regarding the XRD results of the lime kiln dust (LKD) large diversity was found in the composition of the samples. Characteristic minerals were calcite, portlandite and lime.
- From the compressive strength results it was established that the binder containing 80% fly ash and 20% CaO had the highest compressive strength at age of 14 days (0.80 N/mm<sup>2</sup>), the lowest strength belongs to the mixture of 85% fly ash and 15% LKD (0.17 N/mm<sup>2</sup>).
- The hardening of the concrete specimens, as usual like the fly ash containing binders, shown significant after-hardening. The strongest concrete specimens were produced from binder No. V (70% fly ash, 15% CaO and 15% LKD) at 28 days (2.20 N/mm<sup>2</sup>). At the age of 56 days the highest compressive strength was 4.67 N/mm<sup>2</sup> of mixture No. II (80% fly ash and 20% CaO).
- Due to the significant after-hardening of the concrete containing the presented binder it is suggested to extend the aging time to 84 and 168 days as well.
- The stability of LKD-containing specimens (without lime) increased only slightly as function of age and after a certain value the strength almost stagnated. On the other hand in the case of binders with lime and lime + LKD remarkable strength development could be seen.
- In this way the lime kiln dust by-product may be a possible secondary raw material. Of course, the above results are the outcome of the preliminary investigation of lime kiln dust (LKD) utilization as binder additive, it is proposed to continue the research with further experiments (leaching tests, other LKD samples,...).
- In the light of the results the suggested utilization opportunities are as follows: production of lean mixed concrete, stabilization of sandy soils, building capping layer and stabilized embankment.
- Since the quality of the possible secondary raw material is very diverse, their regular physical and chemical controlling is essential in order to produce a quality

guaranteed final product. From this point of view the most important material characteristics are as follows: pozzolanic activity, content of amorphous SiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> content, loss on ignition, free lime, particle size distribution, density, and morphology. Most of the above properties can be upgraded using the appropriate process engineering technologies.

References

[1] Csöke B. – Mucsi G. – Opczky L. – Gábel V.: *Modifying the hydraulic activity of power station fly ash by grinding*. Cement International No. 6/2007. Vol. 5. ISSN 1610-6199 pp. 86-93.

[2] Csöke B. – Mucsi G. – Sík Cs.: *Production and practical application of mechanically activated fly ash-based binding material*. VI<sup>th</sup> International Conference on Mechanochemistry and Mechanical Alloying 1-4 December 2008, Jamshedpur, India

[3] Csöke B. – Mucsi G. – Sík Cs. – Gáspár L.: *Fly ash based road construction binder*. II International Conference on Environmentally Friendly Roads, Warsaw, 15-16 October 2009. CD-ROM Proceedings. 10 p.

[4] Csöke B. – Mucsi G. – Karoliny M. – Sík Cs. – Gáspár L. – Erős Gy.: *Ground fly ash and lime hydrate based quality guaranteed binder*. (In Hungarian: Minőség-garantált őrlt pernye és mészhidrát-bázisú kötőanyag.) Invention: P0700644.

[5] Csöke B. – Mucsi G. – Karoliny M. – Sík Cs. – Gáspár L. – Erős Gy. – Juhász I.: *Process and machine for production of ground fly ash and lime hydrate based quality guaranteed binder* (In Hungarian: Eljárás és berendezés minőség-garantált őrlt pernye és mészhidrát-bázisú kötőanyag előállítására). Invention: P0700645.

[6] *Development of a technological system producing quality guaranteed fly-ash based binder*. (2007) GVOP-3.1.1-2004-05-0113/3.0 project, final report

[7] Gáspár L.: *Secondary raw materials in the road building* (In Hungarian: Másodlagos nyersanyagok az útépitésben). 2005 Budapest, IHU Kht.

[8] HU ISSN: 0522-3512

[9] Kusnierová M. – Slesárová A. – Prascáková M.: *The significance of fly ash for their processing and utilization*. In: Proc. Waste Recycling – IX. Krakow, 17-19. November 2005.

[10] Mucsi G. – Csöke B. – Gál A. – Szabó M.: *Mechanical activation of lignite fly ash and brown coal fly ash and their use as constituents in binders*. Cement International No. 4/2009 Vol7., ISSN 1610-6199 pp. 76-85.

[11] Muluken B. Yeheyis – Julie Q. Shang – Ernest K. Yanful: *Chemical and Mineralogical Transformations of Coal Fly Ash after Landfilling*. 2009. World of Coal Ash Conference (WOCA), May 4-7, 2009. Lexington, Kentucky, USA

[12] Opczky L.: *Silicate-chemical properties of fly ash*. “For our clear environment scientific conference. (In Hungarian: A pernyék szilikátkémiai tulajdonságai. „Tiszta Környezetünkért” Szénerőműi pernyék hasznosításával tudományos konferencia.) Miskolci Egyetem, A. Bányászat 55. Kötet. Környezetvédelem , eljárás technika . HU ISSN 0237-6016.p. 97-108 (2001)

[13] Szilágyi K. – Gömze A. L. – Polacsek G.: *Investigation and determination of the admixture ratio of fly ash aiming at the optimization of mechanical properties of the cement produced*. (In Hungarian: A pernye bekeverési arányainak vizsgálata, meghatározása a gyártott cement mechanika tulajdonságainak optimalizálása céljából.) Építőanyag 2008/2. pp. 44-48.

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2011.6>

Gábor Mucsi – Ákos Debreczeni – Viktor Máday – Tímea Dudok – Barnabás Csöke: *Development of hydraulic binder using industrial wastes*. Építőanyag, 63. évf. 1-2. szám (2011), 28-32. p.

**Hidraulikus kötőanyag fejlesztése ipari hulladékokból**

Jelen cikk egy deponált savanyú erőműi pernye hasznosításával foglalkozik, mint hidraulikus kötőanyag fő komponense. Ezen túlmenően égetett mész (CaO) és mészégetési szállópor (LKD) adalékanyag alkalmazhatóságát vizsgáltuk a kísérletek során. Az alapanyagok tulajdonságainak – úgy mint szemcseméret eloszlás, nedvességtartalom, valódi- és halmazsűrűség és fajlagos felület – meghatározását követően bizonyos ideig tartó mechanikai aktiválást hajtottunk végre laboratóriumi golyósmalomban a pernye puccolános aktivitásának javítása érdekében. Ezután beton próbatesteket gyártottunk a különböző típusú és összetételű hidraulikus kötőanyagokból, és megmértük azok nyomószilárdságát 14, 28 és 56 napos korban. Optimális tulajdonságokat a II. (80% pernye és 20% CaO) és az V. számú (70% pernye, 15% CaO és 15% LKD) kötőanyag keverékeket alkalmazva értünk el, amikor is 4,67 és 4,31 N/mm<sup>2</sup> nyomószilárdság értéket kaptunk.

Kulcsszavak: erőműi pernye, mészégetési szállópor, őrlés, hidraulikus kötőanyag

**HÍREK A SZIGETELŐ SZAKOSZTÁLY ÉLETÉBŐL**

- Az SZTE Szigetelő Szakosztálya 2010. július 15-én kibővített vezetőségi ülést tartott. Az ülésen megtárgyalták az SZTE helyzetét és az ezzel kapcsolatos tennivalókat. Az Egyesület rossz anyagi helyzete miatt a Konferenciaközpontból el kellett költözni, így a vezetőségi ülés egyben a régi irodától való búcsút jelentette. A Szakosztály örökös tiszteletbeli elnöke, Dr. Rudnyánszky Pál megköszönte Tóth-Asztalos Réka és Dr. Antal Józsefné, Betty eddigi eredményes munkáját. A kibővített vezetőségi ülésen utoljára volt közöttünk a Szakosztály azóta sajnálatosan elhunyt korábbi elnöke, Pataky Elemér, a résztvevőkről készült csoportképen ő is látható.
- A Szakosztály elnöke, Regenhart Péter beszámolt az Európai Szigetelési Vállalkozók Szövetségének (European Federation of Association of Insulation Contractors) Olaszországban, Comoban tartott közgyűléséről és az ipari hőszigetelő szakmai képzés hazai helyzetéről. Azóta megjelent a Kormány 29/2011. (III. 11.) sz. rendelete az Országos Képzési Jegyzék módosításának eljárásrendjéről, amely az „Ipari szigetelő-bádogos” szakképzést az OKJ-be felvette.

- Az Európai Szigetelési Vállalkozók Szövetsége (European Federation of Association of Insulation Contractors) 2011. május 5-6-án Bécsben tartotta tavaszi megbeszélését, amelyen többek között, az ipari szigetelési munkákat szabályozó dokumentumok módosítását, a 2012. évi, Berlinben megrendezésre kerülő Európai Szakmunkástanulói Verseny szabályzatát és részvételi feltételeit vitatták meg. Ezen a megbeszélésen Regenhart Péter vett részt és részletes beszámolót tart róla a Szakosztály június első felében tartandó taggyűlésén.



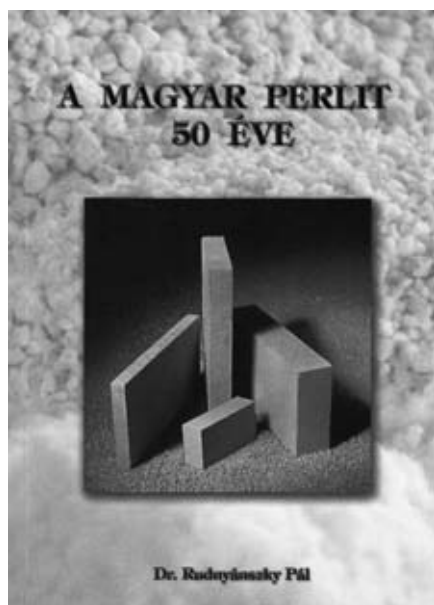
## A MAGYAR PERLIT ÖTVEN ÉVE



A Szilikátipari Tudományos Egyesület Szigetelő Szakosztálya  
az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület  
meghívott szakembereinek közreműködésével kibővített, ünnepélyes vezetőségi ülést tartott  
2011. március 17-én a MTESZ Budai Konferenciaközpontjában.

A rendezvényen bemutatták és méltatták

**Dr. Rudnyánszky Pál: A magyar perlit 50 éve című könyvét**



2010. decemberében jelent meg a magyar perlit ipar elmúlt fél évszázadának történetét bemutató összefoglaló munka, dr. Rudnyánszky Pál könyve „A magyar perlit ötven éve” címmel. A B5 formátumú, ízléses kiállítású könyv 141 oldalon, – amelyből 77 oldal tényleges szöveges ismertetés, a többi kicsinyített, színes poszterek sora – mutatja be ennek a természetes és értékes nyersanyagnak a földtani kutatástól kezdődő és a sokoldalú felhasználási formáig terjedő életútját a kezdetektől egészen napjainkig. A kötethez CD melléklet is tartozik, megkönnyítve az elektronikus adat- és dokumentumkezelést kedvelők dolgát. A könyvet szép gondolatok vezetnek be ajánlásként mindazoknak, akik már eddig is sokat tettek ennek a magyarországi nyersanyagnak a mindannyiunk hasznára történő alkalmazásáért és azoknak, akik majd az újabb generációk tagjaiként még inkább kiteljesíthetik sokoldalú és a mainál hatékonyabb felhasználását. A könyv előszavában Somogyi László, volt miniszter meleg, baráti hangvételű elemzésben idézi fel a magyar bányászat, valamint az építőipar egyes állomásait az elmúlt évtizedekben, abba beleépítve a szerző szakmai tevékenységét és példaadó emberi tulajdonságait.

A szerző a perlitnek, mint természetes vulkáni kőzetnek a földtani, fizikai tulajdon-

ságait részletesen ismerteti, majd rátér a kelet-magyarországi Pálfháza mellett felépített perlit üzem történetének ismertetésére. Részletesen taglalja az ipari hasznosítás kezdeti eredményeit és annak elterjedését mind magyar, mind nemzetközi viszonylatban. Külön érdekessége a kötetnek a Magyarországon rendezett nemzetközi perlit konferenciák ismertetése, amelyek szervezésében Rudnyánszky Pálnak alapvető érdemei voltak.

A következőkben áttekintést kapunk a perlit különböző felhasználási, hasznosítási területeiről, amelynek során a szerző szinte teljes, kimerítő körképet rajzol az eddigi és a mai lehetőségekről. Itt is megmutatkozik az a sok évtizedes szakmai tapasztalat és ismeretanyag, amit a szerző a perlit ipar területén hazai és nemzetközi téren szerzett.

A kötet talán legterjedelmesebb részét alkotja azon hazai üzemek felsorolása és elsősorban azok tevékenységének és perlit tartalmú termékeiknek az ismertetése, amelyek jelenleg reprezentánsai, termelői, alkalmazói, kutatói vagy éppen forgalmazói ennek a természetes és sokoldalúan, környezetbarát módon hasznosítható anyagnak.

A könyv kitér az 1949-ben alapított nemzetközi Perlit Intézettel való kapcsolatokra is, amelynek 1972-től magyar vállalatok is, továbbá 1999-től a szerző személyesen tiszteletbeli tagja.

Külön érdeme a kötetnek a kronologikus adatközlések sora, valamint az önzetlen és a mai üzleti és részben tudományos élettől is szokatlan morális hozzáállás, amely révén szinte hiánytalanul felsorolja a szerző mindazon szakembereknek és intézményeknek a nevét, akik és amelyek valaha bármit is tettek a magyar perlit hasznosítása érdekében.

Dr. Rudnyánszky Pál nem titkolt célja a kötet megjelenítésével,

hogy nemcsak az elődöknek szeretne maradandó emléket állítani, de egyúttal fel kívánja hívni a figyelmet arra is, hogy jelenleg Magyarországon a perlit (duzzasztott perlit) felhasználása messze elmarad mind a korábbi évtizedekben megszokott mennyiségektől és lehetőségektől, mind azoktól a nemzetközi viszonylatban bizonyított és a mai napig is tartó felhasználási és eladási trendektől, amit a sok évtizedre elegendő magyar nyersanyagvagyon predestinálna.

Újra és újra fel kell tenni a klasszikus kérdést „Quo vadis” – hogyan tovább? A hazai ipar jelenlegi érdektelensége sem a nyersanyag hibájának, sem a készletek hiányának, sem a kereskedelemnek nem róható fel. Itt rendszerszemléletű, hatékony ismeret és szemléletváltásra van szükség az oktatótól a tervezőasztalokig, a hatóságok környezettudatos előírásainak kidolgozásáig egyaránt.

A könyv bemutatójára 2011. március 17-én került sor a MTESZ székházában, a Szilikátipari Tudományos Egyesület Szigetelő Szakosztályának szervezésében, mintegy ötven meghívott, résztvevő előtt, baráti hangulatban, nagy sikerrel.

*dr. Baksa Csaba*

*A magyar perlit 50 éve c. könyvvél kapcsolatban további információ kérhető a Szilikátipari Tudományos Egyesület titkárságán (tel./fax: 06-1/201-9360, e-mail: info@szte.org.hu), valamint dr. Rudnyánszky Páltól (tel./fax: 06-1/329-8189).*



# Gábor Dénes-díjat kapott Egyesületünk elnöke

TÓTH-ASZTALOS RÉKA

2010. december 16-án, az Országház Főrendházi termében 22. alkalommal adták át a Gábor Dénes-díjakat. Az 1989-ben alapított NOVOFER Alapítvány által létrehozott Gábor Dénes-díj célja a névadó életpályájával szimbolizált innovatív tevékenység elismerése. A kitüntetettek között volt Dr. Szépvölgyi János, a Szilikátipari Tudományos Egyesület elnöke is.

A Gábor Dénes-díjra nyilvános felhívás alapján a gazdasági tevékenységet folytató társaságok, a kutatással, fejlesztéssel, oktatással foglalkozó intézmények, a kamarák, a műszaki és természettudományi egyesületek, a szakmai vagy érdekvédelmi szervezetek, illetve szövetségek vezetői továbbá a Gábor Dénes-díjjal korábban kitüntetett szakemberek terjeszthetik fel azokat az általuk szakmailag elismert, kreatív, innovatív, magyar állampolgársággal rendelkező szakembereket, akik **jelentős tudományos és/vagy műszaki-szellemi alkotást hoztak létre; tudományos, kutatási-fejlesztési, innovatív tevékenységükkel hozzájárultak a környezeti értékek megerősítéséhez; személyes közreműködésükkel nagyon jelentős mértékben és közvetlenül járultak hozzá intézményük innovációs tevékenységéhez.**

A 2010. december 6-i díjátadót dr. Kövér László, az Országgyűlés elnöke nyitotta meg. Ezt követően dr. Pálinkás József, a Magyar Tudományos Akadémia elnöke tartott előadást a magyar innovációs politikáról, majd Jamrik Péter a díj egyik alapítója méltatta a díjazottak eredményeit. A NOVOFER Alapítvány kuratóriumának döntése alapján 2010-ben Gábor Dénes-díjban részesült Dr. Bedő Zoltán agrármérnök, Dr. Czitrovics Aladár fizikus, Dr. Gerse Károly gépészmérnök, Dr. Kéri György vegyész, biokémikus, Dr. Prószték Gábor programozó matematikus, általános nyelvész, Dr. Sperlág Beáta általános orvos, klinikai farmakológus szakorvos, valamint Dr. Szépvölgyi János vegyész-mérnök.

Dr. Szépvölgyi János, az MTA Kémiai Kutatóközpont Anyag-és Környezetkémiai Intézetének igazgatója a műszaki kémia, ezen belül egyes korszerű anyagok szintézise, a plazmakémiai és környezeti kémiai, valamint anyagtudományi kutatások és a korszerű műszaki kerámiák terén végzett nemzetközi szinten is kiemelkedő tudományos teljesítményéért, 38 szabadalmazott találmány kidolgozásában nyújtott fejlesztői munkájáért, a műszaki értelmiségi utánpótlás nevelésében játszott szerepéért, a doktori képzést segítő iskolateremtő tevékenységéért, illetve a természettudomány népszerűsítésében vállalt kiemelkedő szerepéért kapta meg a díjat.

*Milyen kutatásokkal foglalkozik mostanában?*

Az utóbbi években alapvetően két nagyobb témacsoportot művelünk munkatársaimmal. Az egyik egyes szerkezeti és funkcionális anyagok, köztük korszerű műszaki kerámiák kutatása, ezen belül is az anyagok összetétele, szerkezete, tulajdonságai és előállítási módszerei közötti kapcsolatok felderítése és értelmezése. Anyagainkat főként magas hőmérsékleten, úgynevezett termikus plazmákban állítjuk elő, kihasználva az adott rendszerben kialakuló különleges körülményeket. E módszerrel speciális összetételű és tulajdonságú, a korábbiaknál szélesebb körben, esetenként teljesen új területeken alkalmazható anyagi rendszereket is tanulmányozni tudunk.

A másik témám környezetvédelmi vonatkozású: ipari hulladékok és melléktermékek hasznosítási lehetőségeit kutatjuk,

az alapfolyamatok szintjétől a technológiai megvalósítás lehetőségéig. Problémaközelítésünk lényege: a modern gazdaságban képződő hulladékok jelentős része anyag- és/vagy energiabanknak, ily módon másodlagos nyersanyagnak vagy energiaforrásnak tekinthető. Ahhoz azonban, hogy műszaki, a környezetvédelmi és gazdasági szempontból egyaránt elfogadható megoldásokra jussunk nem elegendő, hogy a veszélyes hulladékokat környezetet nem terhelő anyagokra bontjuk le. Olyan technológiákra van szükség, amelyek révén a hulladékokból értékes termékeket állíthatunk elő. Mi ilyen megoldásokat próbálunk kidolgozni.

Az Építőanyag olvasóinak talán érdekes lehet, hogy mindkét fenti témakörnek vannak szilikátkémiai és szilikátipari vonatkozásai is.

*Pálinkás József, a Magyar Tudományos Akadémia elnöke a díjátadón tartott előadásában így fogalmazott: „Ma egy ország tudományos életét tudósai, a tudományos intézményei, és a ráfordítások határozzák meg. Egyik tekintetben sem állunk jól. Egyre kevesebb tehetséges fiatal választja a tudományos pályát és ezen kevesek közül a legjobbak másutt igyekeznek boldogulni. Intézményeink a felszereltség, a finanszírozás és a céltudatosság tekintetében nagyon rossz állapotban vannak. A ráfordítások több mint egy évtizede nagyon alacsonyak, és rossz szerkezetűek (...) Nem lemarad, hanem elpusztul a tudást alulbecsülő nemzet.” Mi a véleménye ezekről a gondolatokról?*

Kutatóként és kutatásirányítással hosszabb ideje foglalkozó vezetőként is egyetértek e gondolatokkal. Nemzetközi megmérettetésben kell kutatásainkat végezni, akár a szükséges anyagokat, akár a kutatás infrastrukturális feltételeit, akár az elért eredmények színvonalát és közlésének lehetőségeit, akár a pályázatokban való részvétel feltételeit tekintjük. Az erős alulfinanszírozás miatt egyre nehezebb ezeknek a kívánalmaknak megfelelni. Régen túl vagyunk azon a ponton, amikor tudással és találmánysággal ki tudtuk egyenlíteni ezeket a hátrányokat. Bármennyire is nehéz ezt elfogadni, megértem azokat a fiatal kollégákat, akik a hazainál sokkal jobb körülmények között, nyugodtabb légkörben, nagyobb anyagi megbecsülés mellett szeretnék képességeiket és tudásukat kamatoztatni.

Az alapvető gondot a kutatóhelyek alacsony költségvetési támogatása jelenti, amely hosszú idő óta nemhogy növekedne, hanem reálértékben folyamatosan csökken. Az egyetemek és a kutatóintézetek arra kényszerülnek, hogy hazai és külföldi



pályázati bevételekből, valamint cégekkel, vállalkozásokkal kötött kutatási-fejlesztési szerződésekből fedezzék alaptevékenységüket, azaz az intézményeket e források bevonásával működtessék. Ennek nemcsak az a hátránya, hogy még rövid távon sem biztosít kiszámítható és tervezhető viszonyokat, hanem az is, hogy az eredetileg egy-egy adott tudományos vagy gyakorlati probléma megoldására szánt összegeket csak részben használják fel eredeti céljuknak megfelelően. Kevés a forrás, és azzal is rosszul gazdálkodunk.

Az utóbbi másfél évben ez az állapot tovább romlott. Egyrészt a gazdasági válság miatt a cégek többsége túlélésre, és nem fejlesztésre törekszik. Másrészt több mint egy éve, a hazai kutatási-fejlesztési pályázati rendszer gyakorlatilag nem működik. Engem a mostani helyzet a 90-es évek elejére emlékeztet, amikor sorra szűntek meg a korábban erős ipari kutatóintézetek. Senki nem mondta ki az illetékesek közül nyíltan, hogy erre vagy arra az intézetre továbbiakban nincs szükség. Egyszerűen a külső feltételek alakultak úgy, vagy úgy alakították azokat, hogy lehetetlenné vált a további működés. Az egyetemi kutatásban és az akadémiai kutatóhálózatban is erre az időszakra kezd hasonlítani a helyzet.

Sürgősen lépni kell a politikai és gazdasági döntéshozóknak ez ügyben, mert az erózió már megkezdődött, és ennek bizonyos fokig öngerjesztő jellege van. Viszonylag könnyen és gyorsan lehet lerombolni korábban, esetenként még most is jól működő struktúrákat, de nagyon hosszú időbe, óriási erőfeszítésbe és nagyon sokba kerül azok újbóli felépítése. Ezt nem szabad elfelejteni, még akkor sem, ha sokan hajlamosak erre.

*Pálinkás József a díjátadón elmondta: „Amikor a devecei, kolontári vörösiszap katasztrófa idején arra kértek, hogy mondjak néhány szakértőt, akik gyorsan mozgósíthatók és a helyszínre tudnak menni, másfél órán belül a Magyar Tudományos Akadémia épületében volt többek között dr. Szépvölgyi János, és részt vett ebben a munkában, mert ott volt a tudása, amit sok év kutatói tapasztalattal felhalmozott. Nem kellett keresgélnie könyvekben és folyóiratokban, hogy mi is az a vörösiszap, mert évek, évtizedek óta foglalkozik ennek hasznosításával.” Pontosan milyen feladattal bízták meg a vörösiszap katasztrófával kapcsolatban?*

A katasztrófa másnapján (október 5-én) reggel a BM Katasztrófavédelmi Főigazgatóságának vezetője megkereste az MTA elnökét azzal a kéréssel, hogy az akadémia állítson össze egy olyan szakértői csapatot, amely szakmailag, megfelelő információszolgáltatással segíteni tudja a katasztrófa következményeinek kezelését, a további károk elhárítását és a kármentesítést. Pálinkás József október 5-én 10 órára összegyűjtött egy vegyész-mérnökökből, talajtani szakemberekből és ökológusokból álló, 9 fős szakértői gárdát, és ennek vezetésével engem bízott meg. Azonnal leutaztunk a katasztrófa helyszínére, és korábbi ismereteink, valamint helyszíni tapasztalataink alapján délután 3 órára megfogalmaztunk egy ajánlás-sort a helyzet kezelésére. Ezt az összeállítást azonnal eljuttattuk a Kormányzati Koordinációs Bizottság Tudományos Tanácsához, melynek vezetője Németh Tamás, az MTA főtitkára. A KKB TT ajánlásainkat még aznap a Kormány elé terjesztette, és azt a Kormány változtatás nélkül elfogadta a kárelhárítás vezérlő elveként. Ettől kezdve a szakértői bizottság a KKB TT-n keresztül folyamatosan támogatta a katasztrófavédelem munkáját. A bizottság munkájához néhány napon belül csatlakoztak más szakértői

csoportok is, a Pannon Egyetemről, a BME-ről, a Károly Róbert Főiskoláról, a Nyugat-Magyarországi Egyetemről és a SOTE-ről. A szakértői bizottság 2010. november végéig működött aktívan, addig az időpontig, amíg egy hazai környezetvédelmi cég állami megbízást nem kapott a mezőgazdasági területekre kiömlött vörösiszap összegyűjtésére. Utólag visszatekintve nagyon nehéz, nagy kihívást jelentő, de szakmailag és emberileg is sok hasznos tapasztalatot adó időszak volt ez az életemben.

Azóta is adódnak persze a vörösiszap ömléshez csatlakozó feladatok, elsősorban a katasztrófa okainak felderítésével, másodsorban pedig a vörösiszap további feldolgozásával és hasznosításával kapcsolatban.

*„Meglépett – folytatta Pálinkás József – mikor néhány nap múlva elhozta azt a kutatási jelentést, amely szerint már 2001-ben kidolgoztak egy eljárást arra vonatkozóan, hogy a félelmetesnek ható vörösiszapot (...) hogyan lehet hasznosítani a vas és a szilícium kinyerésével.” Milyen fontosabb következtetéseket lehetett levonni a katasztrófa után végzett vizsgálatokból?*

Az első és legfontosabb következtetés az volt, hogy az ajkai X. tárolóból kiömlött anyag mintegy 92–98%-ban erősen lúgos (pH = 12–13) nátrium-hidroxid oldatból és 7–8% szilárd bauxitmaradékból állt. Ez az oka annak, hogy olyan gyorsan és olyan nagy energiával öntött el mintegy 1000 hektárnyi területet. Továbbá, a vörösiszap ömlés elsődleges emberi és környezeti hatásait is a kiömlő anyag erős lúgossága, és ebből eredő maró jellege váltotta ki. Megállapítottuk, hogy az adott körülmények között a bauxitmaradékban levő toxikus és környezeti szempontból kockázatot jelentő fémek csak nagyon kis mértékben mobilizálódtak, és a nem jutottak ki a környezetbe. Szerencse volt a szerencsétlenségben: a tavalyi nagy esőzések miatt az elöntött talajok erősen telítve voltak vízzel, aminek következtében sem a kiömlött lúgoldal, sem a szilárd bauxitmaradék nem szivárgott be a talajba 10–15 cm-nél mélyebben. Az is nyilvánvalóvá vált, hogy a gátszakadást több tényező szerencsétlen összejárása okozta. E a tényezők között a tároló tervezésének, működtetésének és ellenőrzésének hiányosságai, az időjárás alakulása és természeti folyamatok (földmozgások) egyaránt szerepelnek.

Az ajkai katasztrófa ráirányította a figyelmet a vörösiszap eddigi tárolásának problémáira, az ebben rejlő környezeti kockázatokra. A katasztrófa is hozzájárult ahhoz, hogy 2011. február 28-tól az Ajkai Timföldgyár a korábbi nedves tárolásról áttért a sokkal kisebb környezeti veszéllyel járó száraz tárolásra.

Egy további következmény: újra előtérbe került a vörösiszap feldolgozásának, a benne levő értékes fémek kinyerésének kérdése. E területen intézetünkben hosszabb idő óta folytak kutatások, amelyek a hasznosítás számos részletét tisztázták. A korábban szerzett ismeretek most ismét felértékelődtek, és remény van arra, hogy előre lehet lépni a vörösiszap hasznosításában is.

Gratulálunk a kitüntetéshez és további sikeres munkát kívánunk!

**Dr. Szépvölgyi János a Szilikátipari Tudományos Egyesület 2011. május 26-i Küldöttgyűlésén előadást tart a témában „Az ajkai vörösiszap katasztrófa és annak tanulságai” címmel.**

# Üvegipari Szakmai Konferencia

Második alkalommal a MESSER Hungarogáz Kft. budapesti központjában

FERENCI PÉTER

2011. április 19-én az SZTE Üveg Szakosztálya megtartotta szokásos tavaszi konferenciáját, folytatva a hagyományokat, ismételten ipari tevékenységhez kapcsolódó környezetben – a MESSER Hungarogáz Kft. budapesti telephelyén – mintegy 45 fő részvételével.

Köszönet a házigazdáknak a helyszín és a minden igényt kielégítő ellátás biztosításáért, valamint a szervezőkkel karöltve, a sikeres konferencia lebonyolításáért!

A konferenciát *Tóthné Kiss Klára*, az SZTE Üveg Szakosztály elnöke nyitotta meg, üdvözölve a résztvevőket. Bevezetőjében néhány gondolatban ismertette az SZTE és az Üveg Szakosztály jelenlegi helyzetét.

Tájékoztatta a tagokat, hogy ismét új jogi tagokkal bővült a Szilikátipari Tudományos Egyesület. Ettől az évtől az SZTE szakosztályi munkáit a RATH Hungária Kft. is támogatja. A Kft., nem kizárólagosan az üvegiparhoz kapcsolódó tevékenysége okán meghatározó tagja a támogatói csoportoknak: a szilikátipar egyéb területeinek is jelentős szereplője. Tűzállóanyag gyártási, kereskedelmi tevékenységükből adódóan – az üvegipar mellett a cement, finomkerámia, szigetelőanyag iparban is kiemelkedő a jelenlétük. A floatüveget és bevonatos üvegek széles skáláját gyártó Guardian Orosháza Kft., a hazai üvegipar egyik meghatározó szereplője, most már jogi tagként is újra támogatja az egyesületünk szakmai munkáját. Az üveghulladékok összegyűjtését és a hulladékok válogatását, tisztítását végző Humán-Szervíz Kft-t is tagjaink között üdvözülhetjük.

Ezt követően elnök asszonyunk rövid áttekintést adott a konferencia programjáról:

- beszámoló az ICG TC 13 környezetvédelmi munkabizottság aktuális tevékenységéről;
- bevonási technikák az üvegiparban;
- a RATH Csoport üvegipari tevékenységének ismertetése: a cégcsoporthoz tartozó gyárak és tevékenységük bemutatása, valamint részletes tájékoztatás a RATH Hungária Kft. üvegipari tevékenységéről;
- váratlan események és megoldásaik az üvegolvasztásnál.

Az első prezentáció előadója, *Varga Zsuzsa*, a GE fényforrás üzletága üvegtechnológia laboratóriumvezetője, aki az SZTE képviseletében 2009 ősze óta részt vesz a Nemzetközi Üvegszövetség/ICG TC13-as környezetvédelmi bizottság munkájában. Először a bizottság főbb tevékenységi területeinek, működésének, a magyar üvegiparra vonatkozó megállapítások, összefüggések ismertetésére került sor az előadásában. Szó esett a munkabizottság közép és hosszú távú tevékenységéről, részleteiben taglalva a REACH általános és üvegipart érintő kérdéseit, valamint a TC13 tagjainak közreműködését a rendelet értelmezése és alkalmazása kapcsán. Megismerkedhettünk a REACH szabályozásához kapcsolódó új mérési elvekkel, szabványosítási törekvésekkel, korszerű leválasztás technikákkal, valamint az Európai Unión belül a különböző tagországokban a BREF módosítása következtében várható emissziós határértékek szigorításával (tájékoztató jelleggel).

A következő előadást a Guardian Orosháza Kft. szakembere, *Berencsi István* bevonási vezető tartotta, *Bevonási*

*technikák az üvegiparban* címmel. Az előadásból megismerkedhettünk az üvegbevonás alapjaival, a „hordozó”, mint üvegfelület és a bevonat kapcsolódási, kötési lehetőségeivel. Ismertetésre kerültek a valós réteg fajtái, a festett, a vékony bevonat, valamint a laminált üveg, kialakításuk, technológiai sajátosságait kiemelve. Megtudhattuk, hogyan csoportosítjuk az üveg bevonási technikákat, s ezen belül részletesebben megismerhettük a síküveg gyártásban, tömeggyártási körülmények között alkalmazható „porlasztásos” technológiát. A bevonásos típusok általános áttekintése után megismerkedtünk a bevonatok jellege alapján csoportosított, s napjaink energia-csökkentési törekvésire megoldást kínáló különböző síküveg („Low-e”, „Napvédő bevonatos” és napelem hordozó „PV”) termékekkel. Az előadás zárásaként, bepillantást nyerhettünk a jövő bevonatos üvegtermékeibe, úgymint: a síküveg, mint fényforrás, részben vagy egészben hőáteresztő, hő visszaverő, építészeti, belsőter kialakítási, autóipari és elektronikai üvegalkalmazási lehetőségekbe.

A konferencia első része a RATH Hungaria Kft. bemutató előadásával zárult. A prezentáció keretében megismerhettük a Kft. alapításának történetét, a vállalat fejlődési állomásait 1891-től napjainkig, a cégcsoport felépítését, az önálló egységek főbb termékcsoportjait, az elérhető szolgáltatásokat. A résztvevők már az előadás előtt is, de a konferencia időtartama alatt, megtekinthették a RATH cég legmodernebb technológiáival gyártott üvegipar számára fejlesztett tűzállóanyag mintadarabokat. Az előadás első részének zárásaként, Magyarországtól Amerikáig megismerkedhettünk a különböző gyártóbázisokkal és az ott gyártott termék fajtákkal.

Rövid kávészünet után az előadás második fejezeteként, a RATH cég üvegipari tűzállóanyag gyártási tevékenysége került részletezésre. Megismerhettük a különböző üvegipari technológiákra fejlesztett tűzállóanyag termékeket, a csomogoló, sík, üvegyapot, asztali üvegáru és technikai üvegyártás számára készült főbb termékcsoportokat. Az üvegyártási technológiák után különböző műszaki megoldások, termékalkalmazási lehetőségek kerültek bemutatásra, az üvegolvasztó berendezések főbb egységeihez leginkább illeszthető termékfajták tulajdonságainak ismertetésével. Az ipari alkalmazáson túl, megtudhattuk, egyre nagyobb igény mutatkozik a háztartásokban cserépkályha, kandalló kialakítására alkalmazható tűzállóanyagok gyártása iránt. A cég versenyképességének megőrzése érdekében, előremutatón kell, reagáljon az új igények megjelenésére, az üveg és más tűzállóanyag alkalmazásra épülő iparágak termékeinek folyamatos fejlesztése mellett, a bővülő vásárlói kör, hagyományostól eltérő, speciális igényeit is magas színvonalon kielégítve.

A konferencia záró előadását *Lipták György*, az SZTE Üveg Szakosztályának titkára és *Márkus László*, a GE fényforrás területéig üvegtechnológia programvezetője programvezetője tartotta *Váratlan események és megoldásaik az üvegolvasztásnál* témában. Az esettanulmányok olyan üzemzavar-elhárítási helyzetek megoldásait tárták a hallgatóság elé, melyek nem kizárólag technológia vagy gyártás specifikus esetekben alkalmazhatók, hanem példaértékűek, egyszerűségük vagy akár nagyszerűségük okán bárhol az üvegipar területén költséghatékony megoldást jelenthetnek termelés kiesést eredményező meghibásodások alkalmával. Megismerkedhettünk a 90-es évek elejéről, egy egyiptomi fényforrás alkatrészt gyártó kemence beszakadt keramikus rekuperátor kamra tető meglejvítésének, működőképessége fenntarthatóságának műszaki megoldásával, mely biztosította a folyamatos üzemelés lehetőségét a kemence tervezett nagyjavításáig.

Folytatásként, a 90-es évek végéről, szintén egy fényforrás gyártó kemence üvegkifolyásból adódó termelésleállítás, rekordidő alatt végrehajtott, újbóli üzembe állítás részleteiről volt szó. Az adott üveggyártás kapacitás-bővítését célozandó, elektromos pótfűtés beépítése folyt üzem alatt. A kemence fűrés során támadt nehézségek, az elégtelen fűróhűtés és az üveg kifolyását megakadályozó segédberendezések rendelkezésre állásának hiányában az olvasztott üveg nagy része kifolyt. A fűrészt végző cég képviselője helyi vezetés mellett a kemence leállítás helyett, a hűtés tartás és a regeneratív rendszertől eltérő, de adott konfigurációban megvalósítható, kereszt, dupla „U” láng járású kézzel állítható kemence-üzemmenet mellett döntött. Ezen megoldás választásával, a kárelhárítás után, két héten belül a termelés újra indulhatott.

## Hírek a cementiparból

Nostra Cement Kft. 2010 novemberében befejezte a zöldmezős beruházásként épült cementgyárának építését Királyegyházán. A beruházás három és fél év alatt került megvalósításra. Az új cementgyár 2500 t/nap klinker termelési, valamint 2×130 t/h cementörlelési kapacitással rendelkezik. A szállítók által megadott garanciális értékek alapján a klinkertermelés fajlagos hőigénye 750 kcal/kg klinker, az 1 tonna cement előállításához szükséges villamos energia igény 100 kWh/t érték alatt várható. A berendezéseket a kínai fővállalkozó szállította le, neves európai gépgyártók (ATEC, Loesche, VentiOelde, Schenck) közreműködésével.

A DDC tulajdonosa, a HeidelbergCement Group hároméves programot indított a gazdasági és működési teljesítőképességének növelése érdekében. A program súlypontja a hatékonyságnövelés a legfontosabb üzletágakban: a kavicsbányászat és a cementgyártás területén. A program eredményeként a cash-flow 600 millió eurós javulása várható.

A HeidelbergCement komoly erőfeszítéseket tesz a cement termelés klímaváltozásra gyakorolt hatásának csökkentésére. Az elmúlt 20 évben csaknem 20% CO<sub>2</sub> emisszió csökkenést értek el. A legújabb kezdeményezésük a Benelux államokban indult és egy egyszerű és hihető módját kínálja CO<sub>2</sub> kibocsátás redukálásának a műszakilag elérhető emisszió csökkentésén túlmenően, máshol megvalósított emisszió csökkentő projektek finanszírozásával. A HeidelbergCement egyedülálló

Az előadás utolsó fejezeteként *Márkus László* egy, az általa vezetett hibaelhárítási projekt részleteivel ismertette meg a hallgatóságot. A bemutatott esettanulmány aboroszlikát-üveg olvasztás ismert velejárájával való küzdelemről szövelt: az „alkáli-borátkondenzáció” okozta „regenerátorkamra-dugulás” és rácsfogyásból adódó olvasztás-üzemviteli, tüzeléstechnikai problémákról és azok megoldásáról. Megismerhettük az üzemzavar-elhárítás idejére, a tüzelés és az üzemmenet fenntarthatóságára kiépített sűrített levegő befűtéssel történő tüzelést; a hiba mértékének feltérképezésének folyamatát, az alkalmazott modern kemence-diagnosztikai eszközök fontosságát, a kamratöltet-üzem alatti cseréjének műszaki megoldását a folyamatos termékgyártás biztosítása mellett. Hangsúlyozásra került a tudatos tűzállóanyag választás szerepe a kamra élettartamra gyakorolt hatását figyelembe véve. Egy újabb kiváló példát láthattunk szakmailag megvalósítható, költségkímélő hibamegoldásra. Az előadás végére az is kiderülhetett a hallgatóság számára, hogy hasonló problémák előfordulásának elkerülése céljából a legjobb elérhető technológiák alkalmazása, akár az oxigénes, akár az elektromos üvegolvasztás megvalósítása jelenthet csak megnyugtató, felhasználó barát megoldást.

A konferencia zárásaként *Lipták György*, az Üveg Szakosztály titkára foglalta össze a nap fontosabb mozzanatait. Megköszönte az előadók felkészülését, a hallgatóság aktív részvételét, majd külön köszönetet mondott a házigazda szerepét ismét elvállaló MESSER Hungarogáz Kft-nek a konferencia szponzorálásáért, és azért is, hogy méltó körülményeket teremtett a rendezvény sikeres lebonyolításához.

megoldásként CO<sub>2</sub> kreditet vásárol és ezzel lehetővé teszi a vásárlói számára, hogy kompenzálják az építési munkákhoz kapcsolódó kibocsátásokat. A projekt kizárólag a legszigorúbb környezetvédelmi követelményeket kielégítő megújuló energia projektek megvalósítására koncentrált.

A Schwenk Zement KG (a vállalat a DDC 50 százalékának tulajdonosa) 22 hónap alatt, rekordidő alatt építette meg zöld mezős beruházásként Namíbia első és Afrika legmodernebb cementgyárát. A gyár a beüzemelés időszakában tisztán szénnel fog működni, de a menedzsment célja, hogy kövessék az anyavállalt példáját, ahol a szén több mint 80%-át helyettesítették olyan alternatív tüzelőanyagokkal, mint a műanyag, vagy a feldolgozott települési hulladék.

A Holcim csoport, a rendkívüli piaci viszonyok ellenére, több cementet, kavicsot és készbetont értékesített. A cég által tervezett megfontolt kapacitás bővítéstől a környezeti és költség hatékonyság javulását várják. Az értékesítés 2,5%-kal nőtt és elérte a 22 milliárd CHF-t, emellett a hatékony költség-gazdálkodás 312 millió CHF megtakarítást eredményezett.

A nagy cementipari gépgyártó vállalatok (FLS, KHD, Polysius) a gazdasági válság okozta kihívásokra reagálva az új berendezések értékesítése mellett, egyre nagyobb figyelmet fordítanak a berendezésekhez kapcsolódó szolgáltatásokra.



## Talabér József

| 1918–2011

Életének 93. évében csendben elhunyt Talabér József professzor Úr, a néhai SZIKKTI igazgatója, egyetemi tanár, a Szilikátipari Tudományos Egyesület volt elnöke, az Építőanyag folyóirat Szerkesztőbizottságának örökös tiszteletbeli elnöke.

A professzor úr hosszú, sikeres életútja páratlan tehetségét, szervező-készségét, munkabírást bizonyította. Tudását, mint ipari vezető, kutatóintézeti igazgató elsősorban a szilikátipar területén hasznosította.

Prof. Dr. Talabér József 1942-ben szerezte mérnöki oklevelét Sopronban a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Bánya- és Kohómérnöki Karán.

Első munkahelye a Magyar Állami Kőszénbánya Rt. volt, ahol hamar felismerték kiváló szakmai és emberi képességeit.

1945-ben a Barbid és Ferroszilícium Gyár főmérnökévé nevezték ki.

1949-ben az Ipari Minisztérium Mész, Cement, Üveg és Finomkerámia Főosztály Termelési és Műszaki Osztályának vezetője lett.

1952-ben kinevezték az Építésügyi Minisztérium Cementipari Igazgatóság főmérnökének, majd 1959-ben az épülő DCM főmérnöke lett. A cementipari beruházások mind az ő keze nyomát viselik. Egyik, talán legérdekesebb munkája az 1Mt/év kapacitású DCM beruházás volt, amelyben hazánkban először vezették be a Lepol rendszerű égetési technológiát. A

Váci Cementgyár után a beremendi és a hejőcsabai cementgyárak, az Orosházi Síkúveggyár, valamint az Etenit Művek beruházási munkáit is irányította és tevékenyen részt vett a Bélapátfalvi Cementgyár létesítésében is.

1964-től 1983-as nyugállományba vonulásáig az ÉaKKI, majd jogutóda a Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet igazgatója volt. Irányításával építették fel a SZIKKTI Bécsi úti székházát, amelyet európai híru kutatóintézeté fejlesztett. Vezetése alatt a SZIKKTI az egész magyar szilikátipar fejlesztésének a mozgatórugója lett, összehangolva az alap kutatás-fejlesztés és technológiai

megvalósítás feladatait, kijelölve a távlati fejlesztés irányait.

Az intézet korszerűen felszerelt és műszerezett laboratóriumokkal, gazdag könyvtárral rendelkezett. Létszáma a szilikátipari nagyberuházások időszakában 1200 főre növekedett.

A SZIKKTI kb. 1980-ig terjedő mintegy 15 éves „aranykorszaka”

dicsérte Talabér József professzor Úr munkáját, aki nemcsak mint intézetigazgató, hanem mint közéleti személyiség, az SZTE elnöke, az Építőanyag folyóirat szerkesztőbizottságának elnöke, egyetemi oktató és tudományos kutató is jeleskedett.

Vezető-szervező tevékenysége mellett kiemelkedő kutatómunkát is végzett. Főként az alumínacemntek témakörében, több mint 80 publikációja jelent meg. A Cementipari

Kézikönyv főszerkesztője, valamint három egyéb szakkönyv társszerzője. 1955-ben a kémiai tudományok kandidátusa, 1992-ben a műszaki tudományok doktora lett.

Évtizedeken át a Professzor Úr tagja volt több akadémiai bizottságnak, az OMF B Kutatásokat Koordináló Tanácsának, ÉVM Műszaki Fejlesztési Tanácsának, a BME Építőmérnöki Kar Tudományos Tanácsának és Doktori Bizottságának. Részt vett

a KGST szilikátipari munkáiban is.

Tudására a felsőoktatás is igényt tartott. 1965-től a Veszprémi Vegyipari Egyetem tanára, 1969–1973 között a BME Építőanyagok Tanszéke vezetője, később egyetemi tanára lett.

Mindenzen tevékenységek mellett a Szilikátipari Tudományos Egyesület főtitkára 1958–1975 között, illetve elnöke 1975–1990-ig.

Számos kitüntetés közül az Eötvös Lóránd-díjat, az Állami Díjat, a MTESZ díjat és a Munka Érdemrend arany fokozatát emelem ki.

Az Építőanyag folyóirat Szerkesztőbizottságának elnökeként mindig szívén viselte a folyóirat ügyét. Számos egyéb elfoglaltsága mellett, soha nem mulasztotta el, hogy részt vegyen a szerkesztőbizottsági üléseken és hasznos tanácsaival segítse a lap munkáját.

Munkatársai, kollégái, barátai, a szilikátipar dolgozói szerették a Professzor Urat tudásáért, közvetlenségéért, emberségéért. Emlékét örökké őrizni fogjuk. Adjon az Úr lelkének örök nyugalmat!

“Határozottsága és következetessége, optimizmusa és kiváló irányítókészsége jól kamatozott a nagy és sokszor nehéz feladatok megoldásában. Emberisége és közvetlen személyisége osztatlan elismerést aratott az emberek körében.”

*Riesz Lajos*

„Mindenkire mély hatást gyakorolt az a bölcsesség és emberszeretet, amely – hogy úgy mondjam – attribútuma.”

*Dr. Szépvölgyi János*

„Talabér professzor urat a tanszék dolgozói tisztelték, szerették, nagy munkabírása, szakmai felkészültsége, emberi magatartása, kapcsolatteremtő képessége miatt. Nem ismerek olyan embert, aki rossz szót szólt volna róla.”

*Dr. Balázs György,  
Dr. Józsa Zsuzsanna*

*Wojnárovitsné Dr. Hrapka Ilona*





## BAU 2011

### 238 000 szakmai látogató: Óriási tolongás a BAU 2011-en

A látogatói roham újból rekordokat hozott a BAU 2011-nek, a világ vezető építészeti, anyag- és rendszer szakvásárának, és megerősítette, hogy ez a rendezvény az ágazat világvására. A vásár hat napján közel 238 000 látogató tolongott az Új Müncheni Vásárváros területén – ez mintegy 12%-os növekedést jelent az előző, 2009-ben rendezett kiállításához képest. Ilyen erőteljes növekedésre a BAU majdnem 50 éves történetében eddig még nem volt példa. Az iparág csúcseménye elsősorban nemzetközi téren került új dimenzióba: a BAU 2011 majdnem 60 000 látogatója külföldről érkezett, több mint 150 országból.

A BAU azonban nem csupán mennyiségi növekedést mutatott – azt is bebizonyította, hogy a világ minden tájáról érkező építési szakértők számára, a tervezőtől és az építészettől kezdve a kivitelezőkhöz, szinte nélkülözhetetlenné vált: **információs és kommunikációs börzseként**, elsősorban azonban az **újdonságok bemutatásával**, ahol kirakatba kerül az építkezés jövője, valamint **üzleti platformként működik**, ahol konkrét üzleteket kötnek, illetve készítenek elő.

A kiállítók még egyszer megerősítették, hogy a BAU a világ első számú vására, ha a tervezők és az építésszek megszólításáról van szó. „Látogatóinknak kb. 70 százaléka építész, **és éppen ezért vagyunk itt: hogy kapcsolatot teremtsünk az építésszekkel**” – fogalmazta meg találoán a spanyol Joan Catalin Iltis, a „Land Porcelanico” képviselője.

**A BAU vezető témái** ebben az évben a **fenntartható építkezés és a többgenerációs építkezés voltak**. Mindkét témával kapcsolatban több külön bemutatóra került sor, valamint számos előadásra a fórumok és kongresszusok keretén belül, pl. a Szövetségi Építésügyi Minisztérium „A jövőnek építeni – fenntarthatóan, energiahatékonyan és innovatívan” kongresszusán vagy a Szövetségi Gazdasági Minisztériumnak „A jövő épületei” címen futó rendezvénysorozatának keretén belül. Abszolút sláger volt a **rosenheimi főiskola szolárháza**, amely a madridi Solar-Decathlonon második helyezést ért el, és amely a BAU-n került először a széles nyilvánosság előtt is bemutatásra.

Nagy érdeklődést váltott ki a **BAU három fóruma**. Különösen „Az építés jövője”, amelyen olyan nemzetközileg tevékenykedő építésszek mutatták be terveiket és projektjeiket, mint Sir Peter Cook vagy Françoise Hélène Jourda. Minden hely foglalt volt általában a „MakroArchitektúra” fórumon is, ahol egyrészt az építészet és az ipar együttműködéséről, másrészt az építészet jövőjének kutatásáról esett szó. Az „Intelligens építkezés” elnevezésű fórum hidat vert az épületek helyreállítása és felújítása, valamint a modern high-tech épületek – pl. passzívházak vagy energiatermelő házak – közé. A Szövetségi Építésügyi Minisztérium „Jövő-építés” elnevezésű kutatási kezdeményezése keretében mutatott be projekteket.

A BAU-hoz kapcsolódóan ismét **számos díjat** adtak át, köztük a neves „Esz­tétika és konstrukció” díjat a DETAIL szakmai folyóirattal együttműködésben, valamint az „1:1 Az első ház” díjat a „Bauwelt”-tel együttműködve. Ezenfelül átadásra került:

- „Az IT-re építve – Építésszálya a jövőben” díj
- a termékinnovációkért járó díj
- „Építészet és építkezés” innovációs díj
- építőanyag-piaci Oscar díj

**Igazi közönségcsalogatónak bizonyult az „építészet hosszú éjszakája”,** amelyet első alkalommal rendeztek meg a BAU keretében és a kiállítók, illetve a látogatók mellett minden más érdeklődő számára is nyitva állt.

**A 20. BAU 2013. január 14. és 19. között az Új Müncheni Vásárváros területén kerül megrendezésre.**

## KÖNYVAJÁNLÓ

Megjelent **Dr. Balázs György: KÜLÖNLEGES BETONOK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK III.** című könyve. A kötet hat különleges betont, illetve betontechnológiát ismerttet:

- ferrocement,
- dermesztett beton (szövetszerkezetes építés),
- sugárvédő beton,
- vízzáró beton,
- könnyűbeton,
- kopásálló beton.

A könyv tartalmaz a beton tartósságával kapcsolatos fejezeteket is:

- a tartósság követelményei és növelésének módszere,
- a légköri szennyeződés hatása a betonra,
- a téli jégtelenítő sózás hatása az acélbetét korróziójára.

A kötet segítséget nyújt betontechnológusoknak és szakmérnököknek a különleges betonok és betontechnológiák tudatos alkalmazásához.

Megrendelhető a [www.akademiaikiado.hu](http://www.akademiaikiado.hu) honlapról, valamint az Akadémiai Kiadó vevőszolgálatán: 06-1/464-8201.

A beküldendő teljes kézirat a következő részekből áll: szöveges törzsrész, irodalom, kivonatok, ábrajegyzék (ábra aláírásokkal), táblázatok (táblázat címeikkel), ábrák, fotók, a szerző rövid szakmai életrajza.

A lentebb rögzített paraméterekkel készített kézirat javasolt terjedelme 5 oldal; indokolt esetben max. 6 oldal lehet, ábrákkal együtt.

A cikk tartalmáért és közölhetőségéért a szerző a felelős.

## A CIKK CÍME, SZERZŐJE, HIVATKOZÁS

A cikk címe legyen rövid, tárgyilagos és figyelemfelkeltő. Egysorosnál hosszabb címet lehetőleg ne használjunk.

A cím alatt a szerző neve (tudományos fokozat nélkül), munkahelye neve, a szerző e-mail címe következik.

Ha a közlemény eredetileg előadási vagy poszteranyag volt valamelyik konferencián, rendezvényen, akkor ezt jelezni kell a szerzők adatai után.

## SZÖVEGRÉSZ, FEJEZETEK

A word dokumentum margó beállításai: fent 3 cm, lent 3 cm, bal 2,5 cm, jobb 2,5 cm. Papírméret: A4.

A szövegrész betűmérete 10 pt, normál, sorkizárással igazítva. Szimpla sorköz. Betűtípus Times New Roman.

A cikkben mindenhol az SI-rendszer mértékegységeit kell használni.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

A cikkek szerzői egyezzenek áttekinteni a témára vonatkozó és fontos szakirodalmakat, és ezt közölnék is. A kézirat szövegében az irodalmi hivatkozásokat szövegbeni sorszámmal beírásával kell megadni, pl. [6], a hivatkozási sorrend szerint számozott irodalomjegyzéket kell készíteni.

Meg kell adni a hivatkozott közlemény bibliográfiai adatait a következő minták szerint:

– Folyóirat esetén: Tóth, Gy. – Máté, B.: *Földtani tényezők bazaltbányák művelésénél*. Mélyépítéstudományi Szemle. XXIV. évf. 4. szám (2004), pp. 145-148.

– Könyv esetén: Vadász, E.: *Magyarország földtana*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1960.

Ezeketől eltérő esetekben értelemszerűen kell eljárni.

## ÁBRÁK, TÁBLÁZATOK

Ábrának minősülnek a vonalas rajzok, grafikonok, fotók is. A szövegben legyen benne az ábrák, táblázatok hivatkozása. Ez a szerző útmutatása arra, hogy hová kívánja az ábrát, táblázatot helyezni. Az ábrákat nem kérjük a szövegbe beszerkeszteni, kérjük külön-külön képfájlban stb. megadni. A táblázatok a közlés sorrendjében, a kivonat után legyenek elhelyezve, vagy külön fájlba téve. Lehetőleg minden ábrának, táblázatnak legyen címe magyar és angol nyelven. Lehetőség szerint kerüljük a terjedelmes táblázatokat.

Kérjük figyelembe venni, hogy a megjelenés színe fekete-fehér! Bizonyos színek szürke változata ugyanolyan árnyalatú, emiatt a grafikon vagy ábra nem értelmezhető.

Ábrák elektronikus jellemzői: tiff, jpg vagy eps kiterjesztés, 300 dpi felbontás fotó esetén, 600 dpi felbontás (a megjelentetés méretében) vonalas ábra esetén.

## KIVONAT, KULCSSZAVAK

A cikkhez – a nemzetközi referálás érdekében – külön kivonatot kell készíteni angol nyelven (ha ez nem oldható meg, magyar nyelven), mely tartalmazza a cikk címét is. A kivonat ismertesse a közlemény legfontosabb eredményeit negyed oldal – max. fél oldal terjedelemben.

A szerző adjon meg olyan kulcsszavakat magyar és angol nyelven, melyek a cikk legfontosabb elemeit jelölik.

## SAKMAI ÉLETRAJZ

Szigorúan szakmai életrajz nagyjából 500 karakter terjedelemben (mely tartalmazza a tudományos fokozatot is).

## LEKTORÁLÁS

A cikkeket a Szerkesztő Bizottság lektoráltatja. Az próbb, technikai vagy nyelvhelyességi változtatásokat a szerkesztő közvetlenül átvezeti a kéziratot. A lektor által javasolt, lényegét illető változtatásokról a főszerkesztő a szerzőt értesíti. Mivel a cikk tartalmáért nem a lektor, hanem a szerző felelős, a szerző nem kötelezhető a lektori javaslatok elfogadására.

## KORREKTÚRA

A szerzőnek a korrekktúrára megküldött kefelevonatot postafordultával vissza kell juttatni.

## KAPCSOLATTARTÁS

Az elkészített cikkekre és kiegészítéseire szükség van elsősorban elektronikus változatban. Az értelmezhetőség miatt előfordulhat, hogy a nyomtatott, fekete-fehér változatot is kérjük.

E-mail: femgomze@uni-miskolc.hu vagy epitoanyag@szte.org.hu.

Postai cím: Szilikátipari Tudományos Egyesület, 1034 Budapest, Bécsi út 122-124.

Kérjük a szerzőket, hogy adják meg postai címüket, vezeték és mobil telefonszámukat, e-mail címüket a gyors egyeztetés, elérhetőség érdekében.

The authors can download an English Guideline from the Society's website.

## INHALT

- 2 Eine alte Methode aus neuen Gesichtspunkten: Statische Härtemessung am verfestigten Beton
- 10 Bemessung der Förderung von körnigen Materialien durch Flüssigkeitsströmung in Rohrleitungen Teil 1: Versuchsanlagen und Modell
- 16 Anwendung von Masterkurven bei gitterbefestigten Asphaltkonstruktionen
- 18 Beständigkeit von Zementen der Klasse H und von Kompositzementen mit Hochofenschlacke
- 24 Vergleichsprüfungen über die chemische Behandlung, Charakterisierung sowie über die Adsorption von Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> und Zn<sup>2+</sup> eines bentonithaltigen Tones
- 28 Entwicklung eines hydraulischen Bindemittels aus Industrieabfällen

## СОДЕРЖАНИЕ

- 2 Старый метод с новым приближением: измерение статической твердости упрочнённого бетона
- 10 Методика расчёта транспорта сыпучих материалов в трубах с помощью жидкостей I.: Экспериментальное устройство и модель
- 16 Применение «мастер-кривых» для решётчатоусиленных асфальтосмесей
- 18 Долговечность цементных композитов, изготовленных из смесей H-цемента и шлаков доменных печей
- 24 Результаты исследования химической обработки, характеристики, а также абсорбции Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> бетонитовых глин
- 28 Применение промышленных отходов для производства гидравлических вяжущих

## ELŐFIZETÉS

Az előfizetés díja

1 évre **5000 Ft.**

Előfizetési szándékát kérjük 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

## SUBSCRIPTION

Price of subscription for

1 year **40 EUR.**

Subscription form is available

on Society's website:

www.szte.org.hu

A Kerox Kft. 1981-ben alakult, és három évtized leforgása alatt vált kerámiagyártó cégből a világ egyik legjelentősebb szállítójává és egyben a szaniter szektor piacvezető cégévé az egykaros csaptelepek kerámiás betéteinek (szaknéven „kartus”) gyártása terén.

Megalakulása első éveitől nagyon erőteljes és dinamikus növekedést mutat, mostanra éves szinten 20 millió darab kerámiás kartust értékesít világszerte.

Vevőinek száma megközelíti a 250-et, és mintegy 40 országba teríti termékeit. A főbb piacok: Olaszország, Németország, Kína, USA és Törökország. A vásárlók között ott szerepelnek a világ legrangosabb csaptelep gyártói, mint például a német Kludi, Hansa, az amerikai Delta, Moen, Kohler, a japán TOTO stb.

A kifogástalan minőség alapja, hogy a cég a kartus kulcsfontosságú alkatrészeit saját maga gyártja, így szigorúan kontrollálja a gyártás minden lényeges fázisát.

A kartus gyártás alapja a legmagasabb szintű technológiát igénylő kerámiagyártás. A szigorú tűréseket igénylő kerámiát Németországból származó alumínium oxid porból, préseléssel állítják elő, modern gépparkkal. Ezt a fázist a szinterelés követi, világszínvonalat képviselő gázfűtésű alagút kemencék segítségével. A kerámiák felületének kezelésében (csiszolás, polírozás és mosás) és 100%-os minőség-ellenőrzésében szintén a legfejlettebb technikák segítik a gyártást. Ennek köszönhetően a szaniter ágazaton kívül, a köztudottan magas követelményeket támazító autópárbra is szállít a cég speciális kerámia tárcsákat.

A nagy pontosságú műanyag alkatrészek is helyben készülnek, osztrák fröccsöntő gépekkel.

A saját, modern szerszámüzemből kerül ki a présgépekhez és fröccsgépekhez használatos rendkívül kiterjedt szerszámpark is.

A többlépcsős minőség-ellenőrzés a gyártás minden fázisában egyesével követi nyomon a készülő kartusokat, a beérkező alapanyagok minőségétől egészen a 100%-os végellenőrzésig.

A Kerox politikája kizár bármilyen kompromisszumot a minőség kárára. További erősségként tartják számon a vevők a pontos szállítást, és az első osztályú, vevőközpontú ügyfélszolgálatát.

A Kutatás Fejlesztés terén is élen jár a vállalat. Nagy tudású és komoly tapasztalattal rendelkező mérnök csapata folyamatosan dolgozik a meglévő termékek tökéletesítésén és újabb termékek kifejlesztésén. Ezzel azonos ütemben bővül a saját tulajdonban levő szabadalmak száma is.

A Kerox termékskálája több száz kartust ölel fel. A teljesség igénye nélkül: standard, termosztátos, joystick, energiatakarékos kategóriákban számos modell található.

A további termékek között található a kartus gyártás alapját is adó kerámiatárcsák, valamint a termosztátos felhasználáshoz készülő viasz elemek is, melyek térhódítása a világ több piacán erőteljes tendencia.

A gyár ISO 9001:2008 minősítéssel működik – Budapest vonzáskörzetében, Diósdon – melyet a TÜV szavatol. Ezen túlmenően rendelkezik továbbá a fontos piacok által igényelt valamennyi ivóvíz engedéllyel, valamint a kartus paramétereit számon kérő legigényesebb szabvány követelményeket is kielégíti, melyet számos ilyen irányú nemzetközi tanúsítás igazol.

A cég sikerét mi sem bizonyítja jobban, mint a dinamikus bővülő vevőkör, mely évente több millió kartus vásárlásával teszi le a voksot a minőséggel arányos, versenyképes áron szállított termékek mellett. Nincs földrész a világon, ahol a szaniter iparágban a Kerox neve ne lenne ismert, vagy ne fonódna össze a magas minőség, a megbízható termék és szolgáltatás fogalmával.

[www.kerox.net](http://www.kerox.net)



**A jelenlegi kerámia gyártástechnológia fejlesztésére, új technológiák keresésére, kifejlesztésére keresünk TUDOMÁNYOS FŐMUNKATÁRSAT, amelyet versenyképes jövedelemmel honorálunk. Fényképes önéletrajzokat angol és/vagy német nyelven is az alábbi e-mail címre várjuk: [attilakovacs@kerox.net](mailto:attilakovacs@kerox.net)**



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

### ic-cmtp2

We are pleased to announce the organization of the 2nd International Conference on Competitive Materials and Technology Processes (**ic-cmtp2**) to be held at **Hunguest Hotel Palota Lillafüred in Miskolc**, Hungary, October 8–12, 2012.

Previous international conference **cmtp** was held in Miskolc-Taploca, Hungary, organized by group of scientists from Germany, Hungary, Japan, Russia and Serbia.

### The objectives

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.

### Call for Session

Distinguished colleagues are invited to organize **Mini-Symposia** or **Session** on particular subjects of interest. Proposals can be submitted online through e-mail:

**femgomze@uni-miskolc.hu**, by **Septemer 15, 2011**.

The **aims of ic-cmtp2** are the fostering of interdisciplinary collaboration and interaction among researchers, scientists, PhD students as well as product and technology developers.

### Important Dates

Please, be so kind and keep the following important dates of **ic-cmtp2**:

Mini-symposia & Session proposal, **September 15, 2011**  
deadline:

Mini-symposia, Session acceptance **October 31, 2011**  
deadline:

Abstract submission, deadline:

Notification of acceptance:

Early registration, deadline:

Full-paper submission, deadline:

**December 15, 2011**

**February 15, 2012**

**April 30, 2012**

**June 30, 2012**

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

