

# építőanyag

A Szilikátipari Tudományos Egyesület lapja

Journal of Silicate Based and Composite Materials

## A TARTALOMBÓL:

- Structure and mechanical properties of  $ZrO_2$ -based systems
- Bond of steel reinforcement in different lightweight aggregate concretes
- Effect of the grinding aids on the flow properties of ultrafine ground materials measured by Jenike shear cell
- Performance of waste glass powder (WGP) supplementary cementitious material (SCM) – Drying shrinkage and early age shrinkage cracking
- Mining geology observations in the granite quarry at Erdősmecke



2014/1

Teljeskörű  
kínálat

- Ásványfeldolgozás és újrahasznosítás
- Betonkeverő berendezések



MFL Hungária Kft., 1103 Budapest, Gergely utca 81/e.  
Tel. +36 1 433 2004, Mobil +36 30 721 39 56  
mfl@t-online.hu, www.sbm-mp.at

We are pleased to announce the organization of  
**ic-cmtp3**

THE 3<sup>rd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
COMPETITIVE MATERIALS AND TECHNOLOGY PROCESSES  
to be held at Hunguest Hotel Palota Lillafüred in Miskolc, Hungary, October 6-10, 2014.

The 2<sup>nd</sup> International Conference on Competitive Materials and Technology Processes was also held in this wonderful palace hotel in the exceptionally beautiful Bükk Mountains and together with coauthors have participated on it more than 550 scientists from 36 countries of Asia, Europe, America and Africa. The peer reviewed and accepted papers of **ic-cmtp3** conference will be published in periodicals of IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE) which are referred by Scopus, EI Compendex, Inspec, INIS, Chemical Abstracts, NASA Astrophysics Data System and many others. As organizers we hope you will submit your abstract and will attend on ic-cmtp3 conference and we are looking forward to welcome you in **Miskolc, Hungary in October 6-10, 2014.**

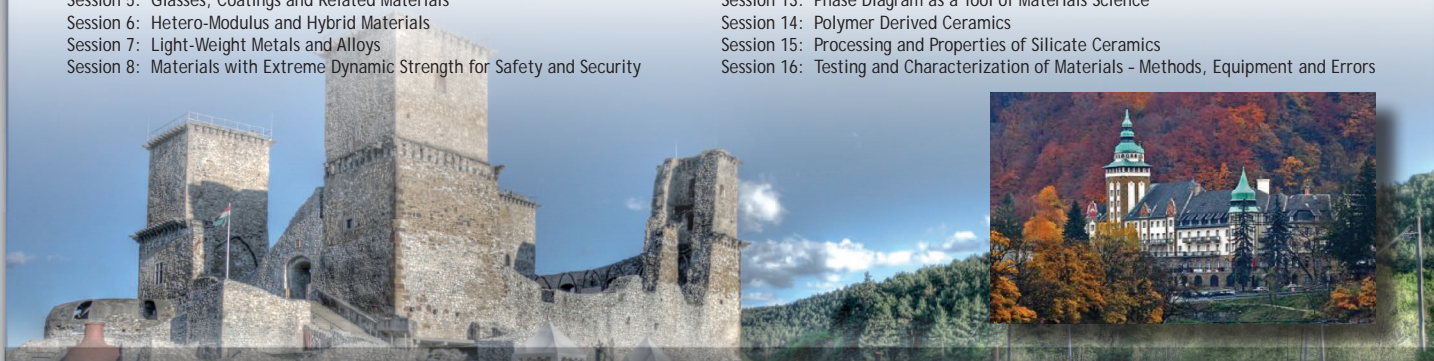
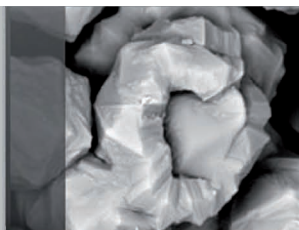
#### The objectives

The event based more to academia than to industry and all papers will be peer reviewed before publication in **IOP Conference Series Materials Sciences and Engineering**, which is refereed by SCOPUS and many others. The international conference **ic-cmtp3** provides 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 nanomaterials, ceramics, glasses, films and coatings, metals, alloys, biomaterials, composites, hetero-modulus and hybrid- materials, ... etc.

#### Sessions

Session 1: Advanced Materials for Bio- and Medical Applications  
Session 2: Advanced Materials for Extreme Applications  
Session 3: Advanced Nanomaterials with Predefined Properties  
Session 4: Biomaterials Derived Ceramics and Composites  
Session 5: Glasses, Coatings and Related Materials  
Session 6: Hetero-Modulus and Hybrid Materials  
Session 7: Light-Weight Metals and Alloys  
Session 8: Materials with Extreme Dynamic Strength for Safety and Security

Session 9: Membranes and Catalysts  
Session 10: Minerals for Environmental and Medical Application  
Session 11: Nanomaterials for Environment and Health  
Session 12: Novel Synthesis and Processing Technology  
Session 13: Phase Diagram as a Tool of Materials Science  
Session 14: Polymer Derived Ceramics  
Session 15: Processing and Properties of Silicate Ceramics  
Session 16: Testing and Characterization of Materials - Methods, Equipment and Errors



Further information can be obtained from Prof. Dr. László A. Gömze by e-mail femgomze@uni-miskolc.hu

## TARTALOM

- 2** ZrO<sub>2</sub> anyagrendszerek szerkezete és mechanikai tulajdonságai  
*Sergey N. KULKOV ■ Svetlana P. BUYAKOVA ■ GÖMZE László A.*
- 7** Betonacél tapadása különböző könnyű adalékanyagok alkalmazása esetén  
*NEMES Rita ■ TÖRÖK Bálint*
- 13** Őrlést segítő anyagok hatása nagyfinomságú őrlemények folyási tulajdonságaira Jenike nyírócellával mérve  
*RÁCZ Ádám*
- 18** Megőrölt hulladék üveg (WGP) cement kiegészítő anyag (SCM) tulajdonságai – Száradási zsugorodás és korai zsugorodási repedésérzékenység  
*Patricija KARA ■ BOROSNYÓI Adorján ■ FENYVESI Olivér*
- 23** Bányaföldtani megfigyelések az Erdősmeckei gránitbányában  
*KLESPITZ János*

## CONTENT

- 2** Structure and mechanical properties of ZrO<sub>2</sub>-based systems  
*Sergey N. KULKOV ■ Svetlana P. BUYAKOVA ■ László A. GÖMZE*
- 7** Bond of steel reinforcement in different lightweight aggregate concretes  
*Rita NEMES ■ Bálint TÖRÖK*
- 13** Effect of the grinding aids on the flow properties of ultrafine ground materials measured by Jenike shear cell  
*Ádám RÁCZ*
- 18** Performance of waste glass powder (WGP) supplementary cementitious material (SCM) – Drying shrinkage and early age shrinkage cracking  
*Patricija KARA ■ Adorján BOROSNYÓI ■ Olivér FENYVESI*
- 23** Mining geology observations in the granite quarry at Erdősmeckeske  
*János KLESPITZ*

**A finomkerámia-, üveg-, cement-, mész-, beton-, téglá- és cserép-, kő- és kavics-, tűzállóanyag-, szigetelőanyag-iparágak szakmai lapja**  
**Scientific journal of ceramics, glass, cement, concrete, clay products, stone and gravel, insulating and fireproof materials and composites**

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG • EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. GÖMZE A. László – elnök/president  
Dr. BOROSNYÓI Adorján – főszerkesztő/editor-in-chief  
WOJNÁROVITSNÉ Dr. HRAPKA Ilona – örökös  
tiszteltbéli felelős szerkesztő/senior editor-in-chief  
TÓTH-ASZTALOS Réka – tervezőszerkesztő/design editor

### TAGOK • MEMBERS

Prof. Dr. Parvin ALIZADEH, BOCSKAY Balázs,  
Prof. Dr. CSÖKE Barnabás, Prof. Dr. Katherine T. FABER,  
Prof. Dr. Saverio FIORE, Prof. Dr. David HUI,  
Prof. Dr. GÁLOS Miklós, Dr. Viktor GRIBNIAK,  
Prof. Dr. Kozo ISHIZAKI, Dr. JÓZSA Zsuzsanna,  
KÁRPÁTI László, Dr. KOCSERHA István,  
Dr. KOVÁCS Kristóf, Prof. Dr. Sergey N. KULKOV,  
MATTYASOVSKY ZSOLNAY Eszter, Dr. MUCSI Gábor,  
Prof. Dr. OPOCZKY Ludmilla, Dr. PÁLVÖLGYI Tamás,  
Dr. RÉVAY Miklós, Prof. Dr. Tomasz SADOWSKI,  
Prof. Dr. Tohru SEKINO, Prof. Dr. David S. SMITH,  
Prof. Dr. Bojja SREEDHAR, Prof. Dr. SZÉPVÖLGYI János,  
Prof. Dr. SZÜCS István, Prof. Dr. TAMÁS Ferenc

### TANÁCSADÓ TESTÜLET • ADVISORY BOARD

FINTA Ferenc, KISS Róbert, Dr. MIZSER János

A folyóiratot referálja:  
Cambridge Scientific Abstracts



A folyóiratban lektorált cikkek jelennek meg.  
Kiadja a Szilikátipari Tudományos Egyesület  
1034 Budapest, Bécsi út 122–124.  
Telefon és fax: +36-1/201-9360  
E-mail: epitoanyag@szte.org.hu  
Felelős kiadó: ASZTALOS István SZTE ELNÖK  
Tördelőszerkesztő: NÉMETH Hajnalka

Címlapfotó/Cover photo by KÓSA Luca Kornélia

Belföldi terjesztés: SZTE  
Külföldi terjesztés: BATHYANY KULTUR-PRESS KFT.

### HIRDETÉSI ÁRAK 2014 / ADVERTISING RATES 2014:

B2 borító színes / cover colour	76 000 Ft	304 EUR
B3 borító színes / cover colour	70 000 Ft	280 EUR
B4 borító színes / cover colour	85 000 Ft	340 EUR
1/1 oldal színes / page colour	64 000 Ft	256 EUR
1/1 oldal fekete-fehér / page b&w	32 000 Ft	128 EUR
1/2 oldal színes / page colour	32 000 Ft	128 EUR
1/2 oldal fekete-fehér / page b&w	16 000 Ft	64 EUR
1/4 oldal színes / page colour	16 000 Ft	64 EUR
1/4 oldal fekete-fehér / page b&w	8 000 Ft	32 EUR

Az árak az áfát nem tartalmazzák. / Without VAT.

A hirdetési megrendelő letölthető a folyóirat honlapjáról.  
Order-form for advertisement is available on the website of the journal.

WWW.EPITOANYAG.ORG.HU

Online ISSN: 2064-4477 ■ Print ISSN: 0013-970X  
INDEX: 2 52 50 ■ 66 (2014) 1–28



### A SZILIKÁTIPIARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

#### TÁMOGATÓ TAGVÁLLALATI

3B Hungária Kft. ■ Air Liquide Kft. ■ Anzo Kft.  
Baranya Téglá Kft. ■ Berényi Téglaiipari Kft.  
Budai Téglá Zrt. ■ Budapest Kerámia Kft.  
Cerlux Kft. ■ Colas-Északkelet Kft. ■ Electro-Coord Kft.  
Fátyolüveg Kft. ■ G&B Elastomer Kft. ■ GE Hungary Zrt.  
Geoteam Kft. ■ Guardian Orosháza Kft. ■ Hunext Kft.  
Interkerám Kft. ■ KK Kavics Beton Kft. ■ KŐKA Kft.  
Kötés Kft. ■ KTI Kft. ■ Kvarc-Ásvány Kft.  
Lambda Systeme Kft. ■ Libál Lajos ■ Lighttech Kft.  
Maltha Hungary Kft. ■ Messer Hungarogáz Kft.  
MFL Hungária Kft. ■ Mineralholding Kft.  
MTA KK AKI O-I Manufacturing Magyarország Kft.  
OMYA Kft. ■ Pápateszéri Tégl. Kft. ■ Perlit-92 Kft. ■ Q&L Bt.  
RATH Hungária Kft. ■ Rockwool Hungary Kft.  
Speciál Bau Kft. ■ Szema Makó Kft. ■ SZIKKTI Labor Kft.  
WITEG Kőporc Kft. ■ Zalakerámia Zrt.

# Structure and mechanical properties of ZrO<sub>2</sub>-based systems

**SERGEY N. KULKOV** ▪ Tomsk State University ▪ Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, 634021, Russia ▪ [kulkov@ms.tsc.ru](mailto:kulkov@ms.tsc.ru)

**SVETLANA P. BUYAKOVA** ▪ Tomsk State University ▪ Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, 634021, Russia

**LÁSZLÓ A. GÖMZE** ▪ Department of Ceramics and Silicate Engineering, Miskolc University, H-3515 Hungary ▪ [femgomze@uni-miskolc.hu](mailto:femgomze@uni-miskolc.hu)

Érkezett: 2014. 02. 14. ▪ Received: 14. 02. 2014. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.1>

## Abstract

The structure and phase composition of zirconia-based nanosystems are studied. It is shown that during mechanical activation this nanosystem is divided into two subsystems with the average size of structural elements differing by two orders of magnitude. The fraction of the quasi-amorphous (X-ray amorphous) phase therewith increases. Through varying the heating rate of such a nanosystem in sintering we may purposefully vary its shrinkage at the stage of isothermal sintering. It is shown that through heating rate variation at sintering of such a nanosystem one can purposefully vary its shrinkage at the isothermal sintering stage. The higher the sintering temperature, the slower the compaction process at the isothermal stage. This allows producing materials with various porosity values but high strength of sintered material.

Keywords: ceramics, mechano-chemistry, nanostructure, nanocrystalline ZrO<sub>2</sub>, phase composition, sintering

## 1. Introduction

The use of nanopowders enables the fabrication of fine-grained ceramics which, as a consequence, offer higher strength in comparison with their large-grained analogs [1-4]. At the same time, practical application of fine powders presents a number of difficulties, the most serious of which is their polydispersity, due to their tendency to aggregate. The inhomogeneous packing of agglomerated powder particles in the forming process leads to low density [5] and, hence, low strength of the sintered material and considerably reduces the performance of nanocrystalline powders for the fabrication of high-strength materials.

Nanocrystalline powders produced by plasma-chemical methods show much promise for the production of zirconia-based ceramics [6]. In the course of production they acquire a uniform, as compared to ordinary technologies, component distribution and accumulate a high, in comparison to coarse powders, excess energy. In this case, both the properties of zirconia powders and final properties of products made of them greatly depend on the amount of the stabilizing agent. Of interest in this respect is a zirconia-based system stabilized by various oxides (yttrium, magnesium, etc.). As distinct from other ZrO<sub>2</sub>-based ceramic materials like [3] and [7, 8], it allows thermal treatment with drastic changes in mechanical properties.

There are several approaches to improve the particle size uniformity of nanopowders. One of them is milling. In this process, disaggregation is accompanied by an activation of the powder: the formation of a highly imperfect structure and new surfaces and the removal of adsorbed gases [9]. It should, however, be kept in mind that mechanical processing of fine powders may cause not only disaggregation but also the reverse process: aggregation. The possibility of using

**Prof. Sergey N. Kulkov**

Head of Department of Ceramics in the Institute of Strength Physics and Materials Science of the Russian Academy of Science since 1989.

He has got scientific degrees „Candidate of Physics and Mathematical Sciences” at Tomsk State University in 1981; and „Doctor of Physics and Mathematical Sciences” in 1990. Since 1992 he’s working as professor both in Tomsk State University and in Tomsk Polytechnic University. He has a wide range experiments in research of structural ceramic composites and in development of new material composition and technology of high-tech products. His research works are represented in 5 books, more than 150 articles, 18 patents and many International Symposiums and Conferences. In 1997 he had a Soros Professor grant. At present he is head of chair „Theory of Strength and Mechanic of Solids”, member of „The American Ceramic Society” of „The APMI- International” and the DYMAT Society (France). His scientific activities are the followings: ceramic matrix composites with transformation toughening, transformations and mechanical properties, shockwave treatment of ceramic powders, superplasticity of CMC, ceramic and ceramic reinforced metal fiber with high porosity for medical applications.

**Prof. Svetlana P. Buyakova**

Doctor of Sciences from 2008, full Professor from 2013. She is specialist in material sciences of ceramic and ceramic matrix composites based on oxides and carbides. She is author and co-author more than 100 papers. Three Ph.D. students and one person makes they dissertations under her guidance in period 2010-2013. Now, she is chief scientist in ISPMS RAS and professor in Tomsk State University and Tomsk Polytechnic University. Her teaching experience: Introduction to Materials Science, Fundamentals of Materials Engineering, Materials and their Applications.

**Prof. László A. Gömze**

Establisher (in July 1st, 1999) and head of Department of Ceramics and Silicate Engineering in the University of Miskolc, Hungary. Since then 7 students from the department have successfully completed their PhD theses and 4 of them were managed by Prof. Gömze. Until today he is author of 2 patents, 4 books and more than 250 scientific papers. He was the chair of International Scientific Advisory Board of the international conferences *ic-cmtp2* in 2012 and *ic-rmm1* in 2013. Recently, he is the chair of the International Organization Board of the 3rd International Conference *ic-cmtp3* on Competitive Materials and Technological Processes.

mechanical processing of nanopowders in the fabrication of ceramic articles requires an in-depth study of its effect on the microstructure and properties of ceramics.

The purpose of this work was to study the effect of grinding of ultrafine ZrO<sub>2</sub>-3wt.%MgO powder after ball-milling processes on the microstructure and properties of the ceramics produced from the powder.

## 2. Experimental

ZrO<sub>2</sub> powder was prepared by decomposing an aqueous solution of zirconium and magnesium nitrates in a high-frequency plasma. Plasma pyrolysis of liquid precursors is among the most effective processes for the preparation of fine zirconia powders. One important advantage of this method is that the reactions involved take place under nonequilibrium conditions, which ensure rapid nucleation and slow growth of new phases. At the same time, this method has a number of drawbacks, the main of which is its low selectivity. The broad size distribution of particles produced by the plasma pyrolysis of liquid precursors is due not only to aggregation but also to

the large difference in geometry between individual particles [10, 11]. Ultrafine  $ZrO_2$ -3wt.%MgO powder was used in the present studies. It was dry-ground in a tumbling mill with high-density alumina ceramic media for up to 50 h. Ceramic samples were produced by hot pressing at 50 MPa and 1400°C for 10 min and were tested in three-point bending. The morphology of the particles and the micro-structure of the ceramics were examined by scanning electron microscopy on a Philips SEM 515. Phase composition and lattice parameters were determined by X-ray diffraction on diffractometer with  $CuK\alpha$ , radiation.

### 3. Results and discussion

The data of transmission electron microscopy have shown that powders consisted of spherical particles and a large number of irregular shaped particles among which fragments of hollow spheres and films are present [12]. According to the obtained estimates, the amount of the spherical particles was about 20 % of the total amount of particles in the studied powders. Some particles both spherical and irregular shaped were transparent for the electron beam and it may thus be inferred that their thickness did not exceed 50 nm. The irregular shaped particles formed numerous agglomerates in the powder, while the spherical particles were mostly isolated. The size of the majority of the agglomerates was less than 0.25  $\mu m$ , however, the powder contained interparticle agglomerates and large spherical particles of size up to 6  $\mu m$ .

The crystallite size distribution in  $ZrO_2$  powder obtained by TEM can be characterized as "wide": dispersion comprises  $\sigma = 11.1$ . The size of largest (more than 30 nm) crystallites amounts to 80 nm, though their contribution is not significant and does not exceed 10 %. The average crystallite size defined by electron microscopy coincides with the average size determined by X-ray diffraction (20 nm) and is close to the average crystallite size (22 nm) observed in similar  $ZrO_2$  powders [12]. X-ray diffraction examination showed that the main phase in the powder was high-temperature cubic zirconia. The net fraction of the tetragonal and monoclinic phases was within 8%. The average crystallite size of the cubic zirconia was 25 nm as determined from the width of its X-ray lines.

During milling, a transition from one competing process to another was observed: from aggregation to disaggregation. In the initial stage of milling, aggregation prevailed. After 5 h of milling, the powder contained few or no separate particles: it consisted of aggregates with an average size above that in the as-prepared powder (Fig. 1a). At the same time, further milling led to disaggregation of the powder, breaking both the aggregates that had already been present before milling and those that had been formed during milling. After 25 h of mechanical processing, the powder was the least aggregated. The average particle size was 0.13  $\mu m$ , the powder contained a much smaller percentage of electron-opaque particles, and there were no thin-walled spherical particles.

Milling for more than 25 h led to re-aggregation of the powder (Fig. 1b), but the resulting aggregates consisted of particles more uniform in size compared to the un-milled powder. After milling for 50 h, the powder consisted of spherical aggregates (granules) 0.12  $\mu m$  in average size (Fig. 1c).

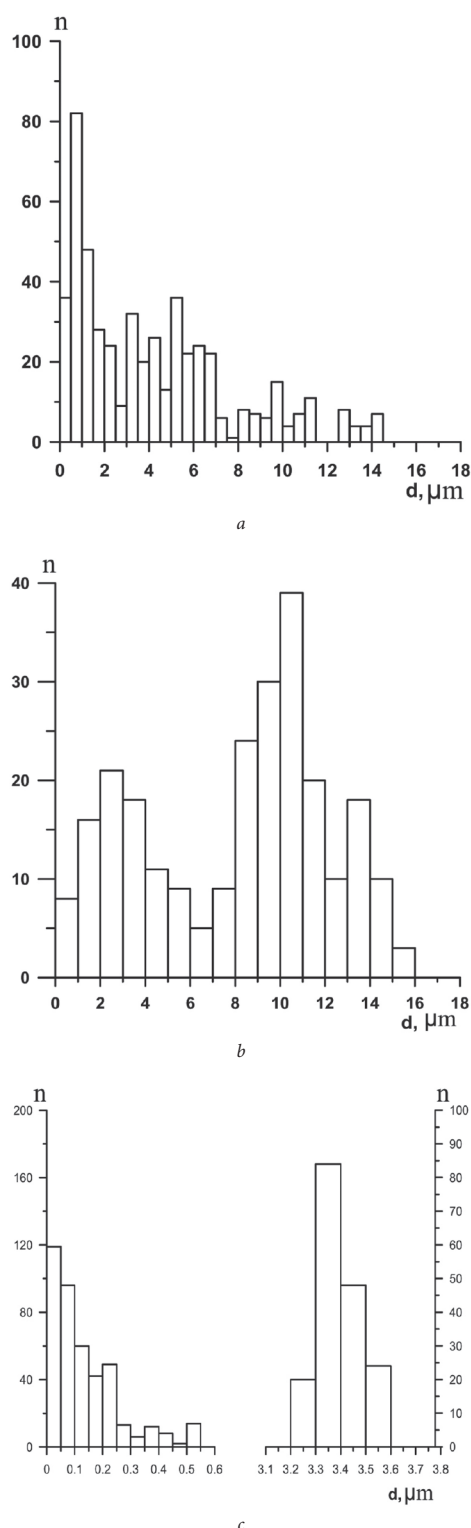


Fig. 1. Average size distributions of powder particles at increasing time of treatment after ball-milling processes: a – initial state, b – 10h, c – 50h

1. ábra Szemcseméreteloszlás a bolygó golyósmalommal végzett őrlésidő függvényében: a – az őrlés kezdetekor, b – 10 óra őrlés, c – 50 óra őrlés után

In an earlier study [1] and [13], powder disaggregation during milling was accompanied by an increase in the percentage of an X-ray amorphous (quasi-amorphous) phase: the X-ray diffraction pattern of the powder showed an increased background at small diffraction angles, and the particles in electron-microscopic images had a halo.

The disaggregation of the powder during milling was accompanied by an increase in its specific surface area and bulk density. Re-aggregation also led to an increase in the bulk density of the powder. In particular, the powder had the highest bulk density ( $0.2 \rho_{\text{theor}}$ ) after milling for 50 h. After 25 h of milling, its bulk density was  $0.1 \rho_{\text{theor}}$ .

The ratio of the integral intensity of the strongest reflection of the zirconia cubic phase  $I_{(111)}$  to the background radiation intensity  $I_b$  was calculated. Similar phase transformations into cubic phase were observed after high energy high speed collisions in  $\text{Si}_3\text{N}_4$  particles embedded in alumina matrix [14] and in  $\text{NiO-Al-Al}_2\text{O}_3$  system after high temperature synthesis [15]. The calculation shows that for the time of powder refinement up to 5 h this ratio remains almost unchanged and decreases at further increase of the mechanical treatment time (Fig. 2). It is significant that the kink in the time dependence of background intensity coincides with the beginning of powder separation in two independent subsystems and appearance of an ultrafine fraction with the “halo” around particles.

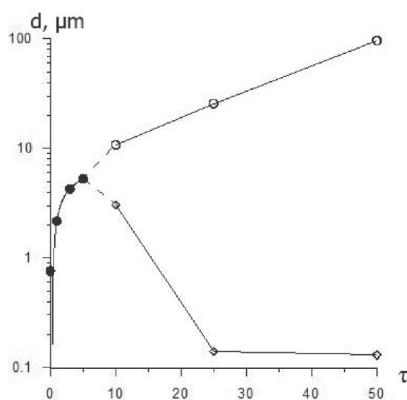


Fig. 2. The ratio of the (111) reflection intensity of cubic phase to the background radiation intensity in X-ray diffraction patterns of powder after mechanical treatment of different duration

2. ábra A köbös fázisú (111) részecskék röntgen diffrakciós reflexió intenzitásának nagysága az őrlésidő függvényében

The estimation of the crystallite size and lattice microdistortion of the cubic phase in the activated powder shows that the average crystallite size remains almost unchanged under mechanical treatment, but lattice microdistortion grows proportionally to the treatment time and is evidently induced by microstresses. A different character of the dependence of fine structure parameters on the time of refinement is observed for the zirconia monoclinic phase. With increasing mechanical treatment time the crystallite size reduces, while the lattice microdistortion value increases.

Fig. 3 gives the diagram of powder compaction under continuous loading and the compacting pressure dependence of the relative compact volume in double logarithmic scale (measurements were made after the removal of specimens from the mold). In the diagram three linear portions with different slopes are well pronounced. A kink is also observed in the compacting pressure depending on the relative compact volume, though at a higher applied pressure. The portions with different slopes in the given dependences reflect the change of the prevailing mechanisms of powder compaction. The difference of pressure under which the diagram of continuous powder compaction and the compacting

pressure dependence of the relative compact volume kink stems from a decrease in the actual compact density due to elastic aftereffect after specimen removal.

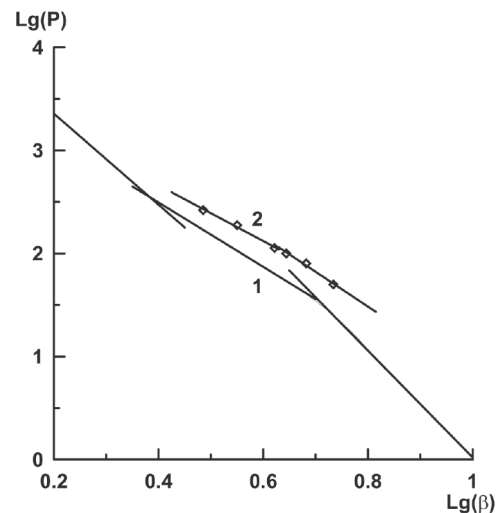


Fig. 3. Plot of relative density vs. compaction pressure for the compaction curve (1) and densification body (2) of powders

3. ábra A sajtoló nyomás hatása a vizsgált porok relatív sűrűségére (1) valamint a sajtolási tömörödéésre (2)

The X-ray phase analysis data show that the monoclinic phase content in compacts constantly increases starting from a minimum pressure. Despite the fact that the phase composition analysis was performed on the compact surface from the active die side and therefore data on the monoclinic phase content were somewhat increased relative to the entire volume (owing to a nonuniform application of pressure to different specimen volumes at the cost of interparticle friction and friction of powder particles on the mold walls), it can be observed that the monoclinic phase during compaction is formed already at low pressure (less than 50 MPa) whose value is much lower than the strength of macroscopic zirconia specimens under compression (above 500 MPa). This is due to the fact that in nanocrystalline powder with a very complex morphological structure stress localization can occur, considerably exceeding the average stress level already at the initial loading stage. Thus, even at the initial stages of powder compaction the transfer of particles to the free pore space is accompanied by their failure.

The increase of the zirconia monoclinic phase content in powder at compaction is not monotonic; the most intensive failure of powder structural elements takes place in the compacting pressure interval from 50 to 100 MPa. The pressure value at which a kink occurs in the dependence reflecting the  $\text{ZrO}_2$  monoclinic phase content growth during compaction corresponds to the pressure under which the compacting pressure dependence of the compact density kinks. Since the failure of powder particles was observed in the whole compacting pressure interval, the kinks in the compaction diagrams are probably related to the beginning of failure of stronger structural elements of powder.

The constructed dependences of compact density variation at sintering show that the most intensive compaction of specimens for all temperature conditions takes place at the heating stage, while isothermal aging for 7 h allows ceramics density to increase by no more than 5...7%. Rapid shrinkage of

nanocrystalline powders at the nonisothermal sintering stage was already discussed in papers [16, 17] where the mechanism of mutual slipping of powder particles and compaction at the cost of recrystallization-induced grain growth are considered as the mass transfer mechanisms.

Analysis of shrinkage value dependences at the isothermal sintering stage (Fig. 4) reveals that the exponent  $n$  of the shrinkage kinetics equation where  $\Delta L/L$  is the relative shrinkage,  $K$  is the kinetic coefficient of the process rate, and  $n$  is the constant reflecting the compaction mechanism), first, is almost the same for the sintering regimes at homologous temperatures 0.56 and 0.63 and, second, exceeds a few times the exponent for the sintering regime at homologous temperature 0.63. This might result from the fact that at the stage of compact heating a strong matrix stable to further compaction at isothermal aging is formed. In this case, the higher the sintering temperature, the more stable the material to compaction at isothermal aging. The temperature gradient existing in compacts at heating evidently promotes the failure of barriers and displacement of powder particles, whereas the established thermodynamic equilibrium at isothermal aging hinders active displacement of particles.

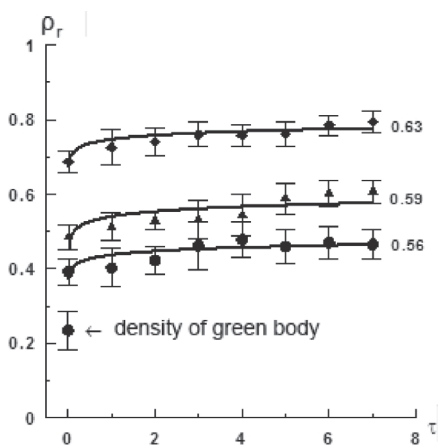


Fig. 4. Plots of relative density for samples sintered at different homologous temperatures

4. ábra A különböző időtartam hosszan homológ hőmérsékleten égetett minták relatív sűrűsége

By the dependence of the exponent  $n$  from the shrinkage kinetics equation on the shrinkage value  $\Delta L/L$  one can determine the value of  $n$  at which no shrinkage at all would occur at isothermal aging. Fig. 5 illustrates the obtained dependence. The experimental points with high correlation coefficient are approximated by a linear functional dependence by which one can easily define the heating temperature prior to isothermal aging, at which no compaction of ceramics would take place; this corresponds to temperature 1700°C. Certainly, at a varying density of sintered compacts the temperature of isothermal aging without compaction would be different. It is thus possible to govern the process of structure formation in ceramics both at the heating stage and isothermal aging stage as well as if it is necessary to obtain a developed porous structure in the material. The porous matrix formed during heating would provide porosity in the material, while isothermal aging would increase the strength of interparticle bond.

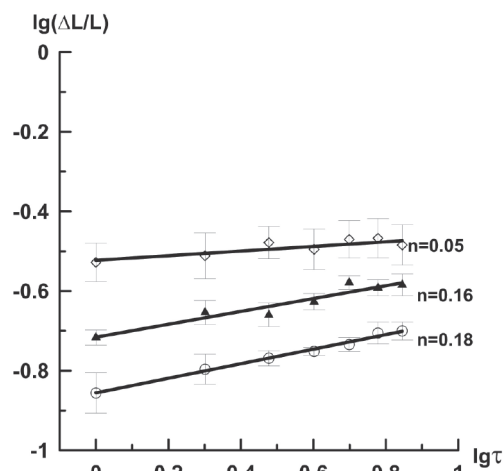


Fig. 5. Plots of exponent  $n$  of the shrinkage kinetics equation  
5. ábra Az  $n$  hatványkitevő értékének hatása a zsugorodás kinetikájára

As would be expected, the disaggregation of the powder led to an increase in the density of the ceramics produced from it (Fig. 6). The highest density was realized by the ceramic produced after milling the powder for 25 h, which ensured the lowest degree of aggregation. The density of that ceramic considerably exceeded that of ceramic samples produced from the as-prepared powder. The ceramic prepared from the powder consisting of spherical granules (after milling for 50 h) had considerable residual porosity both within and between the granules, even though the powder had the lowest bulk density. The ceramic produced after milling the powder for 5 h (the highest degree of aggregation) had the lowest density.

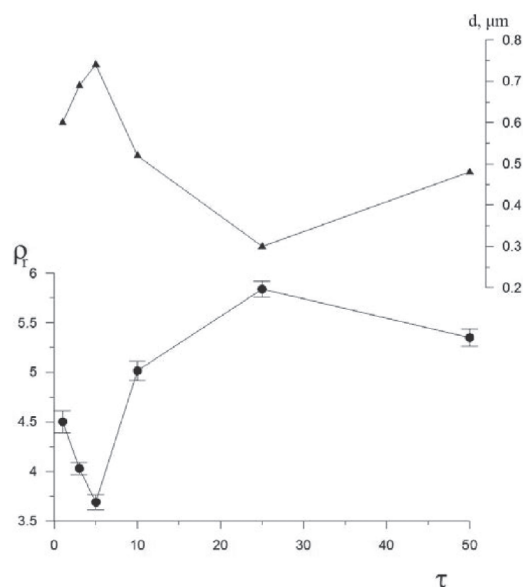


Fig. 6. The effect of milling time on the relative density and average grain size of ceramics produced from zirconia powders  
6. ábra Az őrlésidő hatása a cirkon-dioxid termékek relatív sűrűségére és szemcseméretére

Milling also influenced the grain size of the ceramics. The average grain size determined on fracture surfaces increased with an increase in the degree of aggregation during milling and decreased upon disaggregation. Owing to powder

disaggregation, we were able to reduce the grain size in the ceramics by almost a factor of 2 (Fig. 6): the average grain size in the ceramic produced from the unmilled powder was 0.6  $\mu\text{m}$ , and that in the ceramic produced after milling the powder for 25 h was 0.3  $\mu\text{m}$ .

Milling the ultrafine  $\text{ZrO}_2$ -3wt.%MgO powder markedly increased the strength of the ceramic produced from it. According to the three-point bending test results, the strength of the ceramic produced after milling the powder for 25 h was 640 MPa, exceeding that of the samples prepared from the unmilled fine powder by more than a factor of 2. Even though the ceramic produced from the powder reaggregated during milling had considerable residual porosity, its strength was comparable to that of the ceramic fabricated from the powder with the lowest degree of aggregation and its density was higher.

#### 4. Conclusions

The structure and phase composition of zirconia-based nanosystems was studied. The present results demonstrate that, during low-energy milling in a tumbling mill, ultrafine  $\text{ZrO}_2$ -3wt.%MgO powder prepared by decomposing liquid precursors in an HF-plasma undergoes first aggregation and then disaggregation. Powder disaggregation during milling leads to an increase in the density, a reduction in the grain size, and a marked increase in the strength of the ceramics produced from the powder. The morphological structure of ultrafine-grained  $\text{ZrO}_2$  powder as well as its variation under mechanical activation, compaction and annealing was investigated. It was shown that in the course of mechanical activation the given nanosystems are divided into two subsystems with the average size of structural elements differing by two orders of magnitude. The fraction of a quasi-amorphous (X-ray amorphous) phase therewith increases. This enables purposeful variation of the characteristics of sintered materials.

It was shown that through heating rate variation at sintering of such a nanosystem one can purposefully vary its shrinkage at the isothermal sintering stage. The higher the sintering temperature, the slower the compaction process at the isothermal stage. This allows producing materials with various porosity values but high strength of sintered material.

#### References

- [1] Kulkov, S. N. – Buyakova, S. P.: Phase Composition and Structural Evolution of Nanocrystalline  $\text{ZrO}_2$ , *Russ. Nanotekhnol.*, 2007, n.1-2, pp. 119-132.
- [2] Gusev, A. I. – Rempel, A. A.: Nanokristallicheskie materialy (Nanocrystalline Materials), *Moscow: Fiz-matlit*, 2001.
- [3] Orosz, V. – Gömze, A. L.: Effect of ceramic additives on mechanical properties of alumina matrix composites, *Int. J. Microstructure and Materials Properties*, 2012, vol. 7, no. 2/3, pp. 205-219
- [4] Gömze, A. L. – Gömze, L. N.: Hetero-modulus alumina matrix nanoceramics and CMCs with extreme dynamic strength, 2011 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **18** 082001 <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/18/8/082001>
- [5] Trusova, E. A.: Obtaining of Ultradispersed and Mesoporous Raw Products by Wet and Combined Methods, 2013 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 47 012043 <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/47/1/012043>
- [6] Kulkov, S. N. – Grigoriev, M. V.: Sintering of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ceramics based on different sizes powders. *Építőanyag*, 2010, vol. 62., no.3, pp. 66-69. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2010.13>
- [7] Chu H. L. – Wang C. L. – Lee H. E. – Sie Y. Y. – Chen R. S. – Hwang W. S. – Wang M. C.: Effect of sintering process parameters on the properties of 3Y-PSZ ceramics, 2013 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 47 012005 <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/47/1/012005>
- [8] Kalatur E. S. – Kozlova A. V. – Buyakova S. P. – Kulkov S. N.: Deformation behavior of zirconia-based porous ceramics, 2013 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 47 012004 <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/47/1/012004>
- [9] Boldyrev V. V.: Mechanochemistry and Mechanical Activation of Solids, *Usp. Khim.*, 2006, vol. 75, no. 3, pp. 203-216.
- [10] Zhang S. C. – Messing G. L., *J. Amer. Ceram. Soc.*, 1990, vol. 73, no. 1, pp. 61-67.
- [11] Dubois B. – Ruffier D. – Odier Ph., *J. Amer. Ceram. Soc.*, 1989, vol. 72, no. 4, pp. 713-715.
- [12] Buyakova S. P. – S. N. Kulkov, *Inorganic Materials*, 2010, vol.46, No.10, pp.1155-1158.
- [13] Gömze A. L.: Mechanochemical Phenomena during Fine Comminution of Clay Minerals for Ceramic Bricks and Roof-Tiles, 2010 *Mater. Sci. Forum* 659 19 <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.659.19>
- [14] Gömze A. L. – Gömze L. N.: Alumina-based hetero-modulus ceramic composites with extreme dynamic strength – phase transformation of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  during high speed collisions with metallic bodies, 2009 *Építőanyag*, vol. 61, no.2, pp.38-42, <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2009.7>
- [15] Ainabayev A. – Arkhipov M. – Baideldinova A. – Omarova K. – Ksandopulo G.: Out-of-Furnace Synthesis of High-Temperature Ceramic Materials in the Revolving Reactor, 2013 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 47 012044 <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/47/1/012044>
- [16] Nikitin D. S. – Buyakova S. P. – S. N. Kulkov, *Inorganic Materials*, 2004, vol.40, No.7, pp.869-872.
- [17] Gömze, A. L. – Gömze, L. N. – Egész, Á. - Ojima, F. 2013 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 47 012030 <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/47/1/012030>

#### Ref.:

Kulkov, S. – Buyakova, S. – Gömze, L.: *Structure and mechanical properties of  $\text{ZrO}_2$ -based systems*  
 Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials,  
 Vol. 66, No. 1 (2014), 1–6. p.  
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.1>

#### ZrO<sub>2</sub> anyagrendszerek szerkezete és mechanikai tulajdonságai

Jelen dolgozat a cirkon-bázisú nano-anyagrendszerek szerkezeti struktúrája, fázisösszetétele és mechanikai tulajdonságai közötti összefüggéseket tanulmányozza. A kapott eredmények azt mutatják, hogy ezek a nano-anyagrendszerek a mechanikai aktiválás során jól elkülönülő két alrendszerre oszthatók az átlagos szemcseméret nagysága alapján; amelyek akár két nagyságrenddel is eltérhetnek egymástól a különböző szerkezeti elemek két nagyságrenddel. A finom frakció arányának növekedésével megnő a kvázi-amorf (röntgen amorf) fázis mennyisége, aránya. Az ilyen nano-szerkezetű anyagrendszerek szinterelése során változó felfűtési sebességek esetén is az előzetes igényeknek megfelelően az izotermikus szakaszban jelentős mértékben befolyásolható – szabályozható – a szinterelési zsugorodás mértéke. A vizsgálatok során kapott eredmények jól mutatják, hogy a fűtési sebesség változtatásával az ilyen nano-szerkezetű anyagrendszerekben céltudatosan változtatható a zsugorodás a szinterelés izoterm szakaszában. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy minél magasabb a szinterelési hőmérséklet, annál lassabban megy végbe a zsugorodás az izoterm szakaszban. Ennek megfelelően kívánt – akár jelentős – porozitású, ugyanakkor nagy mechanikai szilárdságú nano-szerkezetű szinterelt  $\text{ZrO}_2$  kerámiák állíthatók elő ezzel a nyersanyag előkészítési és hőkezelési módszerrel.

# Betonacél tapadása különböző könnyű adalékanyagok alkalmazása esetén

**NEMES RITA, PhD** ■ BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék ■ nemes.rita@gmail.com

**TÖRÖK BÁLINT** ■ Jakem AG Stahlbau Fassadenbau ■ balint.toeroek@gmail.com

Érkezett: 2014. 02. 02. ■ Received: 02. 02. 2014. ■ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.2>

## Bond of steel reinforcement in different lightweight aggregate concretes

Nowadays both concrete and reinforcing steel are of significant interest in research and development, including the question of bond between concrete and reinforcing materials. Steel bars and non metallic bars are studied in details, but the composition of the concrete is rarely investigated as a varying parameter. Earlier literature data discussed only compressive strength grade up to B200 (cca. LC12-LC16). Many recent publications mainly compare the bond strength with only concrete strength grade, and do not examine the type of aggregate. Our research focused on the bond between lightweight aggregate concrete (LWAC) and deformed steel bar (BSt 500 S) with standard pull-out test. The variable parameter was the type of aggregate: expanded clay gravel and sand, expanded glass gravel, crushed ceramic brick gravel and sand, as well as natural quartz gravel and sand for reference. The compressive strength of lightweight aggregate concrete is lower than the compressive strength of a normal weight concrete with the same cement and water content and same volume of aggregate. Our experiments resulted that the ratio between bond strength and compressive strength is not significantly different in case of lightweight aggregate concrete compared to normal weight concrete. In case of full lightweight aggregate content (as fine and coarse aggregate) this ratio can be higher than that of normal weight concrete.

Keywords: concrete, bond, lightweight aggregates, pull-out test

Kulcsszavak: beton, tapadás, könnyű adalékanyagok, kihúzó vizsgálat

## 1. Bevezetés

Napjainkban mind a betonok mind a betonacélok (vagy az azt helyettesítő nem acél anyagú betétek) területén jelentős kutatás folyik. Minden esetben fontos kérdés a beton és a betonacél együttdolgozása. Ez részletesen kutatott terület különleges acélbetétek és nem acél anyagú betétek esetén [1],[2], különleges körülmények között is [3],[4], de a hagyományostól eltérő beton alkalmazásának hatása a betonacélok tapadására kevésbé ismert. A betonacélok viselkedését könnyűbetonokban, elsősorban a különböző betonacélok szempontjából vizsgálták. A korábbi részletes szakirodalmi adatok pedig csak B200-ig (~LC12~LC16-ig) foglalkoztak a különböző könnyűbetonok és betonacélok tapadásra, kapcsolati feszültségre vonatkozó hatásával [5]. Az újabb publikációk is elsősorban nyomószilárdsági szempontok szerint hasonlítják össze a viselkedést [6], és az adalékanyagok fajtájára vonatkozóan nem találtak szakirodalmi adatokat. Jelen vizsgálatunkban erre koncentráltunk.

A vasbeton ideálisnak feltételezett mechanikai viselkedésénél a húzó- és nyomóerő felvétele külön történik: a beton csak nyomóerőt vesz fel, míg a betonacél csak húzóerőt, így az együttdolgozásuk alapvető feltétel. Ezen túlmenően, hogy a használhatósági és teherbírási határállapotokat le tudjuk ellenőrizni, ismernünk kell a két anyag között kialakuló kapcsolati erőket, és azok határait. Ezek az együttdolgozást biztosító erők számos tényezőtől függnek, mint a betonacél minősége, a szilárdsága, alakváltozási képessége és bordázatának kialakítása (alak, felület); a beton minősége, a bebetonozott hossz, stb. Ezek számos kombinációja teszi nagyon nehezen általánosíthatóvá a kialakuló kapcsolati erőt. Így nagyon sok kutatásra,

kísérletre van szükség, míg általános érvényű szabályokat tudunk alkotni ebben a témakörben. Ugyanakkor a speciális esetekre ezeket külön ellenőrizni kell. Ilyen speciális eset például a könnyűbeton. A könnyűbetonokat teherhordó szerkezetként is egyre gyakrabban alkalmazzuk az egyre nagyobb szilárdságuknak köszönhetően, ehhez viszont szükséges az adalékanyagok könnyűbeton és a betonacél együttdolgozásának részletes ismerete.

## 2. Irodalmi áttekintés

### 2.1. A beton és a betonacél kapcsolata

A beton és a betonacél kapcsolata a vasbeton működésének meghatározó tényezője. A két összetevő között együttdolgozás jön létre, ami nem más, mint a határfelületen kialakuló kapcsolati erő. Az együttdolgozás a mechanikai hatások összegeként áll elő. A vasbeton és könnyűbeton tartók teherbírásának feltétele, hogy az acélbetét a betonban ne csússzon meg. Ezt segíti a betonacél bordázata is. A tartókban a terhelés hatására a betonacél behúzódása, a megcsúszás mindig a végeken jelentkezik, és a terhelés növelésével egyre beljebb terjed. Így statikai szempontból elsősorban az acélbetétek végeinek megfelelő lehorgonyozódását kell biztosítanunk. Az alapvető kérdés, hogy milyen hosszra kell az acélbetétet a betonba beágyazni, hogy az általa felvehető húzóerőt a felületén, tapadófeszültség révén a betonnak biztonságosan átadhassa. A repedésmentes vasbeton, illetve a vasalt könnyűbeton elemekben elhelyezett acélbetét és a beton együttdolgozását az  $\epsilon_c = \epsilon_s$  feltételezés alapján számíthatjuk (ahol  $\epsilon_c$  a beton, míg  $\epsilon_s$  az acélbetét fajlagos alakváltozása). Az egyenlet szerint az azonos fajlagos alakváltozás következtében az acélbetét környezetében a beton

**Dr. Nemes Rita**

Okl. építőmérnök, PhD, egyetemi adjunktus a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén. Fő érdeklődési területei: könnyűbeton összetételének tervezése, könnyűbeton szerkezetek tervezése. A fib Magyar Tagozat tagja. Az SZTE Beton Szakosztály tagja.

**Török Bálint**

Okl. építőmérnök, statikus, projektvezető, Jakem AG Stahlbau Fassadenbau, Zürich. Fő érdeklődési területei: magasépítési szerkezettervezés-optimalizálás, acélszerkezetek, mélyépítési vasbetonszerkezetek viselkedése különböző járműterhekre.

a beágyazott betonacélokkal együtt nyúlik. Az együttlalmozást a beton és az acélbetét érintkező felületein kialakult kapcsolat biztosítja. Ezt a kapcsolatot általánosságban tapadásnak hívjuk. Ez a jelenség egymást követő állapotokból, tényezőkből áll [7]. A kezdeti, vagy adhéziós állapot, a betonban lévő cementnek az acélbetét felületén kialakuló, részben fizikai, részben kémiai kapcsolata alapján jön létre. Ebben az állapotban az acélbetét és a beton egymáshoz képest relatív elmozdulás nélkül együtt változtatja az alakját. A növekvő terhelés hatására az adhéziós állapot megszűnése következtében az acélbetét és a beton közötti elmozdulás linearitása megszűnik. A betonba ágyazott betonacélnak – teljes hossza mentén sértetlen adhéziós kapcsolat esetén – a feltámaszkodási pontban az elmozdulása a terhelőerővel arányos.

A tulajdonképpeni tapadás (nekitámaszkodás) jelensége az adhéziós és a súrlódási tapadást egyaránt előnyösen fokozza. Az érintkező felületek – elsősorban az acélbetét – felületi érdessége, azaz az acélbetét felületéből kiálló bordák nyomást gyakorolnak az érintkező betontestre, ezért a kapcsolati erő növekszik.

A felhasadás akkor következik be, ha a betonacél relatív bordafelülete túl nagy, vagy nem megfelelő nagyságú a betonfedés. Ellenkező esetben, a kapcsolati erőket a beton a fogak feltámaszkodásával veszi fel egészen a szétmorzsolódásig, amikor is a betonfogak elnyíródnak. Ez a pont a kapcsolati feszültség maximum pontja. Ezután a relatív elmozdulás folyamatos növekedése mellett a súrlódás által még van együttlalmozás, de ez nem jelent nagy erőket [8].

## 2.2. Együttlalmozást befolyásoló tényezők

Ha a beton húzószilárdságának kimerülése a mértékadó tönkremenetel, akkor a betontest felhasad. A szakirodalomban sok erre irányuló kísérlet alapján kijelenthető, hogy a beton húzás során kialakuló *képlékenyedése*, vagy *puhulása* a kezdeti mikrorepedések következménye. Amikor a betonban mikrorepedések jönnek létre, akkor a betonacél bordázataról a nyomóerő koncentráltan adódik át a betonra, ekkor a beton nyomószilárdsága is meghatározó tényező. A kapcsolati erők átadása szempontjából meghatározó tényező a betonacél felülete. A hatás a fajlagos bordafelülettel ( $\alpha_{sb}$ ) jellemezhető.

$$\alpha_{sb} = \frac{k \cdot F_R \cdot \sin \beta}{\pi \cdot \phi \cdot c_s} + \frac{i \cdot a_1}{j \cdot \phi} \quad (1)$$

ahol

$F_R$  – az acélbetét bordamentén vett keresztmetszeti területe

$a_1$  – az acélbetét hosszanti bordamagassága

$c_s$  – a távolság a keresztbordák között

$i$  – a bordák száma

$j \cdot \phi$  – a hosszanti csavart borda hossza

$k$  – a keresztbordák száma az acélbetét kerülete mentén

$\beta$  – dőlésszög a bordázat és az acélbetét hosszanti tengelye között

$\phi$  – névleges átmérő

Ahogy növekszik a relatív bordafelület úgy nő lineárisan a tapadás erőssége. A tapadás erősödésével csökken a csúszás mértéke. Az  $\alpha_{sb}$  értékét célszerű 0,05 és 0,08 között tartani. A felhasadás veszélye is nő mindezek mellett, ha az  $\alpha_{sb}$  értéke

növekszik. Fontos tényezők a tapadás vizsgálatának szempontjából [9]:

- a betonacél helyzete a vizsgálat során,
- a beton összetétele,
- az adalékanyag legnagyobb szemmagysága,
- a szabad acél felület,
- az egy síkban lévő betonacélok száma,
- a terhelés módja és mértéke.

## 2.3. Könnyűbetonok

A 2000 kg/m<sup>3</sup>-nél kisebb száraz testsűrűségű betonokat nevezzük könnyűbetonoknak. A betonok testsűrűségét kétféle módon csökkenthetjük, vagy a cementkő vagy az adalékanyag porozításának növelésével. Ha a hagyományos adalékanyagokhoz képest nagyobb porozítású, így kisebb testsűrűségű adalékanyagot alkalmazunk, akkor adalékanyagos könnyűbetonról beszélünk. A cementkő-vázuk, a hagyományoshoz képest általában kisebb víz-cement tényezőjű, jól tömörített, a beton rendszerint túltelített, tehát vasalhatók. Készíthetők tartószerkezeti, sőt akár nagyszilárdságú könnyűbetonok is. A leggyakrabban alkalmazott könnyű adalékanyag a duzzasztott agyagkavics, de egyéb duzzasztott termékek vagy aprított tufák is előfordulnak. Hulladékokat, pl. bontott téglát vagy bontott pórusbeton törmelékét is lehet alkalmazni [10]. Az adalékanyag fajtája (anyaga és teherbíró képessége) alapvetően befolyásolja könnyűbeton teherviselési módját, a húzó- és nyomószilárdság arányát [11].

## 2.4. Kihúzókísérletek

A betonacél tapadásának vizsgálatára számos módszert dolgoztak ki, amelyek két fő csoportra oszthatók [12]. A leggyakoribb módszer az egyszerű kihúzás. A betonacélt központosan kell bebetonozni a próbatestbe, és az előre megválasztott terhelési sebességgel és móddal kihúzni azt. Az erőt a betonacélra fejtjük ki, és az veszi fel az összes terhet. Ennél a vizsgálati módszernél mindenképp egytengelyű tiszta húzással kell terhelnünk a betonacélt, hogy a feszültség is egytengelyű legyen, különben nem a kihúzóerőt mérjük, hanem többtengelyű feszültségállapot következtében a próbatestünk felhasadhat. Ennél a kísérleti módnál a beágyazási hossz megválasztása is nagyon fontos, a maximális és minimális kapcsolati feszültségek aránya annál kisebb, minél kisebb a beágyazási hossz. A beágyazási hossz csökkentésének a betonacél bordázati kiosztása szab határt, így az ajánlott beágyazási hossz legalább 3Ø értékűre vehető fel, amely több kísérlet során is optimálisnak adódott. További, ritkán alkalmazott kihúzóerőkísérlet típusokat is említ a szakirodalom; például cél lehet az acélbetét hosszirányú nyúlásának mérése is. Olyan gerendakísérleteket is végeztek, ahol a külső teher nem közvetlenül a vasalásra hatott [6].

## 3. Laboratóriumi kísérletek

### 3.1. A kísérletek célja

A kísérleteink során az együttlalmozást vizsgáltuk a betonacél és a könnyűbetonok között. A kihúzóerőkísérletek közül az egyszerű kihúzás mellett döntöttünk. Állandó paraméter

volt a betonacél minden jellemzője: BSt 500 S minőségű Ø12 mm-es névleges átmérőjű bordázott betonacél. Változó paraméter a könnyűbeton adalékanyaga volt. A vizsgálatokat két eltérő korban, 7 napos és 28 napos korban, végig víz alatti tárolást követően végeztük el. Henger alakú beton próbatestet alkalmaztunk, amelynek előnye a kocka alakú próbatesthez képest, hogy konstans betonfedést biztosít, ezzel is pontosítva a kísérletet (1. ábra). A szakirodalom alapján a henger magasságát 10 cm-nek választottuk, amelyből 4 cm a beágyazási hossz, és 6 cm a szabad rész.



1. ábra A felhasított próbatesten jól látszik a bebetonozott és tapadásmentes acélhossz  
Fig. 1. Bonded and debonded lengths are clearly visible on the split specimen

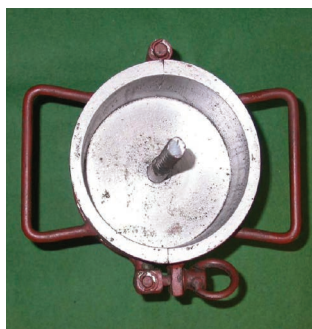
### 3.2. A kísérlet leírása

Speciálisan a kísérletekhez készített sablonokat használtunk (2. és 3. ábra). A kísérletek végrehajtásánál a 4. ábrán látható összeállítást alkalmaztuk. Egy acél terhelőkeretet szereltünk be a szakító gépbe. Az alsó és a felső fedéllapon is volt egy furat a betonacél számára. A keret függőleges helyzetét az alsó rögzítésnél lévő csuklóval értük el. A terhelőkeretben úgy helyeztük el a próbatestet, hogy a betontest egyik véglapja közvetlenül a felső fémlapra támaszkodott. Ezután befogtuk az acélszál felső végét, és az alsó végére rögzítettük az elmozdulásmérő szerkezetet, amelynek útadóit a betontest másik véglapjára ragasztottuk. A vizsgálat során a kerethez alulról csuklósan csatlakozó acélszárat húztuk lefelé, amelybe egy erőmérő volt beépítve. Így gyakorlatilag a keret nekifeszült a betonrésznek, és azt húzta lefelé a rögzített betonacélhoz képest. Az így kivitelezett vizsgálat során, szabályos próbatest esetén, egyenletesen felfeküdt a kihúzókeret, a betonacél kihúzódott, és mind az erő, mind az elmozdulásokat tudtuk mérni a kísérlet során.

A betonösszetétel volt a fő változó paraméter. Az összetevők térfogatos aránya megegyezett. Az adalékanyagok fajtáját változtattuk meg, ezzel együtt a könnyű adalékanyagok szilárdságának függvényében a beton szilárdsága is változott. Az etalon (1) kvarckavics és kvarchomok helyett a durva frakciót duzzasztott agyagkavicsal (3) és duzzasztott üveggavicsal (4) helyettesítettük és készítettünk egy keveréket (2) ahol a teljes adalékanyagot duzzasztott agyagkavicsal helyettesítettük és hasonlóan teljes egészében csak téglázualék adalékanyaggal (5) is készítettünk könnyűbetont.



2. ábra Az alkalmazott acélsablon összeszerelt állapotban  
Fig. 2. Steel mould ready for concreting



3. ábra Acélsablon felülnézete  
Fig. 3. Top view of the steel mould



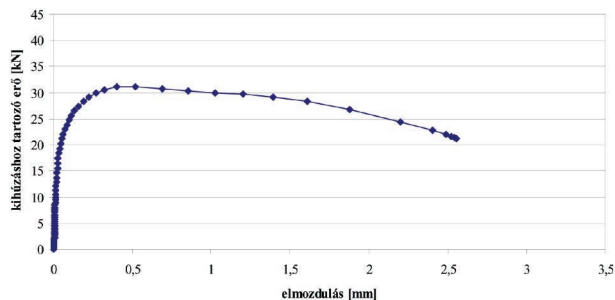
4. ábra Az alkalmazott acélkeret a kihúzáshoz  
Fig. 4. Loading frame for the pull-out tests

Az adalékanyagok fajtája összetételenként:

- 1) kvarckavics (4/16) és természetes kvarchomok (0/4),
- 2) duzzasztott agyagkavics és homok (Liapor HD (5N) 4/16 és Liasand 0/8),
- 3) duzzasztott agyagkavics (Liapor HD (5N) 4/16 és természetes kvarchomok 0/4),
- 4) duzzasztott üveggavics (Geofil (800) 2/10 és természetes kvarchomok (0/4),
- 5) zúzott tégl (0/20).

Könnyű adalékanyagok esetén az elméleti víz-cement tényezőhöz képest – az adalékanyag félórás vízfelvételének megfelelő – többlet vízzel dolgoztunk és a folyósító adalék-szer adagolás is az adalékanyag függvényében változott, hogy azonos konzisztencia mellett tudjuk bedolgozni. A kihúzó próbatestek mellett készítettünk kocka próbatesteket is nyo-

mószilárdság vizsgálathoz. Ezek 70 mm élhosszúságú kockák voltak, tehát nem a szabványos szilárdságot határoztuk meg, de a vizsgált összetételek szilárdsági összehasonlításra alkalmasak. Minden esetben egy kihúzó és egy kocka próbatest készült. Egy receptúrából 3-3 db mindkét vizsgálati korban. A kihúzás során mértük a betonacél elmozdulást az útdó segítségével a betonhengerhez képest és a reakcióerő értékét. Az értékeket folyamatosan megjelenítettük számítógépen. A kapott eredményt minden egyes esetben diagramon ábráztuk az 5. ábrán látható módon.



5. ábra (2) jelű összetétel (duzzasztott agyagkavics és homok adalékanyaggal) erő-elmozdulás diagramja 28 napos korban (B24 jelű próbatest)  
Fig. 5. Load-displacement diagram for 28 days of age specimen (expanded clay and sand aggregate, (2) mixture, B24 specimen)

A diagram első szakaszában nem történik elmozdulás, a tapadást az adhéziós erő biztosítja, azaz a cement fizikai, részben kémiai kötése. Majd amikor a berepedt betonba az acélfogak belekapaszkodnak, a betonacél elkezd erőt felvenni, közben folyamatosan nő a relatív elmozdulás értéke a betonhoz viszonyítva, ez mintegy lineáris növekedést mutat. Amikor a betonfogak elnyíródnak, a betonacél nem képes nagyobb erőt felvenni, és kihúzódik a betonból. Ez a diagramon a maximális erő értékénél jelenik meg, ahonnan kezdve a betonacél által felvett erő folyamatosan leépül.

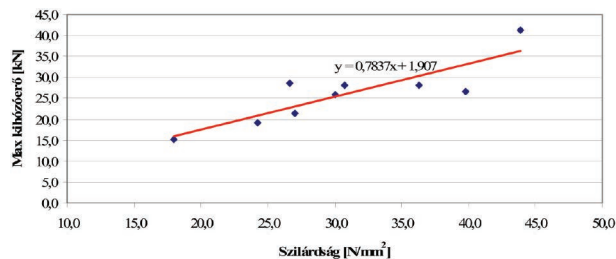
A kihúzás során igyekeztünk a lehető legkisebb terhelési sebességet alkalmazni, hogy ez ne befolyásolja a maximális kihúzóerő értékét. Ha nagyobb sebességgel terheltük a próbatestet, akkor sokkal nagyobb maximális erőt kaptunk eredményként, ám ekkor nem kihúzásra ment tönkre a hengerünk, hanem a legtöbbször felhasadt. A vizsgálatok során az erő-elmozdulás diagramok a fent leírtak szerint alakultak az összes esetben, csak a maximális erő értéke változott.

## 4. Eredmények

### 4.1. A szilárdság és a maximális kihúzóerő kapcsolata

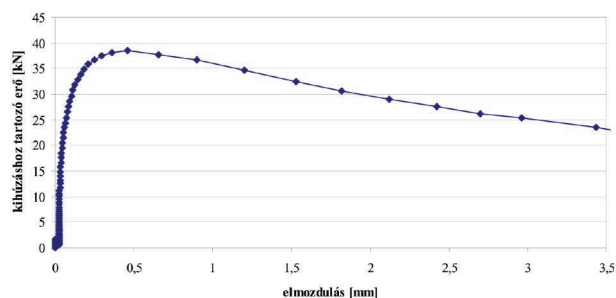
A nyomószilárdság és a maximális kihúzóerő értékelésekor a kapott kihúzóerő és nyomószilárdsági értékek átlagát vettük egy anyagra és korra vonatkoztatva, és azokat ábráztuk egymáshoz képest. A nyomószilárdság és a kihúzóerő kapcsolata lineárisan közelíthető, minél nagyobb a szilárdság, annál nagyobb a kihúzáshoz szükséges erő. A mérési eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze. Ez elsősorban az adalékanyagok közötti különbségre ad összefüggést, mert a cementkőváz mennyisége és szilárdsága azonos mindegyik vizsgált betonösszetétel esetén. Általános összefüggésként elmondható, hogy a nyomószilárdság növekedésével a kapcsolati erő lineárisan nő (6. ábra).

A 2. táblázatban közölt eredmények mutatják, hogy bár könnyűbetonok esetén kisebb nyomószilárdságot kaptunk a hagyományos betonhoz képest, és így természetesen a kihúzóerő is kisebbre adódott, azonban a kihúzóerő a nyomószilárdsághoz viszonyítva a könnyűbetonok esetén nem csökken. Ha csak az adalékanyag durva frakcióját cseréljük könnyű adalékanyagra, akkor a szilárdságok aránya közel azonos, mint normál betonnál, ha viszont a teljes adalékanyag mennyiség könnyű (2 és 5 jelű keverék), akkor a kihúzóerő a nyomószilárdsághoz viszonyítva nagyobb.

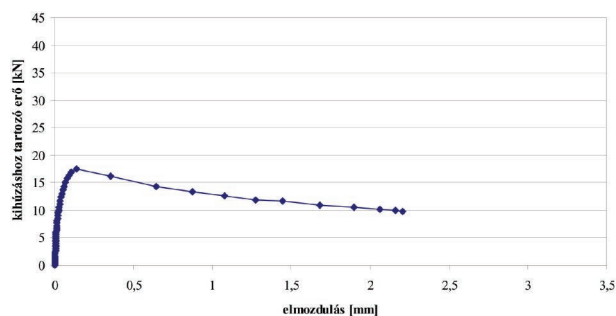


6. ábra A nyomószilárdság és a maximális kihúzóerő kapcsolata  
Fig. 6. Relationship between compressive strength and maximum pull-out force

Diagramon ábrázolva a kapott eredményeket alapvetően két különböző alakot kapunk. A duzzasztott üveggavics és természetes homok adalékanyaggal készített beton esetén kívül mindig egy rövid lineáris szakasz után (a maximális erő eléréséhez tartozó elmozdulás kb. 10%-ig), a maximális erő eléréseig nagy elmozdulások zajlanak le (a teljes kihúzóerőhöz tartozó elmozdulás kb. 50%-a), és ez már parabolikus jellegű. Ezután a teljes kihúzóerő jelenségéig az erő értéke alig változik (7. ábra).



7. ábra (1) jelű- etalon- összetétel (természetes kvarckavics és homok adalékanyaggal) erő-elmozdulás diagramja 28 napos korban (B5 jelű próbatest)  
Fig. 7. Load-displacement diagram for 28 days of age specimen (natural quartz gravel and sand aggregate, (1) reference mixture, B5 specimen)



8. ábra (4) jelű összetétel (duzzasztott üveggavics és természetes homok adalékanyaggal) erő-elmozdulás diagramja 28 napos korban (B35 jelű próbatest)  
Fig. 8. Load-displacement diagram for 28 days of age specimen (expanded glass and quartz sand aggregate, (4) mixture, B35 specimen)

A duzzasztott üvegvadics és természetes homok adalékanyagú betonoknál ettől eltérő viselkedést tapasztaltunk. Erre az volt a jellemző, hogy a terhelés elején az erő és az elmozdulás között majdnem a teljes maximális erő felvételéig lineáris kapcsolat állt fenn, majd a kihúzóerő elérése után az erő nem állandósult a teljes kihúzóerőig, hanem kis mértékben ugyan, de csökkent. A kihúzóerő maximuma kis elmozdulás mellett jelentkezett (0,1-0,15 mm) és mintegy a lineáris szakasz végét jelentette. Ebben az esetben tehát sokkal ridegebb kihúzóerővel van dolgunk (8. ábra).

#### 4.2. A könnyű adalékanyag hatása a tapadásra

A kiértékelés során külön foglalkoztunk a duzzasztott agyagkavics és duzzasztott homok, illetőleg a duzzasztott agyagkavics és a természetes homok adalékanyaggal készített betonok eredményeinek a kapcsolatával. Azt vártuk, hogy a természetes homokkal készített beton nyomószilárdsága nagyobb lesz, ezért is készítettük el ezt a keveréket. Ez be is igazolódott (28 napos korban vizsgálva; ld. 1. táblázat).

Adalékanyag	Kor [nap]	Törőerő [kN]	Szilárdság [N/mm <sup>2</sup> ]	Max. kihúzóerő [kN]	Arány (Kihúzóerő/Törőerő) [%]
kvarckavics és kvarchomok (1)	7	190,5	39,8	26,6	14
	28	226,3	43,9	43,0	19
duzzasztott agyagkavics és homok (2)	7	80,3	16,2	25,9	32
	28	136,1	26,7	28,6	21
duzzasztott agyagkavics és term. homok (3)	7	123,3	24,3	19,0	15
	28	184,1	36,3	28	16
duzzasztott üvegvadics és term. homok (4)	7	90,1	18,0	15,1	17
	28	136,8	27,0	21,4	16
téglaüzalék (5)	7	157,9	30,7	28,1	18
	28	166,9	33,7	34,5	21

1. táblázat A nyomószilárdság és a kihúzóerő aránya a különböző összetételeknél  
Table 1. Ratio of compressive strength and pull-out load for the compositions tested

A szilárdság és a maximális kihúzóerő kapcsolata alapján azt is várhatnánk, hogy a növekvő szilárdsági értékhez nagyobb kihúzóerő is tartozik. Ez a várakozásunk viszont nem igazolódott be. A teljes mértékben könnyű adalékanyag betonhoz nagyobb kihúzóerő tartozott, különösen 7 napos korban. Ekkor megvizsgáltuk a másik, csak könnyű adalékanyagot tartalmazó betont, a téglazúalék adalékanyaggal készítettet, és ehhez szintén magas kihúzóerő érték tartozott (1. táblázat). Így a vizsgálatok alapján feltételezhető, hogy a könnyű homokok alkalmazása kedvezően hat a beton és a betonacél együttműködésére.

A kort, mint változó tényezőt tekintve megállapíthatjuk, hogy a 28 napos vizsgálatoknál nagyobb kihúzóerőt tapasztaltunk, mint a 7 napos próbatesteknél. A betonszilárdság növekedésével, ahogy ez várható is volt, a beton és a betonacél közötti

tapadás is erősödik. A legjelentősebb növekedést a duzzasztott agyagkavics adalékanyag betonnál tapasztaltuk. Általánosan elmondható, hogy a kihúzóerő nagyobb mértékben növekedett, mint a nyomószilárdság (2. táblázat).

	Nyomószilárdság 28d/7d	Kihúzóerő 28d/7d
kvarckavics és homok	1,10	1,46
duzzasztott agyagkavics és homok	0,89	1,10
duzzasztott agyagkavics és természetes kvarchomok	1,50	1,48
duzzasztott üvegvadics és természetes kvarchomok	1,50	1,42
téglaüzalék	1,09	1,23

2. táblázat A nyomószilárdság és a maximális kihúzóerő arányának alakulása a 7. ill. 28 napos korban

Table 2. Time development of the ratio of compressive strength and pull-out load (7 and 28 days)

## 5. Összefoglalás

A kutatásaink során a beton és a betonacél együttműködését vizsgáltuk különböző könnyűbetonokban. A változó paraméter a beton összetétele, elsősorban az adalékanyag típusa volt (alkalmaztunk: duzzasztott agyagkavicsot, duzzasztott üvegvadicsot és téglazúalékot könnyűbeton esetén, illetve kvarckavicsot etalonként), egy adott típusú (BSt 500S jelű) betonacéllal. A kihúzóerő kísérlet módja, a betonacél típusa és az utókezelés módja állandó tényezőként szerepelt. A betonacélokat henger alakú próbatestekbe központosan betonoztuk be. Kihúzó kísérleteket végeztünk, közvetlenül erre a célra készített kísérleti összeállításban, ügyelve arra, hogy a beton próbatestben csak tiszta nyomás keletkezzen. A kihúzás során mértük az erőt és a betonacél elmozdulását, és ezeket az adatokat folyamatosan ábrázoltuk. A kísérletsorozat során összesen ötféle könnyűbetont vizsgáltunk 7 ill. 28 napos korban.

A kihúzóerők összehasonlításakor megállapítható, hogy a legnagyobb kihúzóerő az etalon (kvarckavics adalékanyag) betonhoz tartozott, majd sorrendben utána következett a téglazúalék adalékanyag beton, a duzzasztott agyagkavics és duzzasztott homok, majd a duzzasztott agyagkavics és természetes homok adalékanyagú és végül a duzzasztott üvegvadicsal és természetes homokkal készített beton.

A maximális erőhöz tartozó elmozdulás a normál betonnál volt a legnagyobb, 1,0 mm, a többi esetben 0,5 mm alatti értékeket kaptunk. A duzzasztott üvegvadics és természetes homok adalékanyaggal készült betonnál ez az érték nagyon kicsi volt (0,1 mm alatti), itt rideg kihúzóerő zajlott le.

A kihúzóerőhöz tartozó erő-elmozdulás diagramok kétféle alakúak voltak: az általános és a ridegebb tönkremenetelhez tartozó görbék. Kis elmozdulás mellett kialakuló maximális erő a duzzasztott üvegvadics és természetes homok adalékanyagú betonnál fordult elő, de az ehhez tartozó kihúzóerő volt a legkisebb.

## 6. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a Duna-Dráva Cement Kft.-nek, a Liabau Kft.-nek és a Geofil Kft.-nek, hogy biztosították számunkra a kísérletekhez szükséges alapanyagokat.

### Irodalomjegyzék

- [1] Tefpers, R. (2004) Bond clause proposal for FRP-bars/rods in concrete based on CEB/PIP Model Code 90 with discussion of needed tests, Report 04:2 Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden
- [2] Borosnyói A. (2013) Betonszerkezetek korrózióállóságának biztosítása innovatív, szálerősítéssel polimer (FRP) anyagokkal. *Építőanyag-JSBCM*, 65. évf. 1. szám, pp. 26–31.  
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.6>
- [3] Lublőy É. – Borosnyói A. – Bánki T. – Balázs L. Gy. (2002) Bond of CFRP prestressing bars under elevated temperature. *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Bond in Concrete – From Research to Standards*, Eds.: Balázs, Bartos, Cairns, Borosnyói, 20-22 November 2002, Budapest, pp. 685–691.
- [4] Borosnyói A. (2010) Szénszálalás polimer (CFRP) feszítőbetétek tapadása betonban – többparaméteres laboratóriumi vizsgálatok. *Építés-Építéstudomány*, 38. évf. 1-2. szám, pp. 95–120.  
<http://dx.doi.org/10.1556/EpTud.38.2010.1-2.5>
- [5] Litrai T. – Tobiás L. (1965) Tanulmány – Betonacélok könnyűbetonokban, *Építéstudományi Intézet*, Budapest
- [6] Chen, H. J. – Huang, C. H. – Kao, Z. Y. (2004) Experimental investigation on steel-concrete bond in lightweight and normal weight concrete. *Structural Engineering and Mechanics* Vol. 17, No. 2, pp. 141–152  
<http://dx.doi.org/10.12989/sem.2004.17.2.141>
- [7] Balogh T. (1993) A beton és a betonacél közötti együttműködés hatása a vasbetonszerkezetek teherbírására, Kandidátusi értekezés
- [8] Baranyai-Horváth M. (1965) Tanulmány – Betonacélok könnyűbetonokban, *Építéstudományi Intézet*, Budapest
- [9] Comité Euro-International du Béton (1982) Bulletin D'Information No.151 „Bond Action and Bond Behaviour of Reinforcement”, Contribution à la 22. Session Plénière du C.E.B.; Munich
- [10] Jankus B. – Fenyvesi O. – Józsa Zs. (2013) Újrahasznosított pórusbeton adalékanyagként való alkalmazhatósága könnyűbetonban. In: Dr Köllő Gábor (szerk.) XVII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia: ÉPKO 2013. Csíksomlyó, Románia, 2013.06.13-2013.06.16. Kolozsvár: *Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság*, pp. 140–145.
- [11] Nemes, R. – Józsa, Zs. (2006) Strength of Lightweight Glass Aggregate Concrete. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 18, No. 5, pp. 710–714. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2006\)18:5\(710\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:5(710))
- [12] Tastani, S. P. – Pantazopoulou, S. J. (2002) „Experimental Evaluation of the Direct Tension Pullout Bond Test”, *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Bond in Concrete – From Research to Standards*, Eds.: Balázs, Bartos, Cairns, Borosnyói, 20-22 November 2002, Budapest, pp. 268–276.

### Ref.:

Nemes R. – Török B.: *Betonacél tapadása különböző könnyű adalékanyagok alkalmazása esetén*  
*Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 66, No. 1 (2014), 7–12. p.  
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.2>

CCC 2014

Preliminary Invitation  
and Call for Papers



Central European Congress  
on Concrete Engineering  
Středoevropský  
betonářský kongres

LIBEREC 2014



CCC MEMBER COUNTRIES

The 10th Central European Congress on Concrete Engineering



Concrete Offers for the Period  
of Economic Recovery

Preliminary Invitation  
and Call for Papers

LIBEREC 2014  
1–2 October 2014  
Liberec,  
Czech Republic

Host CCC Association  
Czech Concrete Society  
[www.csbeton.eu](http://www.csbeton.eu)



Congress website  
[www.csbeton.eu/ccc2014](http://www.csbeton.eu/ccc2014)

# Örlést segítő anyagok hatása nagyfinomságú őrlemények folyási tulajdonságaira Jenike nyírócellával mérve

RÁCZ ÁDÁM

2008-ban végzett a Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Karán, előkészítéstechnikai mérnök szakon. Ugyanebben az évben felvételt nyert a Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolába, melyet 2011-ben abszolutóriummal zárt. Jelenleg doktorjelölt, a Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének tudományos segédmunkatársa. Kutatási témája a száraz ultrafinom keverőmalmi őrlés, kutatási témavezetői Prof. Dr. Csöke Barnabás, egyetemi tanár és Dr. Mucsi Gábor, egyetemi docens.

RÁCZ ÁDÁM • Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet  
• ejtracz@uni-miskolc.hu

Érkezett: 2014. 03. 17. • Received: 17. 03. 2014. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.3>

## Effect of the grinding aids on the flow properties of ultrafine ground materials measured by Jenike shear cell

The production of the ultrafine ground materials by dry mode has some difficulties, like the extremely high specific grinding work demand, the aggregation, agglomeration and sticking phenomena of the particles. The effect of these phenomena can be reduced by surface-active grinding aids. The grinding contrary aggregation is an adhesion phenomenon. The transport properties in the milling chamber and thus the result of the grinding are highly influenced by the degree and strength of the adhesion, so it is advisable to characterize the flow properties of the ground material in the context of the type and dosage of the grinding aid. In the present paper dry stirred media milling was performed with different grinding aid dosages. The model materials were chosen according to their grindability and adhesion properties. The flow properties by a Jenike shear cell and the specific surface area of the ground materials were measured. The measurement of the flow properties – cohesion and flow function - of the ground material gives a good complement beside the traditional grinding work and product fineness based grinding aid and dosage selection.

Keywords: ultrafine ground materials, grindability, surface-active grinding aids, flow properties

Kulcsszavak: nagy finomságú őrlemények, őrléhetőség, felületaktív anyagok, folyási tulajdonságok

## 1. Bevezetés

A nagy finomságú őrlemények szárazon történő előállításának legfőbb problémája a betapadás és az aggregáció, agglomeráció. Ezen jelenségek hatására az őrlés során a szemcseméret egy adott értéknél tovább nem csökken, az őrlés hatékonysága jelentősen romlik az őrlési idővel. E jelenségek mértéke csökkenthető az őrlést segítő felületaktív anyagok használatával.

Az őrlést segítő anyagok vizsgálatával hazánkban többek között Tarján G. [1] és Opoczky [2,3,4], Juhász és Opoczky [5] foglalkozott átfogóan. Ennek eredményeképpen a nedves és száraz finomőrléshez használatos őrlési segédanyagok hatásmechanizmusáról átfogó képet kaptunk. Opoczky [3] szerint az őrlést segítő anyagként alkalmazható felületaktív anyagok hatása a finomőrlésnél a következőkben nyilvánulhat meg: a szilárd anyag őrléhetőségének javításában, illetve az őrléssel szembeni ellenállásának csökkenésében; a részecske kölcsönhatás (tapadás, aggregáció és agglomeráció) csökkentésében, megszüntetésében gyengébb kötések irányába történő eltolódásában; a mechanikai aktiválás fázisában fellépő kristályszerkezeti változások elősegítésében. Opoczky [2, 3, 4] a felületaktív anyag hatását az őrlendő anyag „őrléhetőségi tulajdonságai”, illetve keménysege függvényében vizsgálva megállapította, hogy keményebb, és nehezen őrlhető, de aggregációra nem hajlamos anyagoknál (pl. kvarc) a felületaktív anyag hatása inkább az őrléhetőség javításában, lágyabb és könnyebben őrlhető anyagoknál (pl. mészkő) pedig főleg az aggregáció korlátozásában nyilvánul meg. Mindkét hatásnak van szerepe nehezen őrlhető és aggregációra hajlamos anyagok (pl. cementklinker) esetén.

Hasegawa és szerzőtársai [6] folyékony adalékok kvarc ultrafinom száraz őrlésére gyakorolt hatását vizsgálták pácás rezgőmalomban. Hét különböző alkohol és három glikol (különböző alkil csoporttal) hatását vizsgálták a fajlagos felületen, szemcseméret-eloszláson keresztül. Továbbá vizsgálták az őrlemények folyási tulajdonságát a rézsűszög meghatározásával. Megállapítják, hogy az alkalmazott segédanyagok növelték az őrlés során elért maximális fajlagos felületet és javították az őrlemény folyási tulajdonságát. Az alkoholok és glikolok hatékonyságának fő okát a folyási tulajdonság javításában és a szemcsék újra agglomerálódásának hátráltatásában látták. Hasegawa és szerzőtársai [7] korábban megállapították, hogy az alkoholok hatékony őrlést segítő anyagok földpát őrlésekor, habár a hatékonyságuk jelentősen függ az alkohol fajtájától és az adagolás mennyiségétől. Sohoni és szerzőtársai [8] hét különböző őrlést segítő anyag hatását vizsgálták laboratóriumi golyósmalomban, mészkő, kvarc és portland cement őrlése esetén. Azt tapasztalták, hogy kvarc őrlése esetén az őrlést segítő anyag hatása nem volt jelentős, miközben szignifikáns javulást tapasztaltak mind a hét esetben portlandcement és mészkő őrlésekor. A trietanol-amint találtak a leghatékonyabb segédanyagként. Az őrlést segítő anyag hatását az agglomeráció gátlásában és az anyag őrlőtestekre és falazatra történő betapadásának csökkenésében látták.

Az őrlést segítő anyag hatását az őrlemény folyási tulajdonságára Scheibe és szerzőtársai [9, 10] vizsgálták részletesen. A méréseik során az őrleményekben fellépő tapadóerők vizsgálatára kísérleti berendezést építettek és őrlést segítő anyaggal és annak alkalmazása nélkül különböző finomságokra őrltek cementklinkert. Megállapították, hogy az olyan anyagok, me-

lyek a cementklinkerre közismerten hatnak, mint őrlési segédanyagok, az őrlött cement tapadó erőit is jelentősen csökkentik. A tapadóerő-csökkenés az egyes őrlési segédanyagoknak különösen azon koncentrációtartományokban jelentős, amelyekben a legkedvezőbb hatást fejtik ki az őrlésre. A meghatározott finomságra történő őrlésnél viszont nagyobb mennyiségű őrlési segédanyag hozzáadása sem tapadáscsökkenést, sem jobb őrlési hatást nem eredményez.

Beke [11, 12, 13] nyomán szemcsés halmazok feszültségi állapotának jellemzésére a  $\sigma$ - $\tau$  diagramok adnak szemléletes képet. Ebben a koordináta-rendszerben a határállapotot a Mohr féle körökkel lehet bemutatni. A  $\tau=f(\sigma)$  az anyagra jellemző és kísérletileg határozható meg. Az összefüggést nem teljesen helytálló közelítéssel egyenessel, az ún. Coulomb egyenessel szokás ábrázolni. Kohéziómentes anyagra az ily módon egyszerűsített egyenlet

$$\tau = \sigma \cdot tg\varphi \quad (1)$$

kohezív anyagra

$$\tau = c + \sigma \cdot tg\varphi \quad (2)$$

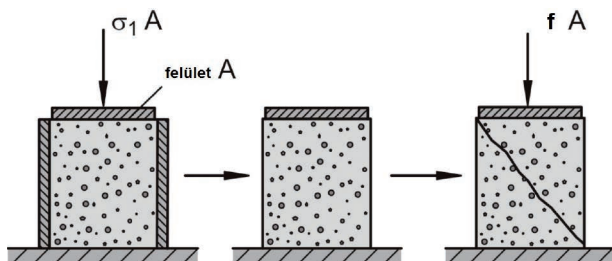
ahol  $\varphi$  az anyag belső súrlódása,  $c$  a kohézió,  $\tau$  nyírószilárdság [11, 12, 13].

A folyási tulajdonságok vizsgálatát nyírócella kísérlettel, a  $\sigma(\tau)$  diagram felvételével kezdhetjük. A mérés eredményeként az A keresztmetszettel szorzott feszültséget, vagyis az S(V) függvényvonalát kapjuk. E vonalat folyási helynek YL nevezzük [11].

Az YL folyási hely és az F felületszilárdsági erő a tömörítő nyomás függvénye. Változó tömörítő nyomás esetén az YL folyási helyek egy családját kapjuk ezek, a folyási függvény FF egy-egy pontját határozzák meg. Felírható

$$FF = \frac{\sigma_1}{f} \quad (3)$$

FF többnyire egyenesnek tekinthető és így két tömörítő nyomás mellett elvégzett nyírócella mérés alapján felrajzolható. Jobb folyási tulajdonságokat, FF nagyobb számértéke jellemez. FF=2 erősen kohezív, nem folyó, FF=10 szabadon folyó anyagot jellemez. A folyási tulajdonságokra a szemcseméret-eloszlás meghatározó befolyást gyakorol. Finom és durva szemcséket egyaránt tartalmazó széles eloszlású halmaz esetén a finom szemcsék jelenléte a meghatározó. A nyírás a finom szemcsék kohézióját méri, nagyobb szemcsék, mint passzív elemek szerepelnek, eltolódnak és nem nyíródnak [11].



1. ábra A fő tömörítő feszültség ( $\sigma_1$ ) és a felületi szilárdság ( $f$ ) értelmezése [17]  
Fig. 1. Explanation of the unconfined yield strength ( $f$ ) and major consolidation stress ( $\sigma_1$ ) [17]

A felületi szilárdság ( $f$ ) és fő tömörítő feszültség ( $\sigma_1$ ) értelmezése a 1. ábra szerinti kísérlet szolgál. Egy hengeres formában az anyag  $\sigma_1$  feszültséggel van tömörítve. A forma eltávolítása után a felületi szilárdság ( $f$ ) az anyag törőszilárdsága [17, 18].

Az őrlést hátráltató aggregáció alapvetően adhéziós jelenség. Az adhézió erőssége, foka a szemcsehalmaz folyási tulajdonságait, s így az őrlőterem belüli szemcse-transzport folyamatát alapvetően befolyásolja, s ezen keresztül az őrlés hatékonyságát. Célszerű tehát az őrlemény-szemcsehalmaz folyási tulajdonságainak jellemzése összefüggésben az őrlési segédanyag fajtájával és mennyiségével. Ennek érdekében bevezettem az őrlést segítő anyag őrlemény folyási tulajdonságára gyakorolt hatásának jellemzésére a Jenike-féle nyírócellával való mérést, az őrlemények folyási-nyírási jellemzőinek meghatározását, a kohézió ( $c$ ) és folyási függvény (FF) mutatókkal való jellemzését.

A fentebbiek tükrében jelen tanulmány célja az őrlést segítő anyag nagyfinomságú őrlemények folyási tulajdonságaira és fajlagos felületére gyakorolt hatásának vizsgálata az őrlést segítő anyag adagolásának függvényében.

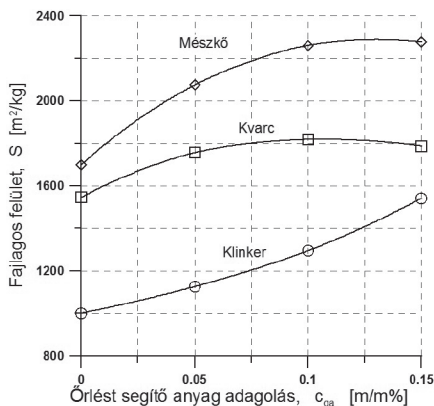
## 2. Kísérleti és kiértékelési módszerek

Az őrlést segítő anyag hatásának vizsgálatára három modell anyagot (mészke, klinker, kvarc) alkalmaztam, az őrlőteltség és agglomerációs tulajdonságait alapul véve. A mészke relatíve puha és könnyen őrlhető, de erősen kohezív. A kvarc nehezen őrlhető, de nem kohezív, míg a klinker nehezen őrlhető és kohezív is egyúttal [2]. A mérések elvégzéséhez minden modell anyag esetében négy különböző őrlést segítő anyag adagolás mellett állítottam elő nagy finomságú őrleményeket keverőmalomban. A mészke és kvarc esetében őrlést segítő anyagként trietanol-amint, míg klinker őrlése esetén „IMO-FLOW” fantázianévvel ellátott segédanyagot alkalmaztam. Az alkalmazott őrlést segítő anyag adagolások sorra  $c_{ga}=0; 0,05; 0,1; 0,15$  m/m%. Az őrlési kísérleteket az Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet által fejlesztett és épített, 5 dm<sup>3</sup> hasznos térfogatú, függőleges tengelyű kerámiabéléses tárcsás keverőmalomban végeztem. A mészke őrlése esetén az őrlési körülmények a következők voltak:  $vt=5$  m/s,  $\varphi_{GM}=60\%$ , az őrlőtestek mérete  $d_{GM}=1.6$  mm;  $x_{max}=2$  mm,  $\varphi_m=80\%$ . Az őrlési idő  $t=10$  perc volt a kvarc és mészke, míg  $t=15$  perc a klinker esetében. Az őrlések kivitelezésénél az volt a cél, hogy 5 $\mu$ m-nél kisebb medián értékű őrleményt állítsunk elő. Az őrléseket követően mértem az egyes minták szemcseméret-eloszlását ( $F(x)$ ), és fajlagos felületét ( $S$ ) Fritsch Analisette 22 lézersugaras szemcsenagyság-elemző berendezésben, folyadék közegben. Kvarc és mészke esetén víz, míg klinker esetén izopropanol közeget alkalmaztam. A mérések során a diszpergálás elősegítésére legalább 1 perces ultrahang-fürdőt alkalmaztam.

Az őrlemények folyási tulajdonságait Jenike féle nyírócellában vizsgáltam a szabványos vizsgálati módszert követve [14, 15, 16]. Minden minta esetén három konszolidációs szinten határoztam meg a folyási görbét (YL). Minden folyási görbe meghatározásához 4 mérési pontot vettem fel a konszolidációs normálfeszültség 40; 50; 60; 80%-át alkalmazva. A konszolidációs szintekhez az alábbi normálfeszültség értékek tartoztak: 2,5; 10 és 20 kPa. A mérés során kritikusán konszolidált minta esetén mértem az egyes normálerőkhöz ( $F_n$ ) tartozó nyíróerőket ( $F_{ny}$ ), melyekből a normálfeszültség ( $\sigma$ ) és nyírófeszültség ( $\tau$ ) értékét számítottam a nyírócella felületének ( $A$ ) ismeretében. A mérési pontokra Coulomb egyenest illesztettem, melynek egyenletét felhasználva a Mohr köröket megrajoltam.

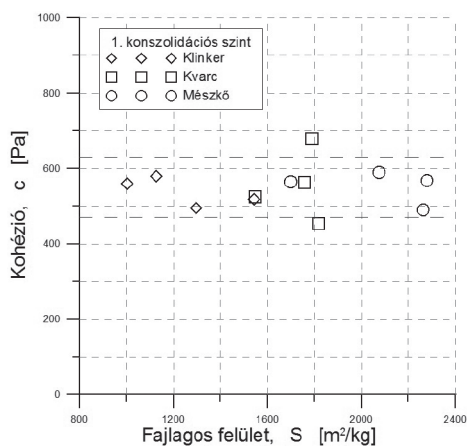
### 3. Az őrlést segítő anyag hatása az őrlemény fajlagos felületére

Az őrlemények fajlagos felületének változása az őrlést segítő anyag adagolásának függvényében a 2. ábrán látható. Mészke esetén a fajlagos felület folyamatosan nő az őrlést segítő anyag adagolásával, az őrlést segítő anyag alkalmazása 34%-os fajlagos felület növekedést eredményezett. Ugyanakkor a 0,1%-os adagolás majdnem azonos fajlagos felületre vezetett, mint a 0,15%-os.



2. ábra Az őrlemények fajlagos felületének változása az őrlést segítő anyag adagolásának függvényében

Fig. 2. Specific surface area of the ground material as a function of the grinding aid dosage



3. ábra A fajlagos felület hatása a kohézióra 2,5 kPa normálfeszültség esetén

Fig. 3. Effect of the specific surface area on the cohesion in case of 2.5 kPa normal stress

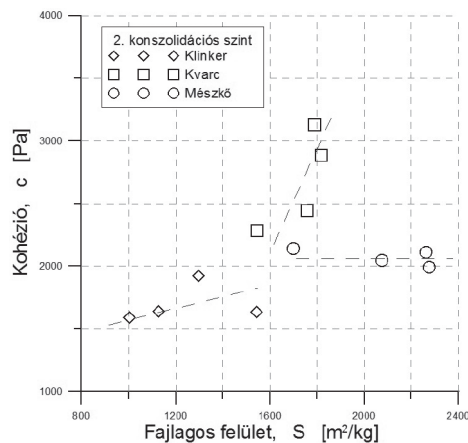
A kvarc esetén a 0,1%-os őrlést segítő anyag adagolás vezetett a legnagyobb fajlagos felületű őrleményre. A 0,15%-os adagolás alacsonyabb fajlagos felületet eredményezett, tehát egy határ fölött az őrlést segítő anyag adagolása fölöslegessé vált, nem vezetett további növekedésre. Kvarc esetén a TEA őrlést segítő anyag adagolása 17,5%-kal növelte az őrlemény fajlagos felületét. A fajlagos felület változása tekintetében a klinker esetén figyelhető meg a legnagyobb növekedés, melynek mértéke 54%-os volt (2. ábra). Az őrlést segítő anyag adagolása jelentősen növelte a keverőmalmi száraz őrlés hatékonyságát. Az őrlemények finomsága növekedett az őrlést segítő anyag használatával. Ugyanakkor a megfelelő típusú felületaktív anyag és adagolás megválasztása jelentősen befolyásolja a kifejtett hatás mértékét. Kvarc esetén a TEA nem bizonyult hatékony segédanyagának. Az ideálisnak tekinthető adagolás az

elvégzett őrlési kísérletek alapján mészke és kvarc esetén 0,1 m/m%, míg klinker esetén 0,15 m/m%.

### 4. Az őrlést segítő anyag adagolásának hatása a kohézióra

Az illesztett Coulomb egyenes alapján az egyes őrlemények kohéziója  $c$  meghatározható, mely az egyenes  $y$  tengely menti eltolódását mutatja. A 3, 4, 5. ábrákon a kohézió-fajlagos felület  $c=f(S)$  függvények láthatóak az egyes mintaanyagok esetén különböző konszolidációs szintek mellett. Jelen ábrázolás az őrlemény finomsága és folyási tulajdonsága közötti összefüggést mutatja be.

A szemcseméret csökkenésével, a fajlagos felület növekedésével a szemcsék közötti adhézió nő, tehát a kohézió ( $c$ ) értékének növekednie kell az őrlemény finomságának változásával. A Jenike féle nyírócellával végzett mérések alapján a tömörítő feszültség értéke hatással van a kohézió ( $c$ ) fajlagos felülettel ( $S$ ) történő változására. Az első konszolidációs szint esetén habár az  $S$  széles tartományban 900 és 2300 m²/kg között változik, mindhárom anyag esetén a kohézió értéke jellemzően egy viszonylag szűk sávban 480 és 620 Pa között ingadozik. Egyértelmű kohézió ( $c$ ) változás a fajlagos felületével növekedésével nem mutatható ki egyik anyag esetén sem (3. ábra).



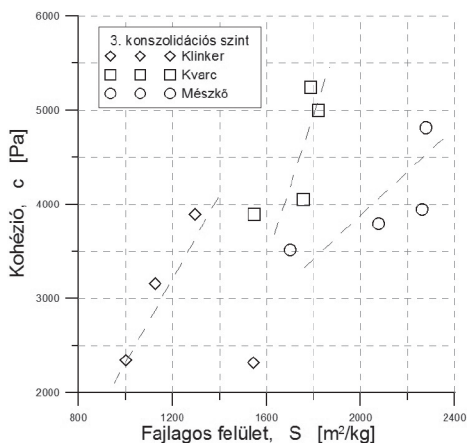
4. ábra A fajlagos felület hatása a kohézióra 10 kPa normálfeszültség esetén

Fig. 4. Effect of the specific surface area on the cohesion in case of 10 kPa normal stress

A második konszolidációs szinten (4. ábra) az egyes mintaanyagok között eltérés mutatkozik, hiszen amíg az eredendően is kohezív klinker és mészke esetén a kohézió  $c$  értéke közel állandó  $S$  fajlagos felület változásával, addig az eredendően nem kohezív kvarc esetén jelentősen nő.

A harmadik konszolidáció szinten mindhárom anyag esetén a kohézió  $c$  nő (5. ábra). Megfigyelhető, hogy a kvarc esetén mikor  $S$  1800 m²/kg-hoz közeli értéket vesz fel,  $c$  ugrásszerűen nő 4000-ról 5200-ra, hasonlóképpen a mészke esetén is. Ezen anyagoknál a TEA őrlést segítő anyagot vizes oldatként juttattam be a rendszerbe, aminek a következményeként az őrlést segítő anyag adagolásának növelésével egyre nagyobb mennyiségű víz került az anyaghoz, melynek hatása mutatkozik nagy, 20 kPa normálfeszültség esetén. A szemcsék felületén adszorbeálódott folyadék hidakat kialakítva az szemcsék között növelte az őrlemények kohézióját, miközben nem járult hozzá az őrlés

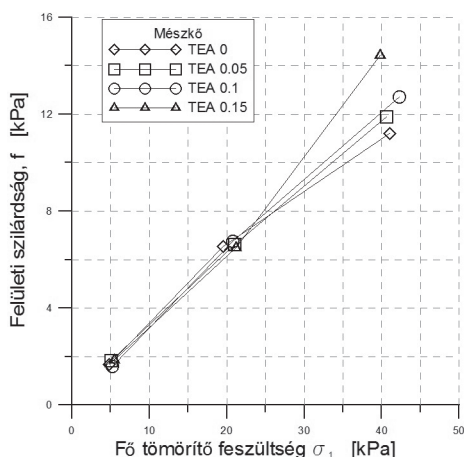
hatékonyságának növelésében, hiszen S fajlagos felület nem nő tovább  $c_{ga}$  segédanyag adagolás növekedésével.



5. ábra A fajlagos felület hatása a kohézióra 20 kPa normálfeszültség esetén  
Fig. 5. Effect of the specific surface area on the cohesion in case of 20 kPa normal stress

### 5. Az őrlést segítő anyag adagolásának hatása a folyási függvényre

A nyírási kísérletek kiértékelésére a Jenike [15] által a folyási tulajdonság megítélésére alkotott ún. folyási függvényt (FF) alkalmaztam. Ebből a szempontból minden őrlemény a kohezív besorolásba esett. A folyási függvény szerkesztését, a  $f=f(\sigma_1)$  az egyes mintaanyagokra a 6, 7, 8. ábrák mutatják.



6. ábra A folyási függvény mészkő esetén  
Fig. 6. Flow function of limestone

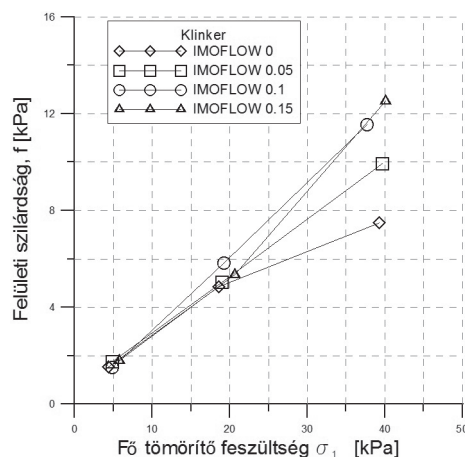
Megfigyelhető, hogy mészkő és klinker (6., 7. ábra) esetén az első és második konszolidációs szinten a mérési pontok szinte egybeesnek az  $f=f(\sigma_1)$  ábrázolási mód szerint, míg a harmadik konszolidációs szinten a felületi szilárdság f jelentős növekedése figyelhető meg közel azonos  $\sigma_1$  értékek mellett.

Ezzel szemben a kvarc esetén már a második konszolidációs szinten is a felületi szilárdság f jelentős növekedése figyelhető meg, tehát a görbék az f irányába tolódnak, mely a folyási tulajdonság romlását mutatja.

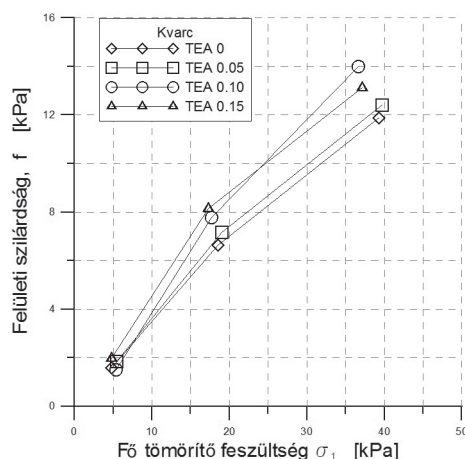
A Jenike féle nyírócellában végzett kísérletek alapján megállapítható, hogy mindhárom modellanyag esetében a legnagyobb normálfeszültségű (20 kPa), harmadik konszolidációs szinten az őrlést segítő anyag adagolásával a folyási függvény az f, tehát

a rosszabb folyás irányába hajlik el, továbbá a kohézió c értéke nőtt a fajlagos felület (S) növekedésével, tehát az őrlemények folyási tulajdonságai romlottak az őrlést segítő anyag adagolásával.

Az első és második konszolidációs szinten, ahol a normálfeszültség értéke 2,5 és 10 kPa volt, az eredmények a modellanyagokkal eltérést mutatnak. Mészko és klinker esetén a folyási függvény nem mutat eltolódást, míg kvarc esetén a rosszabb folyás irányába tolódik el a függvény az őrlést segítő anyag adagolásával. A c értéke klinker és mészkő esetén közel állandó S változásával, addig kvarc esetén jelentősen nőtt.



7. ábra A folyási függvény klinker esetén  
Fig. 7. Flow function of clinker



8. ábra A folyási függvény kvarc esetén  
Fig. 8. Flow function of quartz

### 6. Összefoglalás

A szemcseméret csökkenésével a porok folyási tulajdonsága romlik, az egyes szemcsék között fellépő adhéziós erők megnövekedése miatt. A nagy normálfeszültség (20 kPa) mellett a Jenike féle nyírócellában elvégzett kísérletek ezt a jelenséget igazolják. Azokban az esetekben (mészko, klinker) amikor az őrlést segítő anyag szignifikánsan javította az őrlés hatékonyságát, az őrlést segítő anyag folyási tulajdonságra gyakorolt hatása kimutatható a kohézió (c) és folyási függvény (FF) vizsgálatával alacsonyabb konszolidációs normálfeszültség (2,5-10 kPa) alkalmazása esetén. Az őrlést segítő anyagok az

örlemény folyási tulajdonságát javítják és ez a hatás kimutatható a Jenike féle nyírócellában. Az őrlést segítő anyag típusának és adagolási mennyiségének megválasztásához a folyási tulajdonságok vizsgálata célravezető lehet a hagyományos finomság és őrlési munka központi kiválasztás mellett.

## 7. Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt által nyújtott személyi támogatással valósult meg. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatáshoz előzményként kapcsolódik „A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein” című, TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 számú projekt. A projekt megvalósulási ideje: 2011.03.01.-2013.05.29.

### Irodalomjegyzék

- [1] Tarján, G.: Ásványelőkészítés I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.
- [2] Opoczky, L.: Újabb eredmények az őrlést segítő anyagok hatásmechanizmusának kutatásában, *Építőanyag*, 1975. XXVII. 8. pp. 284-289.
- [3] Opoczky, L.: A felületaktív anyagok őrléstechnológiai alkalmazásának lehetőségei, *Tudományos Közlemények*, Budapest, SZIKKTI, 1983.
- [4] Opoczky, L.: Felületaktív anyagok hatása a cementklinker őrlési folyamataira, *Építőanyag*, XXI. 8, 1969. pp 281-286
- [5] Juhász, A. Z. - Opoczky L.: Mechanochemical activation of silicates with fine grinding, *Academic Publisher*, Budapest, 1982.
- [6] Hasegawa, M. - Kimata, M. - Shimane, M. - Shoji, T. - Tsuruta, M.: The effect of liquid additives on dry ultrafine grinding of quartz. *Powder Technology*. 114(1-3), 15 January 2001, pp. 145-151 [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910\(00\)00290-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910(00)00290-4)

- [7] Hasegawa, M. - Kanda, Y.: Surface modification of fine inorganic powders by wet grinding with soapless emulsion polymerization, 1994. *Powder Technology*, 78(2), February 1994, pp. 159-163 [http://dx.doi.org/10.1016/0032-5910\(93\)02765-3](http://dx.doi.org/10.1016/0032-5910(93)02765-3)
- [8] Sohoni, S. - Sridhar, R. - Mandal, G.: The effect of grinding aids on the fine grinding of limestone, quartz and portland cement clinker. *Powder Technology*, 67(3), September 1991, pp 277-286 [http://dx.doi.org/10.1016/0032-5910\(91\)80109-V](http://dx.doi.org/10.1016/0032-5910(91)80109-V)
- [9] Scheibe, W. - Dallmann, W. - Rosenbaum, W.: Einige Untersuchungen über die Auswahl von Mahlhilfsmitteln, *Silikattechnik*, Berlin, 21 (1970) 1, pp 11-17
- [10] Scheibe W. - Dombrowe H. - Herrmann, R.: Órlést segítő anyagok hatása az örleményekben fellépő tapadó erőkre, *Építőanyag* XXVII. 8, 1975. pp. 290-293.
- [11] Beke, B.: Anyagmozgás bunkerekben, *Építőanyag*, XXXII. 11, 1980. pp. 407-422.
- [12] Beke, B.: Erőhatások bunkerekben I., *Építőanyag*, XXXIII. 9, 1981. pp. 321-329.
- [13] Beke, B.: Erőhatások bunkerekben II., *Építőanyag*, XXXIII. 11, 1981. pp. 415-422.
- [14] Kósa, L.: Szilárd szemcsés anyagok tárolása silóban, *Magyar Kémikusok Lapja*, XLVI. 8, 1991. pp 343-351
- [15] Jenike, A W.: Storage and flow of solids, *Bulletin* No. 123, Utah Engineering Station, Salt Lake City, UT. 1969.
- [16] Ganesan, V - Muthuku Marappan, K - Rosentrater, K A.: Flow properties of DDGS with varying soluble and moisture content using Jenike shear testing, in *Powder Technology* 187, 28 October 2008. pp 130-137, <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2008.02.003>
- [17] Schülze, D.: Powders and Bulk Solids, *Springer*, 2008.
- [18] Thomas, J. - Kleinschmidt S.: Improvement of flowability of fine cohesive powders by flow additives, *Chemical Engineering and Technology*, 2009, 32, 10, pp 1470-1483. <http://dx.doi.org/10.1002/ceat.200900173>
- [19] Csöke, B. - Rác, Á. - Mucsi G.: Grinding and flowing investigation on dry stirred ball milling in order to determine the influence of grinding aids, in: *Proceedings of XXIV. International Mineral Processing Congress*, Brisbane, 2010.

### Ref.:

Rác Á.: Órlést segítő anyagok hatása nagyfinomságú örlemények folyási tulajdonságaira Jenike nyírócellával mérve *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 66, No. 1 (2014), 13-17. p. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.3>

## EDITORIAL COMMENT

Dear readers of *Építőanyag*–JSBCM,

The following letter was sent to the Editorial Office by Professor Kapustin, one of our earlier authors.

Dr. Adorján Borosnyói  
Editor-in-Chief

Prof. Dr. László A. Gömze  
President of the Editorial Board



Dear Colleagues,

In our country, Ukraine, more than three months continues the civil war. During a battle on June 13, 2014, laboratories of my Department of Chemical Technologies and Engineering at our University, Priazovskiy State Technical University, were destroyed, equipment was broken.

We appeal herewith to you for help.

If you have any old unwanted instruments, chemical ware, reagents – please send them to us, it would be greatly appreciated. To restore the laboratories, we need everything.

Our address:  
Department of Chemical Technology and Engineering  
Priazovskiy (Azov Sea) State Technical University,  
University, 7  
87500 Mariupol, Ukraine

We also welcome any financial assistance for the repair, purchase of furniture and equipment. Your donation can be sent to the following account:

Kapustin Oleksiy,  
Fifth Third Bank  
38 Fountain square plaza, Cincinnati, Ohio 45363  
Routing or ABA number 042000314  
Swift Code: FTBCUS3C  
Account number 7026655451

We will be very grateful for any help!

Sincerely,  
Prof. Alexey Kapustin  
Head of Department of Chemical Technologies and Engineering,  
Priazovskiy State Technical University  
[kapustinlesha@gmail.com](mailto:kapustinlesha@gmail.com) • [kapustin\\_a\\_e@pstu.edu](mailto:kapustin_a_e@pstu.edu)



# Performance of waste glass powder (WGP) supplementary cementitious material (SCM) – Drying shrinkage and early age shrinkage cracking

**PATRICIJA KARA** ▪ Scientific researcher, RTU, Riga, Latvia ▪ patricija.kara@rtu.lv

**ADORJÁN BOROSNYÓI** ▪ Associate Professor, BME, Budapest, Hungary ▪ borosnyoi.adorjan@epito.bme.hu

**OLIVÉR FENYVESI** ▪ Senior Lecturer, BME, Budapest, Hungary ▪ fenyvesioliver@yahoo.com

Érkezett: 2014. 02. 26. ▪ Received: 26. 02. 2014. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.4>

## Abstract

EU laws have been the most effective driving force of Latvian and Hungarian environmental legislation in order to improve recycling of packaging waste. In Latvia and Hungary the waste diversion strategies have focused on establishing treatment capacity and setting up schemes for separate collection, which largely cover packaging waste. Despite all improvements done in this area, still large amount of glass wastes is dumped into landfills and alternative solution for this waste glass utilization could be the application in concrete as a supplementary cementitious material (SCM). Laboratory tests were carried out on cement paste specimens, in which waste glass powder (WGP) addition was used as a SCM. Cement was substituted with WPG at levels of 20% or 30% per mass. It was demonstrated that the WGP addition is applicable in view of drying shrinkage with total deformation up to 2.5 ‰ in the period of 592 days. The WGP addition contributes to a slowdown in the rate of hydration of the cement paste, so the early age shrinkage cracking tendency becomes more favourable, which can be seen in the longer cracking time result during the ring tests.

Keywords: recycling, waste glass, supplementary cementitious material, drying shrinkage, early age shrinkage cracking

## 1. Introduction

Both industrial and municipal wastes are key environmental, social and economic issues and a growing problem, since the amount of waste generated in Europe continues to rise each year. Waste management has become increasingly sophisticated, since separate collection and recycling facilities have become commonplace and landfill and incineration standards have become more rigorous. However, rising global consumption patterns put increasing pressure on ecosystems and waste infrastructure [1]. Greenhouse gas emission is also becoming more and more relevant in waste management planning. In countries that have very low landfill rates, waste recycling and energy recovery can help avoiding greenhouse gas emissions from the production of material or energy [2]. As an example, the use of 1 ton of cullet (crushed recycled glass), in comparison with 1 ton of natural raw material (sand), releases 500 kg less of carbon dioxide (quarrying, transport and fusion included).

Since Hungary and Latvia have joined the European Union (EU) in 2004, EU laws have been the most effective driving force of Hungarian and Latvian environmental legislation in order to improve recycling of packaging waste. In Hungary and Latvia the waste diversion strategies have focused on establishing treatment capacity and setting up schemes for separate collection, which largely cover packaging waste.

Hungarian performance in terms of municipal waste management recycling has been improving considerably over the last decade from close-to-zero (2% in 2001) to 21% in 2010, while at the same time municipal waste management generation

has decreased by 13% and decoupled from economic growth over 2001-2010. If the increase rate for recycling of the last 5 years can be maintained, then the recycling rate would reach 47% in 2020 which is slightly under the 50% target set in the EU legislation for 2020 [3]. It is estimated that the municipal waste management contained around 5.9% glass in Hungary in 2012 [4]. 20 000 tons are recycled annually by Maltha Ltd. and the rest of glass waste is exported mostly to the Czech Republic.

Approximately 50,000 tons of glass packaging waste is generated annually in Latvia. In 2013 waste sorting (mainly waste glass and plastics) has become more popular in Latvia than it was in the previous years. This is evidenced by the presence of special waste separation containers and drop-off points for wastes in Latvia. However, there is still absence of factories [5] which could recycle glass wastes and Latvian recycling infrastructure is based mostly on limited operations like: waste glass collection, sorting and export to EU by several companies dealing with preparation of glass for re-use to the neighbour countries.

## 2. Durability aspects of the application of waste glass as supplementary cementitious material

Millions of tons of glass cullet are landfilled throughout the planet every year. Over the last two decades, several studies have been carried out by researchers to solve the disposal problem of glass cullet [6]. The concrete industry is one of

**Patricija Kara**

Civil engineer (MSc), PhD candidate, Scientific researcher, Lecturer at Riga Technical University (RTU), Institute of Materials and Structures (IMS), Department of Building Materials and Products.

Member of ACI Italy Chapter. RILEM Affiliate Member, TC AAA, TC 225-SAP and TC 219-ACS. Member of Latvian Materials Research Society. Member of LVS STK 30 Eurocode Sub-Committee.

Main research area: concrete technology, waste glass recycling, recycling of industrial wastes and by-products in concrete, environmental management, eco-construction materials.

**Adorján Borosnyói**

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, supplementary cementing materials for high performance concretes, concrete technology. Secretary of the fib Task Group 4.1 „Serviceability Models” and Chairman of the SZTE Concrete Division.

**Olivér Fenyvesi**

Civil engineer (MSc), monument protection engineer, PhD, Senior Lecturer at BME Dept. of Construction Materials and Engineering Geology.

Main fields of interest: early age shrinkage cracking of normal and lightweight concretes, application of recycled waste materials as concrete (normal and lightweight) aggregates, protection of building heritage, building diagnostic, corrosion of reinforced concrete and steel structures. Secretary of the SZTE Concrete Division, member of fib Hungarian Group.

the potential users of reusing millions of tons of glass cullet per year either as aggregate or supplementary cementitious material (SCM). However, durability concerns over alkali-silica reaction (ASR) have limited the use of glass as a fine aggregate replacement in concrete [7]. Several studies have shown that glass behaves pozzolanically if ground finely enough, with a specific surface area of more than 300 m<sup>2</sup>/kg [8-13]. Towards sustainable development only a few studies were published on the investigation of drying shrinkage and early age shrinkage cracking properties of cement stone in which cement is substituted with glass waste finely ground powder. Drying shrinkage is defined as the time-dependent volume change induced by water loss in a specimen which is allowed to be dried due to exposure to an environment with certain relative humidity and temperature. The restraint of drying, autogenous or thermal shrinkage can result in the development of tensile residual stresses. Residual stresses develop over time since shrinkage occurs in response to moisture loss. If the residual stresses that develop are large enough, they may cause cracking of concrete. Crack occurrence time, crack development, crack width and free drying shrinkage strain all depend on physical and mechanical properties of cement and waste glass powder applied.

### 3. Experimental studies

Laboratory tests were carried out on cement paste specimens, in which waste glass powder (WGP) addition was used as a supplementary cementitious material (SCM) during a cooperation research between the Budapest University of Technology and Economics (BME), Department of Construction Materials and Engineering Geology and the Riga Technical University (RTU), Institute of Materials and Structures (IMS), Department of Building Materials and Products. Preliminary results on workability and compressive strength are introduced in [14].

#### 3.1 Materials

Ordinary Portland cement CEM I 42.5 N was used provided by a Hungarian cement factory. Waste glass powders (WGPs) were prepared in RTU IMS laboratory directly for the present experiments, using waste glass cullet collected in Latvia. Five different WGPs were studied [14]. Fluorescent lamp tube glass waste cullet (LB) and incandescent light bulb borosilicate glass waste cullet (DRL) were received from a lamp recycling centre in Liepaja, Latvia. Container glass was obtained as bottles in green (G), amber (A) and flint (F) colours which were collected at a glass bottle return point in Riga, Latvia, and were manually crushed into cullet under laboratory conditions. The cullet was washed, dried and ground for 30 minutes in a laboratory planetary ball mill (Retsch PM400) with rotation speed 300 min<sup>-1</sup>. The specific surface area of the WGP was obtained by a Zwick/Roell ToniPERM automatic Blaine apparatus (see Table 1).

DRL	LB	A	G	F	Cement
608	542	542	463	502	344

Table 1. Specific surface area of waste glass powders and Portland cement [m<sup>2</sup>/kg]  
1. táblázat A felhasznált hulladéküveg porok és portlandcement fajlagos felülete [m<sup>2</sup>/kg]

The grading curves for the different waste glass powders are given in Fig. 1.

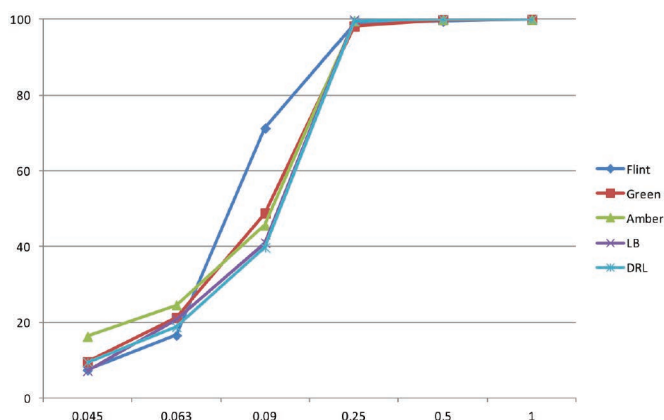


Fig. 1. The grading curves of the WGP materials  
1. ábra A hulladéküveg porok szemcseméret eloszlása

#### 3.2. Preparation of specimens

Portland cement was substituted with WGP at levels of 20% or 30% per mass of cement. The water/binder ratio was selected to be w/c = 0.285. Where cement substitution by WGP was applied, the water/cement ratio was changed to w/b = 0.342 (20% WGP) and w/b = 0.3705 (30% WGP), however, the water/binder ratio was kept constant at w/c=0.285. The components of the mortar mixture were batched by weight, cement and waste glass were premixed for 2 min, entire amount of water was added and mixed for 3 min, the mortar mixtures were mixed for an additional 5 min, resulting in a total mixing period of 10 min in a laboratory mortar mixer according to EN 196-1:2005 [15]. The workability of the fresh mortar was tested by flow table test according to EN 1015-3:1999 [16]. For all series, measured flow diameter results are given in [14].

#### 3.3 Drying shrinkage test

The test method according to the Hungarian standard MSZ 523-5:1975 [17] was used for the drying shrinkage tests. Three 40 mm × 40 mm × 160 mm prismatic specimens were prepared for each series to the drying shrinkage tests. The specimens were removed from the moulds after 24 hours and the initial length of the specimens was measured. Specimens were stored in a climatic chamber at 20±2°C temperature and 65±5% relative humidity until the deformation measurements at 1, 2, 3, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 23, 27, 28, 30, 56, 91, 147, 282 and 592 days of age for specimens with soda-lime waste glass powder and at 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 21, 22, 29, 57, 92, 148, 276 and 586 days for fluorescent lamp tube and incandescent light bulb borosilicate waste glass powder. The length changes were recorded using comparator Graaf-Kaufmann device according to the method detailed in the Hungarian standard MSZ 523-5:1975[17] (Fig. 2)

#### 3.4. Early age shrinkage cracking test

Three ring specimens (see Fig. 3), for each series were prepared for measuring early age shrinkage cracking tendency. After 24 h, the outer steel ring moulds of specimens were

removed. Then specimens were exposed to drying conditions at  $20\pm 2^\circ\text{C}$  temperature and  $65\pm 5\%$  relative humidity in a climatic chamber. Development of cracks was followed and cracking time was recorded for each ring specimen. Ring specimens were exposed to drying conditions from the outer and both the top and the bottom side of cement paste (see Figs. 4 and 5).



Fig. 2. Graaf-Kaufmann device with Mitutoyo comparator (minimum measurement interval 0.001 mm) with reference specimen  
 2. ábra Graf-Kaufmann készülék digitális Mitutoyo hosszváltozás-mérővel (felbontás 0,001 mm) és referencia etalonnal



Fig. 3. The preparation and testing of ring specimens for early age cracking tendency  
 3. ábra A korai zsugorodási repedésérzékenység vizsgálata gyűrű alakú próbatesteken

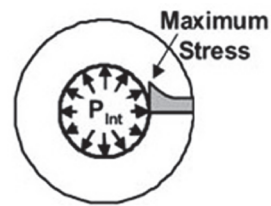


Fig. 4. Typical stress development of a restrained ring specimen [18]  
 4. ábra Jellegzetes feszültségeloszlás a gyűrű alakú próbatestben [18]

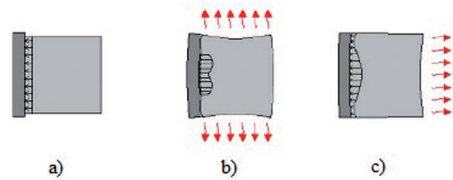


Fig. 5. Influence of drying shrinkage condition on the deformation of cement paste mortar and steel rings: a) uniform shrinkage, b) top and bottom drying, c) circumferential drying [18]  
 5. ábra A kiszáradás módjának hatása a gyűrű alakú próbatest deformációjára: a) egyenletes zsugorodás, b) alsó és felső oldali kiszáradás, c) palástirányú kiszáradás [18]

## 4. Results and discussions

### 4.1. Drying shrinkage

The time development of drying shrinkage values of the hardened cement paste specimens with WGP are indicated in Figs. 6 and 7.

As it can be seen on Figs. 6 and 7 the drying shrinkage of mixtures with 30% of WGP content are higher than in case of 20% WGP content. It can be also realized from the results that almost all mixtures provide higher shrinkage than the reference mixture (that was made without WGP). Therefore, it can be concluded that WGP increases drying shrinkage of cement pastes, but it should be noted that the difference is not significant between the reference and the tested mixtures. It is supposed that the tested WGP of high specific surface area can be involved in the hydration of the cement paste. The highest shrinkage was recorded in case of series G2 (green colour) WGP, and the lowest shrinkage was recorded in case of series G3 (amber colour) by testing of both (20% and 30%) WGP contents.

As it can be seen in Figs. 6 and 7, the application of soda-lime waste glass powder as cement substitute does not influence negatively the drying shrinkage deformation of cement paste mortars in comparison to the reference specimens, during the period of 592 days (see Table 2). Shrinkage deformation is the highest at early age for the specimens with soda-lime WGP (flint colour) and particularly for green colour at 30% WGP content. At the same time, green colour WGP (20%), amber colour WGP (20% and 30%) specimens show smaller deformations; nearly equal to that of the reference cement paste specimens. Application of fluorescent lamp tube and incandescent light bulb borosilicate waste glass powder as cement substitute does not influence negatively the drying shrinkage deformation of cement paste mortars in comparison to the reference specimens, during the period of 586 days. The development of the deformations in specimens with WGP addition follows that of the reference cement paste specimens.

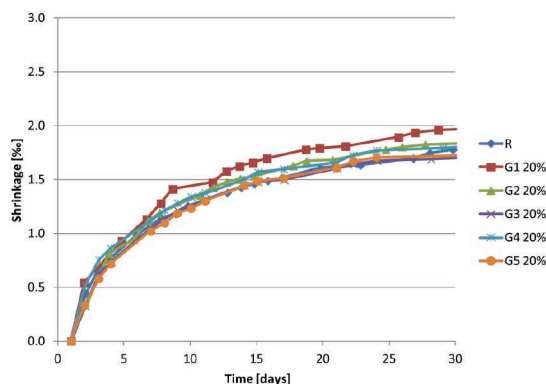


Fig. 6.a. Shrinkage of cement pastes with 20% WGP content  
6.a ábra A 20% megőrölt hulladék üveg tartalmú próbatetek zsugorodása

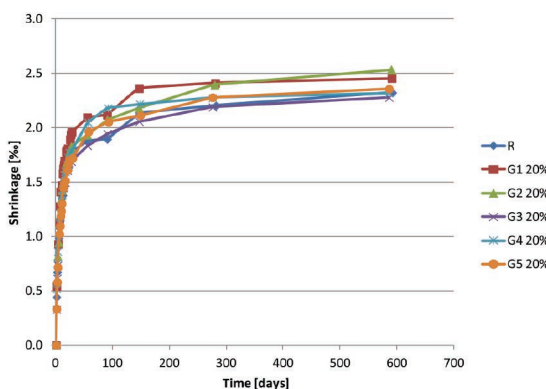


Fig. 6.b. Shrinkage of cement pastes with 20% WGP content  
6.b ábra A 20% megőrölt hulladék üveg tartalmú próbatetek zsugorodása

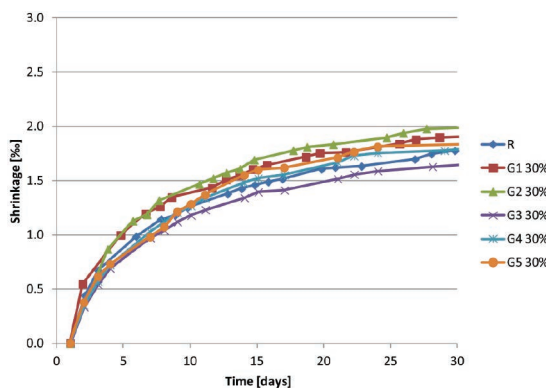


Fig. 7.a. Shrinkage of cement pastes with 30% WGP content  
7.a ábra A 30% megőrölt hulladék üveg tartalmú próbatetek zsugorodása

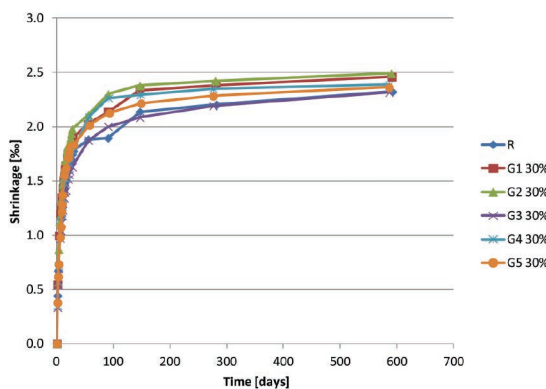


Fig. 7.b. Shrinkage of cement pastes with 30% WGP content  
7.b ábra A 30% megőrölt hulladék üveg tartalmú próbatetek zsugorodása

Name	REF	F	G	A	LB	DRL
20%WGP	2.32	2.45	2.53	2.28	2.32	2.36
30%WGP		2.46	2.49	2.31	2.38	2.36

Table 2. Drying shrinkage values of the hardened cement paste specimens at 592 days [%]  
2. táblázat A zsugorodás végértéke 592 napos korban [%]

Name	REF	F (G1)	G (G2)	A (G3)	LB (G4)	DRL (G5)
20% GLP	32,8	40.3	43.5	43.5	49.0	44.2
30% GLP		45.5	46.4	47.2	53.2	51.3

Table 3. Early age shrinkage cracking time values of the hardened cement paste specimens [hours]  
3. táblázat Az első repedés megjelenéséhez tartozó időtartam gyűrűs vizsgálat során [óra]

### 4.2. Early age shrinkage cracking

Table 3 indicates cracking time values for all mixtures tested. The most important result is that the reference mixture had the shortest cracking time, so the early age shrinkage cracking tendencies of mixtures with WGP addition were found to be more favourable than that of the reference mixture. This observation is attributed to the slower setting of the mixtures with WGP addition. The use of LB type (G4) glass powder provided the longest cracking time; this WGP is considered to be the best in the point of view of early age shrinkage cracking tendency. The effectiveness of the other WGPs were – in decreasing order – G5, G3, G2, and finally G1, but the results are very close to each other, so the cracking tendencies can be considered as almost the same. The same observation can be made on effectiveness of the WGPs in case of both 20% and 30% substitution levels.

## 5. Conclusions

The present paper has summarised the experimental results of a laboratory test series carried out on cement paste mortar specimens, in which waste glass powder (WGP) addition was used as supplementary cementitious material (SCM) during a cooperation research between the Budapest University of Technology and Economics (BME), Department of Construction Materials and Engineering Geology and the Riga Technical University (RTU), Institute of Materials and Structures (IMS). CEM I 42.5 N Portland cement was used with WGP substitution at levels of 20% or 30% per mass of cement.

It was demonstrated that the WGP addition:

- For 20% and 30% per mass of cement seems to be applicable in view of drying shrinkage with total deformation up to 2.5 ‰ in the period of 592 days. The increase in waste glass powder addition leads to an increase in drying shrinkage.
- The highest shrinkage was recorded in case of series G2, green colour soda-lime WGP, and the lowest shrinkage was recorded in case of series G3, amber colour soda-lime WGP by testing of both (20% and 30%) WGP contents.

- The WGP addition contributes to a slowdown in the rate of hydration of the cement paste, so the early age shrinkage cracking tendency becomes more favourable, which can be seen in the longer cracking time result during the ring tests.
- In the point of view of early age shrinkage cracking tendency, the best performance was realized for series G4, fluorescent lamp tube WGP, at both 20% and 30% substitution levels. The other WGPs provided almost the same early age shrinkage cracking tendency, needed about 35% more time for the appearance of the first early age crack, compared to the reference cement paste.

## 6. Acknowledgement

Authors gratefully acknowledge the support of the Hungarian Scientific Research Fund project “Durability and performance characteristics of concretes with novel type supplementary materials” (OTKA K 109233).

### References

[1] European Commission (2012) Preparing a Waste Prevention Programme – Guidance document. Drafted by *BioIntelligence Service S.A.S.*, Paris, October 2012, 62 p. <http://ec.europa.eu/environment/waste/prevention/pdf/Waste%20prevention%20guidelines.pdf>

[2] EEA (2008) Energy and Environment report. EEA Report No. 6/2008. *European Environment Agency*, Copenhagen, 100 p. <http://dx.doi.org/10.2800/10548>

[3] EEA (2013) Managing municipal solid waste - a review of achievements in 32 European countries. EEA Report No. 2/2013. Appendix ETC/SCP Working paper prepared by Herczeg, M.: Municipal waste management in Hungary. *European Environment Agency*, Copenhagen, 19 p. <http://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste>

[4] Balatoni, H. (2012) Situation of the Hungarian waste management industry. *Conference presentation* held at: Új utakon a hazai hulladékgazdálkodás, International Waste Management Conference, organized by the National Waste Management Agency - NWMA, Országos Hulladékgazdálkodási Ügynökség – OHÜ, 13-15 June 2012, Gödöllő, Hungary

[5] European Commission (2011) Country Factsheet for Latvia (LV). In: Support to Member States in improving waste management based on assessment of Member States’ performance, 070307/2011/606502/SER/C2, Final Report, 7 May 2013, BiPRO, Beratungsgesellschaft für integrierte Problemlösungen, 17 p. [http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/LV%20factsheet\\_FINAL.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/LV%20factsheet_FINAL.pdf)

[6] Hoffmann, L., Józsa, Zs., Nemes, R. (2003) Üveghulladékból könnyűbeton adalékanyag. *Építőanyag* Vol. 55, No. 1, pp.13-17.

[7] Shao, Y., Lehoux, P. (2001) Feasibility of Using Ground Waste Glass as a Cementitious Material. *Proceedings of the International Symposium: Recycling and reuse of Glass Cullet*, Dundee, Scotland, pp. 209–219.

[8] Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., Rodriguez, D. (2000) Studies on concrete containing ground waste glass. *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, No. 1, pp. 91–100. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00213-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00213-6)

[9] Dyer, T. D., Dhir, R. K. (2001) Chemical reactions of glass cullet used as cement component. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 412–417. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2001\)13:6\(412\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2001)13:6(412))

[10] Shayan, A., Xu, A. (2004) Value-added utilization of waste glass in concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 1, pp. 81–89. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00251-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00251-5)

[11] Shayan, A., Xu, A. (2006) Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: a field trial on concrete slabs. *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, No. 3, pp. 457–468. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.12.012>

[12] Pereira-de-Oliveira, L. A., Castro-Gomes, J. P., Santos, P. M. S. (2012) The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars components. *Construction and Building Materials*, Vol. 31, pp. 197–203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.110>

[13] Byars, E. A., Morales-Hernandez, B., Zhu, H. Y. (2004) Waste glass as concrete aggregate and pozzolan. *Concrete*, Vol. 38, No. 1, pp.41–44.

[14] Borosnyói, A., Kara, P., Mlinárik, L., Kase, K. (2013) Performance of Waste Glass Powder (WGP) Supplementary Cementitious Material (SCM) - Workability and Compressive Strength. *Építőanyag-Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol.65, No. 3, pp.90-94. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.17>

[15] CEN (2005) EN 196-1:2005, Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength. European Standard. CEN/TC 51 - *Cement and building limes*, 2005-08-31

[16] CEN (1999) EN 1015-3:1999, Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). European Standard. CEN/TC 51 - *Cement and building limes*, 1999-08-31

[17] MSZT (1975) MSZ 523-5:1975, A cementek fizikai jellemzőinek vizsgálata. A térfogatállandóság meghatározása. Testing physical parameters of cements. Determination of volume stability. Hungarian Standard

[18] Banthia N., Gupta R. (2007) Test method for evaluation of plastic shrinkage cracking in fiber-reinforced cementitious materials. *Experimental Techniques*, Vol. 31, No. 6, pp. 44-48. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-1567.2007.00191.x>

### Ref.:

Kara, P. – Borosnyói, A. – Fenyvesi, O.: *Performance of waste glass powder (WGP) supplementary cementitious material (SCM) – Drying shrinkage and early age shrinkage cracking* Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 66, No. 1 (2014), 18–22. p. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.4>

### Megőrölt hulladék üveg (WGP) cement kiegészítő anyag (SCM) tulajdonságai – Száradási zsugorodás és korai zsugorodási repedésérzékenység

Az Európai Unió direktívái a csomagolóanyagok újrahaznosítására vonatkozóan is megfogalmaznak irányelveket, amelyek a tagállamok számára iránymutatásként szolgálnak. Jelen kutatás során lett-magyar közös kutatási projektben, a Rigai Műszaki Egyetem (RTU) és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) kutatói tanulmányozták a hulladék üveg újrahaznosításának lehetőségét. Több eltérő, hulladéküveg alapanyagból készült, laboratóriumi körülmények között finomra őrölt üvegpó, cement kiegészítő anyagként történő felhasználási lehetőségét vizsgálták. A megőrölt hulladék üvegpó adagolásának mennyisége 20% és 30% volt a cement tömegére vonatkoztatva. A cikkben a száradási zsugorodás mértéke és a korai zsugorodási repedésérzékenység bemutatása történt meg, megszilárdult cementkő próbatestek laboratóriumi vizsgálatát követően. Sikerült igazolni, hogy a száradási zsugorodás szempontjából a megőrölt hulladék üvegpó alkalmazása nem kedvezőtlen, a vizsgált adagolások esetén. A zsugorodás mértéke 2,5%, 592 napos korban. A korai zsugorodásból származó repedésérzékenységet a megőrölt hulladék üvegpó adagolása kedvezően befolyásolja; a gátolt zsugorodásból származó első repedés kialakulása későbbi időpontban következik be, mint a cement kiegészítő anyagot nem tartalmazó referencia keverék esetén.

Kulcsszavak: újrahaznosítás, hulladék üveg, cement kiegészítő anyag, száradási zsugorodás, korai zsugorodási repedésérzékenység

# Bányaföldtani megfigyelések az Erdősmecke gránitbányában

Klespitz János  
(1934)

Okleveles geológus. Munkahelyei: Jókai bánya, Alföldi Kőolajfúrási Üzem, AGROTERV, kutató ill. üzemi geológus (1956-1970). 1970-től a Kő és Kavicsipari Egyesülésben földtani szolgálat vezető. Kiváló ifjú mérnök (1969). A földtani kutatás kiváló dolgozója (1976). A Magyar Népköztársaság által „Kiváló Munkáért” kitüntetésben részesült (1985). Az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Tanács által aranyoklevél adományozásában részesült (2007). A Szilikátipari Tudományos Egyesület örökös tagja. Publikációinak száma: 51

KLESPIZ JÁNOS

Érkezett: 2014. 02. 11. • Received: 11. 02. 2014. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.5>

## Mining geology observations in the granite quarry at Erdősmecke

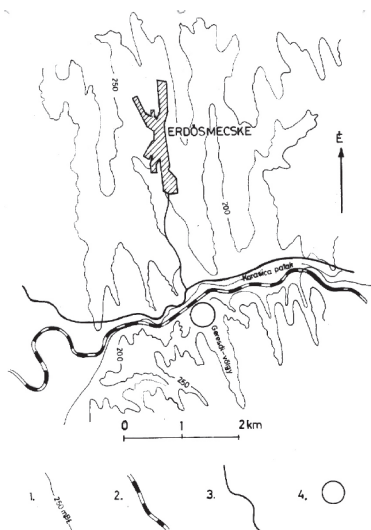
The Erdősmecke granite quarry is located in the southeastern forefront of the Mecsek mountains, in the area of the Geresdi Hills, next to the railway line of Pécs-Bátaszék. Its applicable rock is the carboniferous granite, the Mórógyi granite. The granite is excavated by the mining operations in 94 meter thick layer. The granite of block-appearance is variably fractured. Its quality is better on the deep level. The occurrence of block-appearance can be mostly found here. On the surface and near-surface, granite gravel of massive thickness and under it friable decomposed granite was formed due to erosion. The thickness of this weathered zone reaches even 40 meters in an unfavourable case. The paper deals with the modes of appearance originated from the mineral composition and utilization possibilities of granite, evaluates the unstable equilibrium state of the pit wall that has not been cultivated for a long time resulting from erosion and the wall collapses. The current utilization of mining products: water permeable embankment, crushed granite, road construction filling material, in addition to these, due to its aesthetic appearance resulted from the porphyry mineral composition of the intrusive rock present granite is prosperous – especially on the polished surfaces – from the point of view of decorative stone industry, as well.

Keywords: granite quarry, abandoned open-pit extraction, pit wall collapse, erosion, mineral composition

Kulcsszavak: gránitbánya, felhagyott külfejtés, bányafalomlás, erózió, ásványos összetétel

## 1. Bevezetés

Az erdősmecke gránitbánya a Mecsek hegység délkeleti előterében, a Geresdi-dombság területén, a ma már nem üzemelő Pécs-Bátaszék vasútvonal erdősmecke vasútállomása mellett található (1. ábra).



1. ábra Az erdősmecke gránitbánya környékének vázlatos térképe  
1 – színtvonal; 2 – Pécs-Bátaszék vasútvonal; 3 – közút; 4 – a bányauzem  
Fig. 1. Schematic map of the surroundings of the granite quarry in Erdősmecke

A bányaterületet magába foglaló Baranyai-Dombság 120-130 méter relatív magasságú, a már erősen denudálódott gránitterületre jellemző, dominálónan enyhe lejtésű, lankás domborzatú terület (2. ábra).

Az Erdősmecke gránitbánya a Karasica-patak fővölgy, déli Geresdi mellékvölgyének nyugati oldalát tárja fel, ott ahol dominálónan a fluviális erózió hatására a fiatalabb üledékek alól felszínre bukkanhatott a gránit intrúzió.

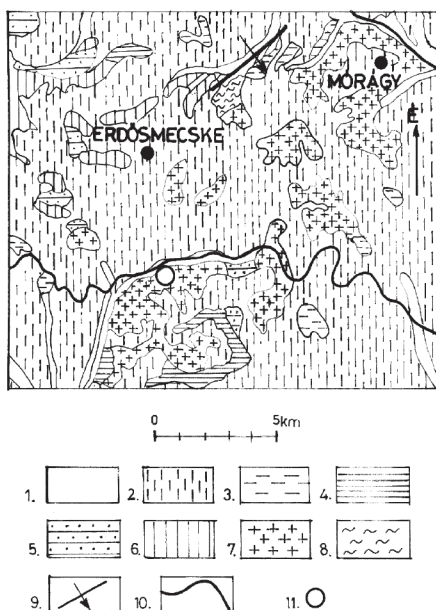


2. ábra A bányauzemtől ÉK-re eső, az erősen denudálódott gránitterületre jellemző, enyhe lejtésű, lankás dombvidék  
Fig. 2. Mild slope hillside, typical at strongly denuded granite fields, located North-East from the mining operations

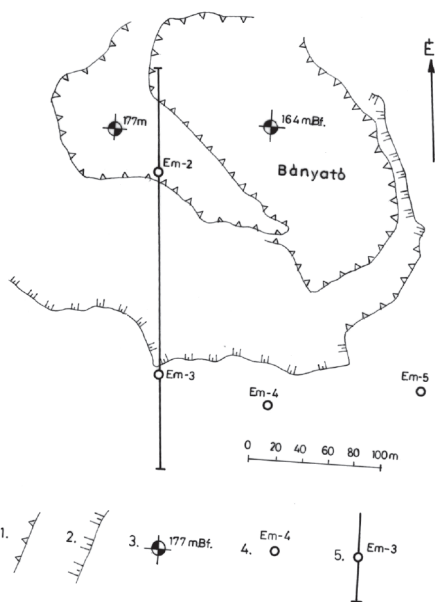
Földtanilag a Geresdi-dombság a Mórógyi gránitterület része. A Geresdi-dombság alaphegységét, egyben az erdősmecke gránitbánya hasznokövét is a karbon időszi, mintegy 340 millió éves Mórógyi Gránit – mélységi magmás, gyengén metamorf monzogranit – képezi. A gránitterületen az eróziós völgyekkel feltárt gránit fölött mezozoós, miocén pannóniai, pleisztocén és holocén üledékek teszik változatossá a földtani felépítést (3. ábra).

## 2. A bánya kiterjedése

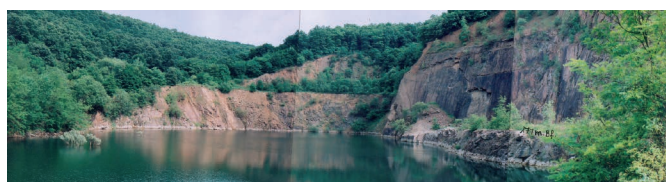
A bányauzem nyersanyag viszonyainak részletesebb megismerése céljából 1965-ben és 1978-ban volt a bányaterületen ipari magfúrásos földtani kutatás. Az 1965. évi kutatás folyamán 2 magfúrás mélyült 157,9 m összes folyóméterrel, 1978-ban a részletes fázisú kutatás kivitelezésekor 4 magfúrással (összes folyóméter 398 m) vizsgáltuk a gránit ásványközettani, minőségi és megjelenési viszonyait. Még alaposabb megismerést tettek, illetve tesznek lehetővé a bányauzemi feltárások tetemes kőzetfelületei. Az erdősmecke bányauzemben, alkalmazkodva az adott bányaföldtani viszonyokhoz, 177 és 164 m.Bf. szinten nyertek kialakítást a produktív termelési szintek (4. ábra). A bányauzem bányafalainak össz hossza 889 m. Ebből 554 méter a mélyszinti bányafal, amelyet a felszíni vizek táplálta bányató már nagyobb részt elfedett (5. ábra).



3. ábra Földtani térkép (MAFI felvétel)  
 1 – holocén homok, iszap, agyag; 2 – felső pleisztocén lösz; 3 – felső pannoniai agyag, homok; 4 – tortonai lajtamésző; 5 – helvétii konglomerátum, kavics, homok, agyag; 6 – középső liász foltos márga és szaruköves homokkő; 7 – karbon gránit, Mórágai Gránit; 8 – karbon fillit; 9 – feltolódás; 10 – vasút; 11 – az erdősmecke gránitbánya  
 Fig. 3. Geological map (MAFI recording)



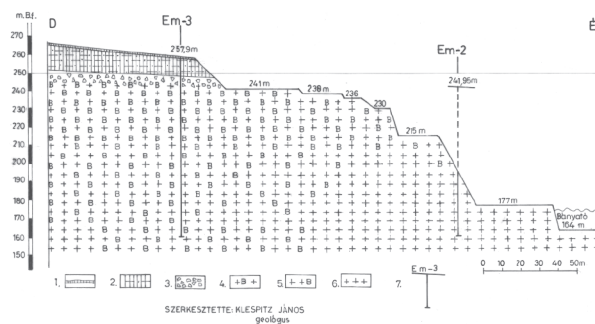
4. ábra Az erdősmecke gránitbánya térképvázlata, a földtani szelvény nyomvonalával  
 1 – a gránitbánya bányafalai; 2 – a felszín közeli laza üledék rézsíjje; 3 – a bányaművelési szintek tengerszint feletti magassága; 4 – ipari kutató magfúrások; 5 – a földtani szelvény nyomvonala  
 Fig. 4. Schematic map of the granite quarry in Erdősmecke, together with the track of the geological profile



5. ábra A bányáüzem észak irányából  
 Fig. 5. Mining operations; view from the North

A bányafalak előrehaladtával mintegy kőzetszeletenként válik lehetővé a gránit földtani paramétereinek regisztrálása és értékelése. Tulajdonképpen a kitermelés alatt álló gránitstre vonatkozó bányászati és földtani megismerés csak a haszonkő leművelését követően válik teljessé.

Az erdősmecke gránitbánya bányafalaival 94 m vastagságban tárja fel a gránitot és fedőképződményeit (6. ábra).



6. ábra Az erdősmecke gránitbánya É-D irányú földtani szelvénye  
 1 – holocén termőtalaj; 2 – pleisztocén agyagos, homokos lösz; 3 – pleisztocén gránitmurva; 4 – karbon, erősen bontott gránit, Mórágai Gránit; 5 – karbon, gyengén bontott gránit; 6 – karbon üde gránit; 7 – kutató magfúrás  
 Fig. 6. Geological profile of the granite quarry in Erdősmecke (direction North to South)

### 3. Kőzettani megfigyelések

Az Erdősmecke gránit halványvörös és szürke árnyalatú, az alaptípus kőzetszövetében változó szemcsenagyságú hűsvörös, porfiros földpátokat tartalmazó intrúzióm. Az igen változatos ásványos összetételű kőzetben a dominálót, kőzetalkotót ásványok a halványvörös, ritkábban szürke földpát, a szürke áttetsző kvarc és a fekete, a bomlásnak legkevésbé ellenálló biotit.

A kőzetalkotó ásványok szemcsenagysága 1-2 millimétertől néhány centiméterig változik. A földpátok nem ritkán a néhány centiméteres méretet is elérik.

A gránit színárnyalatát a földpátok színe – ami lehet hűsvörös vagy szürke –, gyakorisága és szemcsenagysága határozza meg. A bányaföldtani tapasztalatok alapján a halványvörös és a szürke árnyalatú gránit váltakozva mutatkozik a bányafalakon.

Az Erdősmecke intrúzióm változatos ásványos összetételét jelzik a kőzetmintákon a Magyar Állami Földtani Intézet, Dél-Dunántúli Osztálya Kőzetfizikai Laboratóriumában végzett ásványkőzettani vizsgálatok is (1981), ahol az ásványos összetétel alapján a biotitgránit mellett amfibol-biotit-metagranodiorit és kvarcszienit is előfordult.

A bányaföldtani tapasztalatok alapján megállapítható, hogy az erdősmecke gránit alaptípusa a szürke, halványvörös árnyalatú, változó szemcsenagyságú, gyakran több centiméteres hűsvörös földpátot tartalmazó kőzetelődés (7. ábra).

A gránit töréseiben, litoklázisaiban és hasadékaiban helyenként telérszerű kitöltésként halványvörös aplit, földpát és szürke árnyalatú áttetsző kvarc mutatkozik. A repedés és hasadékkitöltések vastagsága a néhány millimétertől a néhány deciméterig terjed. A megfigyelések alapján a 177 m.Bf. szint kőzetfalán 2002-ben bányaművelés folyamán egy 0,7 m vastag aplittelér került a felszínre (8. ábra).

Az aplitok helyenként a szabálytalan repedéshálózatok kitöltéseként is előfordulnak (9. ábra). A gránithasadékokban a földpát és kvarc oldatokból való kicsapódása váltakozva is

előfordul. A kőzetfalon egy 2,5 centiméteres hasadék két falán halványvörös földpát kiválás, majd az immár földpátos hasadék között fakószürke kvarc kikristályosodás mutatkozott, egyértelműen jelezve, hogy a gránithasadékban a földpát kicsapódást egy későbbi kovasavas oldatáramlás követte.



7. ábra Erdősmecekei gránit, porfiros földpátokkal  
Fig. 7. Granite of Erdősmecke with porphyry feldspars



8. ábra Vastag aplittelér a gránitban  
Fig. 8. Thick aplitic lode in the granite



9. ábra A gránit repedéshálózatát kitöltő aplit  
Fig. 9. Aplitic filling within the cracks of the granite

#### 4. Az erózió hatásai

A dominálónan tömbös megjelenésű üde gránit felszínközeli és felső zónája az erózió hatására jelentős bontódást szenvedett. Az üde gránit bányászati feltárását szolgáló lefedési szintek 210 m.Bf. szint felett az alsó zónában morzsalékosan széteső gránitot, majd feljebb a humuszos termőtalajig legnagyobb részt földpát és kvarc anyagú gránitmurva összetletét tárt fel.

A lefedési munkálatok tapasztalatai alapján az üde gránit mállott felső zónájának maximális vastagsága eléri a 40 métert (10. ábra). Ebből 20-25 méter a gránitmurva, alatta az üde gránitig a mállott, morzsalékos zóna 10-15 méter vastagságú (11. ábra).



10. ábra Tetemes vastagságú gránitmurva fedő a tömbös gránit felett  
Fig. 10. Large thickness of granite gravel covers the block appearance granite



11. ábra Morzsalékos, erősen elbontott gránit, az üde gránit és a fedő gránitmurva között  
Fig. 11. Fractured, heavily loosened granite layer between the covering granite gravel and the intact granite mass

A 177 méteres bányaművelési szint középső falszakaszán az üde gránitösszlet kissé magasabb szintre húzódik, melynek eredményeként itt a produktív gránit elérése majd kevesebb lefedést tesz szükségessé.

A gránitterület eróziós völgyeinek alján az agyagos gránitmurva a bemosódás eredményeként törvényszerűen a területi átlagnál nagyobb vastagságban halmozódott fel. A völgytalpon felhalmozódott gránitmurva az itt koncentrálódó vízáramlások hatására erősebb elmállásnak, agyagosodásnak van kitéve.

A gránit morzsalékos szétesését, murvásodását a kőzetben kőzetalkotó ásványként résztvevő biotit erózióval szembeni gyenge ellenállása – kloritosodása, majd agyagosodása – idézi elő. Igen jellemző a gránit felületének hámlásos mállása, ami jól megfigyelhető a hosszabb ideig az atmoszférával érintkező kőzetfelületeken (12. ábra) és kőzettömbökön. A hámlásos mállás éllekerkítő hatása eredményeként alakul ki a gránitkibúvásokra oly jellemző gyapjúsákszerű kőzetmegjelenési mód (13. ábra).

A Mórágyi gránit málladékából, a gránitmurvából, annak szállítódás útján történő továbbaprózódása révén jöttek létre a Mecsek hegység délkeleti előterében a pannóniai emeletben a földpátos homok felhalmozódások.

Az Erdősmecekei gránit minősége a mélység irányában javuló tendenciát mutat. Az üde gránit dominálónan tömbös megjelenésű. A bányauzembemben a legkedvezőbb kőzetminőség és ezzel párhuzamosan, a tömbös megjelenési mód a mélyszínt



12. ábra Hámlásos kőzetmállás a gránit felületén  
Fig. 12. Peeling weathering at the surface of the granite



13. ábra A hámlásos kőzetmállás következtében kialakult, a gránitra jellemző gyapjúsákszerű kőzetmegjelenési mód  
Fig. 13. Woolly-like appearance, typical after the peeling weathering of granite



14. ábra Törési síkok mentén létrejött bányafal omlás a 177 m.Bf. művelési szinten  
Fig. 14. Pit wall collapse at the 177 m.Bf. extracting bench, formed along fracture plains



15. ábra Bányafal omlás a 177 méteres szint (Bf.) északnyugati falszakaszán  
Fig. 15. Pit wall collapse at the North-West section of the 177 m.Bf. extracting bench

(164 m) mutatkozik (18. ábra). A Magyar Állami Földtani Intézet, Dél-Dunántúli Osztály Kőzetfizikai Laboratóriumában végzett vizsgálatok (1981) alapján a gránit térfogatsúlya: 2,68 g/cm<sup>3</sup>, nyomószilárdsága 1,24 kp/cm<sup>2</sup> (121,5 N/mm<sup>2</sup>). A kőzet fagyálló és igen jól polírozható.

Az iparági részletes fázisú magfúrásos földtani kutatás folyamán a bányaterület déli részén mélyített Em-3 sz. fúrás változó mértékben elbontott gránitösszletet tárt fel. Megállapítható, hogy a markánsabb törések, morzsolt zónák mentén, a leszivárgó csapadékvizek fokozottabb mértékű mállasztó hatása miatt mélyebbre ható minőségromlással kell számolni.

## 5. Bányaföldtani jellegzetességek

A bányauzem térségében a felszíni morfológia alapján a fő törésirány a NyDNY-KÉK és a rá közel merőleges ÉÉNY-DDK. A NyDNY-KÉK törésirány mentén alakult ki a Karasica-patak völgye, amelybe dél felől az ÉÉNY-DDK irányú hegység szerkezeti törés által tektonikailag preformált, északra lejtő, az erdősmecskei gránitbánya telepítését is lehetővé tevő Geresdi-völgy csatlakozik.

A bányauzemben mért törés és litoklázis irányok gyakorisága megegyezik a Karasica-patak által jelzett iránnyal. Az erre közel merőleges, a Geresdi-völgygel párhuzamos törések, bár ritkábban mutatkoznak a bányában, de ha az irányuk megegyezik a bányafal síkjával, bányaművelés tekintetében, biztonsági okokból fokozott odafigyelést tesz szükségessé.

A gránitbánya 38 méter falmagasságú 177 méteres szintjének délkeleti falszakasza egy ÉNyDK irányú vetőzónával párhuzamosan húzódik. A bánya fala a vetőtükröt (törési síkot) tárja fel (14. ábra). A fal síkjában levő törési felületet a kőzet belseje felé további párhuzamos vetősíkok kísérik. Mivel a falszakasz művelése 1987 óta szünetel, ezen párhuzamos törési síkok mentén az erózió (a beszivárgó vizek, a fagyhatás, a felszín közelében a növényzet gyökerének feszítő ereje) fokozottabb mértékben fejte ki a hatását (13. ábra).

## 6. Bányafal omlások

A több évtizedes kőzetlazító és mállasztó folyamat következtében a vetősíkok mentén bányafal omlások léptek fel. A legutóbbi 2005-ben következett be a fent jelzett falszakaszon, egy 18 méter magas, 10 méter széles és 1,5 m mélységű falfelületen (14. ábra). A leomlott kőzethalmazban előforduló, dominálón szabálytalan alakú kőzettömbök mérete, esetenként az 1 m<sup>3</sup> nagyságrendet is elérte.

A 177 méteres bányaművelési szint ÉNy-i falszakaszán a felszíni erózió és a hosszan tartó bányaművelési szünet az előzőekben ismertetettől eltérő jellegű bányafal omlást idézett elő (15. és 16. ábra). Az itt leomlott falszakaszon a bányafal tömbös, töredezett, litoklázisokkal és törésekkel átjárt gránitot tárt fel. A fal töredezettségének mértékét a természetes kőzetelválásokon kívül még a brizáns robbantásos kőzetjövésztés is fokozta.

A bányaomlás a kőzethasadékok, repedések mentén fellépő erózió kőzetbontó hatásának eredményeként akkor következett be, amikor egy kialakult csúszófelület mentén a meglapult kőzettömeg súlya meghaladta meggyengült kőzetkohézió összetartó erejét.

A falomlás változó szemcsenagyságú törmelékanyagában tetemes méretű kőzettömbök is előfordulnak. Az egyik hatalmas gránittömb mérete meghaladta a 11 m<sup>3</sup>-t (17. ábra). Egy az erózióval erősen megbontott bányafal leomlását végső esetében egy kisebb földrengés, vagy a bányauzem más szintjén végzett robbantás okozta kőzetrengések is beindíthatják.



16. ábra Bányafal omlás a 177 méteres szint (Bf.) északnyugati falszakaszán  
Fig. 16. Pit wall collapse at the North-West section of the 177 m.Bf. extracting bench



17. ábra Bányafal omlás a 177 méteres szint (Bf.) északnyugati falszakaszán. A tetemes gránittömb mérete meghaladta a 11 m<sup>3</sup>-t  
Fig. 17. Pit wall collapse at the North-West section of the 177 m.Bf. extracting bench; large granite block of volume over 11 m<sup>3</sup>

## 7. Hasznosítási lehetőségek

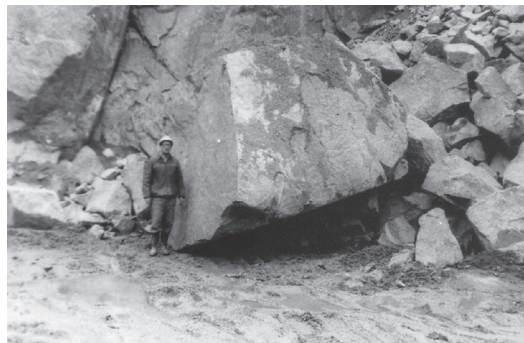
A magfúrásos ipari földtani nyersanyag kutatásról kiadott megkutatottsági nyilatkozat alapján a kőbányauzem terméke építőkönek útalapba, sétányok feltöltésére felhasználható.

Az erdősmecskai gránit díszítőköipari felhasználhatóságának megállapítása céljából a Délkő Földtani Szolgálat 1981-1982-ben próbatermeléses földtani kutatást végzett. A vizsgálatokat a legjobb minőségű – legtömbösebb megjelenésű – mélyszinti (164 m.Bf.) előforduláson végeztük (18. ábra). A kitermelt szabálytalan tömbök díszítőköipari gépi feldolgozásra alkalmas alakúvá faragása a helyszínen, a bányaudvarban történt (19. ábra). Az így előkészített gránittömbök próbafeldolgozása (3 cm-es lapokra vágása) a Kőfaragó és Épületszakipari Vállalatnál nyert kivitelezést.

A kutatás alapján megállapítást nyert, hogy az erdősmecskai gránit, a művelési körülmények finomításával és gondos utólagos válogatással díszítőköipari célra felhasználható. Az erdősmecskai gránit díszítőköipari szempontból is Magyarország egyik legszebb kőzete. A durvaszemcsés intrúzió csiszolt, polírozott felületén a helyenként centiméter nagyságrendű, hűsvörös, porfíros földpátkristályok teszik különösen esztétikusá a kőzetet.

A bányauzem termékei, a gránitmurva útépitési töltésként, a zúzott gránit útalapba útépitési töltésanyagként és vízáteresztő feltöltésként hasznosulnak.

Az ásványvagyon készlet, az intrúzió földtani megjelenési módjából, a művelési terület térbeli bővítési lehetőségeiből is adódóan, az igényeknek megfelelően még hosszú ideig biztosíthatja a térség köellátását.



18. ábra Hatalmas méretű gránittömb a bányauzem mélyszintjén (164 m.Bf.)  
Fig. 18. Giant granite block at the deep level of the pit (164 m.Bf.)



19. ábra A gránittömbök gépi feldolgozásra alkalmassá faragása a mélyszinten  
Fig. 19. Carving of granite blocks at the deep level of the pit; preconditioning for mechanical processing

## Irodalom

- [1] Jantsky B.: A mecseki gránitosodott kristályos alaphegység földtana. A MAFI Évkönyve, LX. 1979.
- [2] Jantsky B.: A mecseki díszítőkö bányászati jelene és jövője. *Mérnökgeológiai Szemle*, 28. 1982.
- [3] Klespitz J.: A kőbányászati ásványvagyon kutatás módszerei a kőzetek minőségi és meddőviszonyainak figyelembevételével. *Kő- és Kavicsipari Szakmai Tájékoztató* XI. évf. 1978/3-4., pp. 39-49
- [4] Klespitz J.: Próbaterheléssel végzett díszítő tömbök kutatás az Erdősmecskai Gránitbányában. *Építőanyag*, XXXVI. évf. 1984/5., pp. 151-155.
- [5] MAFI: Magyarország földtani atlasza M = 1 : 200 000. *Magyar Állami Földtani Intézet* 2009.
- [6] Némedi V. Z.: Az erdősmecskai fúrások földtani naplói. Kézirat.
- [7] Szederkényi T.: A mórággyi hegység paleozoós alapszélvény program alapdokumentuma. Kézirat.
- [8] Vadász E.: Magyarország földtana. Akadémia Kiadó Bp. 1960.
- [9] Vitális Gy.: Szilikátipari nyersanyagok. *Szilikátipar-építőanyagipar*. 3. ÉTK, Budapest 1984. pp. 1-207.

## Ref.:

Klespitz J.: Bányaföldtani megfigyelések az Erdősmecskai gránitbányában  
*Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 66, No. 1 (2014), 23–27. p.  
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.5>

## GUIDELINE FOR AUTHORS

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

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

### TITLE, AUTHOR

The title of the article should be short and objective.

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

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

### ABSTRACT, KEYWORDS

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

### MAIN TEXT

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

### REFERENCES

References are marked with numbers, e.g. [6], and a bibliography is made by the reference's order. References should be provided together with the DOI if available.

#### Examples:

Journals:

[6] Mohamed, K. R. – El-Rashidy, Z. M. – Salama, A. A.: In vitro properties of nano-hydroxyapatite/chitosan biocomposites. *Ceramics International*. 37(8), December 2011, pp. 3265–3271, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.05.121>

Books:

[6] Mehta, P. K. – Monteiro, P. J. M.: Concrete. Microstructure, properties, and materials. *McGraw-Hill*, 2006, 659 p.

### FIGURES, TABLES

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

**Authors are asked to submit color figures by submission. Black and white figures are suggested to be avoided, however, acceptable.**

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

### BIOGRAPHY

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

### CHECKING

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

### CONTACT

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

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

### Copyright

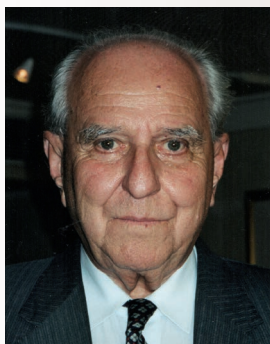
Authors must sign the Copyright Transfer Agreement before the paper is published. The Copyright Transfer Agreement enables SZTE to protect the copyrighted material for the authors, but does not relinquish the author's proprietary rights. Authors are responsible for obtaining permission to reproduce any figure for which copyright exists from the copyright holder.

**Építőanyag** – *Journal of Silicate Based and Composite Materials* allows authors to make copies of their published papers in institutional or open access repositories (where Creative Commons Licence Attribution-NonCommercial, CC BY-NC applies) either with:

- placing a link to the PDF file at **Építőanyag** – *Journal of Silicate Based and Composite Materials* homepage or
- placing the PDF file of the final print.



**Építőanyag** – *Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Quarterly peer-reviewed periodical of the Hungarian Scientific Society of the Silicate Industry, SZTE.  
<http://epitoanyag.org.hu>



## Rudnyánszky Pál

| 1924–2014

Elhunyt Rudnyánszky Pál, a magyar perlit „atyja”

65 évvel ezelőtt, 1949-ben kapta meg az építészmérnöki oklevelét; éppen abban az évben, amelyben az *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials* folyóirat, akkori nevén *Építőanyag*

folyóirat elindult. Az Észak-Magyarországi Építőipari Vállalatnál helyezkedett el. A Magyar Építő Rt.-nél, majd a Bányászati Építő Vállalatnál, a Vegyészernél dolgozott.

1973–1984 között a Könnyűbeton és Szigetelőanyagipari Vállalat (KÖSZIG) műszaki igazgatója volt. A Vállalat szilikátbázisú, szervesen hőszigetelő anyagok (duzzasztott perlit, salak-gyapot, kőzetgyapot, gázbeton) gyártásával és azok fejlesztésével foglalkozott. Pali bácsi részt vett a vállalat hét gyárának alapításában, a hőszigetelő anyagok fejlesztésében. Ő irányította már akkor a hőszigetelő anyagok marketingtevékenységét, a tájékoztató anyagok írását, az előadások, konferenciák szervezését.

Hat nemzetközi perlit konferencia szervezőbizottságának elnöke volt. Szakcikkeivel hozzájárult a perlit elterjesztéséhez. 1949-től az Építéstudományi Egyesület alapító tagja. 1964-ben műszaki doktori címet szerzett. 1985-ben az Épületszerkezettani Tanszék javaslata alapján címzetes egyetemi docensi címet kapott. 1997-től tíz éven át vezette és irányította a kárpátaljai építőipari szakembereket oktató delegációt. A munkácsi várban megszervezte a Petőfi- és Rákóczi-emlékszobák helyreállítását. 1998-tól volt a Szilikátipari Tudományos Egyesület (SZTE) társelnöke. 1998-ban a Nemzetközi Perlit Intézet (USA) tiszteletbeli tagjává választották. 1999-ben aranydiplomát kapott. 2010-ben gondozásában megjelent „A magyar perlit 50 éve” című könyv.

Szakmai tevékenysége elismeréseként számos állami kitüntetésben részesült, többek között megkapta a Munka Érdemrend arany fokozatát, az Alpár Ignác-díjat két alkalommal, a MTESZ-díjat, az Eötvös Lóránd-díjat (2004), a Magyar Köztársaság Ezüst Érdemkeresztjét (2006). Két alkalommal pedig (1997, 2012) kiváló munkásságáért miniszteri elismerésben részesült. A Budapesti Műszaki és Gazdasági Egyetemtől „Vasdiplomát”, a Szilikátipari Tudományos Egyesülettől a „Szilikátiparért Emlékérmét, az amerikai Perlit Intézettől „Elismerő és köszöntő oklevelét” kapott, a XIII. kerületi Önkormányzat Díszpolgárnak választotta. Valamennyi elismerés örömmel és boldogsággal töltötte el, mert úgy érezte, nem élt hiába. Egész életében az építőanyag-ipar, a duzzasztott perlit fejlesztését, előrevitelét segítette. Nyugdíjasként sem állt le, nem tudott pihenni. Folyamatosan szervezte a konferenciákat, előadásokat. Mindenkor a szakmai tájékoztatás fontosságát tartotta szem előtt.

Munkája során felkarolta és támogatta az új kezdeményezéseket és a fiatalokat. Mindig önzetlenül segítőkész volt. Emberi és szakmai tekintélyével mindig a magyar emberek és az ország fejlődését akarta elősegíteni. Munkásságát bel- és külföldön egyaránt elismerték és becsülték. Személyét szeretet és megérdemelt tisztelet övezte. Felesége, aki csaknem 65 évet élt szeretetben mellette, mindig segítette és támogatta munkájában.

Június 5-én töltötte volna be 90. életévét, melyet a halál megakadályozott. Gazdag életútját az örökös tenni akarásának köszönheti. Szakmai aktivitás példaként áll előttünk.

Pali bácsi! Nem felejtünk. Nyugodj békében.

(Forrás: Magyar Építéstechnika)

Pál Rudnyánszky, “Father” of the Hungarian perlite, has passed away

He received his degree in architectural engineering 65 years ago, in 1949; in the very same year when *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials* was published under the name of *Építőanyag*. He had his first job at the State Construction Company of Northern Hungary. Later he worked at the Magyar Építő Co., the Bányászati Építő Vállalat Co. and Vegyész Co.

He was the technical manager of the Könnyűbeton és Szigetelőipari Vállalat (KÖSZIG) Co. between 1973–1984. The profile of the company was the development and production of silicate based, inorganic thermal insulation materials (expanded perlite, slag fibre wool, rock fibre wool, aerated concrete). He was one of the founders of the seven factories of the company and he actively participated in material development. He managed the marketing activities of thermal insulation materials, the preparation of product data sheets and the organisation of presentations and conferences.

He was Chairman of the Organising Committee for six international conferences on perlite. With his scientific papers he supported the widespread use of perlite. He was founder member of the Hungarian Scientific Society for Building (ÉTE) from 1949. He received Dr. Univ. degree in 1964. He was awarded with Honorary Associate Professor title in 1985 after the nomination by the Dept. of Building Construction. Since 1997, he was the leader for 10 years of the delegation of experts for the education of colleagues working in the construction industry in Transcarpathia. He organised the renovation of the memorial rooms of Petőfi and Rákóczi in the castle of Munkács. He was the Co-President of the Scientific Society of the Silicate Industry (SZTE) since 1998. He became the honorary member of the International Perlite Institute (USA) in 1998. He received Golden Diploma in 1999. He edited the “50 years of the Hungarian perlite” book in 2010.

His professional activities were awarded with several medals and orders of merit including the Golden Level of Medal for Labour Valour, the Alpár Ignác Award (twice), the MTESZ Award, the Eötvös Lóránd Award (2004), the Silver Cross of Merit of the Republic of Hungary (2006), Ministry Recognition for Labour Excellence (1997 and 2012). He received the Iron Diploma from BME, the Medallion for the Silicate Industry from SZTE, the Recognition Diploma from the American Perlite Institute and the XII. district of Budapest awarded him with the Honorary Citizen title. He received all of his recognitions with happiness that gave him the feeling of being in good service for the society. He supported the development and progress of the construction materials industry, particularly that of the expanded perlite during all of his life. He did not, he could not stop working during his retirement years. He continuously organised conferences and presentations. Importance of the dissemination of professional knowledge was one of his priorities. He always supported new ideas and young colleagues and was always selflessly helpful. He always intended to promote the development of Hungary and Hungarian people with his professional and human values. His life achievement was respected both in Hungary and abroad. He was surrounded with deserved love and respect. His wife always helped and supported his work during their 65 years spent together in love.

Death arrived just before his 90<sup>th</sup> birthday that would have been on the 5<sup>th</sup> of June, 2014.

Dear Uncle Pali! We do not forget you. May your soul rest in peace.

(Source: Magyar Építéstechnika)

# The Concrete Centre



## **Low carbon:**

Concrete is essential to deliver thermal mass and energy efficiency. The superior thermal performance properties of concrete can provide considerable in-use energy savings over the lifetime of buildings.



## **Recycled:**

Concrete is the ultimate solution for material efficiency. In 2012 the concrete industry consumed 62 times more recovered and waste material than the waste it sent to landfill.



## **Responsibly sourced:**

Concrete is a local, responsibly sourced building material. Concrete is a local material and its usage leads to social, economic and environmental benefits; including local skills development, local employment and local accountability for environmental impacts.