

építőanyag

A Szilikátipari Tudományos Egyesület lapja

Journal of Silicate Based and Composite Materials

A TARTALOMBÓL:

- Influence of electric arc furnace slag on characterisation of the produced geopolymer composites
- High performance lightweight noise barrier with carbon fibre reinforced concrete
- Combined fire protection covers
- Effect of grain size of MgO powder on the physico-mechanical properties of magnesium oxysulfate cement paste
- Review of the GPD2015 international glass conference in Finland
- Development of compressive strength of HPC with the use of supplementary cementing material (SCM) combination

2015/3



We are pleased to announce the organization of

ic-cmtp4

THE 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPETITIVE MATERIALS AND TECHNOLOGY PROCESSES

to be held at Hunguest Hotel Palota Lillafüred in Miskolc, Hungary, October 3-7, 2016.

The 2nd 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-cmtp4** 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-cmtp4** conference and we are looking forward to welcome you in **Miskolc, Hungary in October 3-7, 2016**.

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-cmtp4** 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.

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

Promote new methods and results of scientific researches and multidisciplinary applications of material science and technological problems encountered in sectors like ceramics, glasses, metal alloys, thin films, aerospace, automotive and marine industry, electronics, energy, security, safety and construction materials, chemistry, medicine, cosmetics, biosciences, environmental sciences are of particular interests.

Sessions

Session 1: Advanced Materials for Bio- and Medical Applications
Session 2: Advanced Materials for Extreme Applications
Session 3: Advanced Nanomaterials with Predesigned Properties
Session 4: Biomaterial Derived Ceramics and Composites
Session 5: Glasses, Coatings and Related Materials
Session 6: Hetero-Modulus, Hetero-Viscous 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 Applications
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: Refractory and Fireproof Materials

The peer reviewed and accepted papers of **ic-cmtp4** 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.

The organizers hope that you will attend on **ic-cmtp4** conference and can welcome you in **Miskolc, Hungary in October 3-7, 2016**.



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

TARTALOM

- 81** Elektrokemence salak hatása geopolimer kompozitok tulajdonságaira
Hisham M. M. KHATER
- 90** Nagy teljesítőképességű könnyűbeton zajvédő fal szénszál erősítéssel betonból
Henrik L. FUNKE ■ Sandra GELBRICH ■ Lothar KROLL
- 94** Kombinált tűzvédelmi burkolatok
PÁKOZDI Csaba ■ LUBLÓY Éva ■ CZOBOLY Olivér
- 98** MgO por szemcseméretének hatása oxiszulfát cement pépek fizikai, mechanikai jellemzőire
Ayman M. KANDEEL
- 102** Beszámoló a finnországi GPD2015 nemzetközi üveg konferenciáról
JAKAB András ■ NEHME Kinga ■ Salem Georges NEHME
- 110** Nagy teljesítőképességű betonok nyomószilárdsága cement kiegészítő anyagok kombinált alkalmazása esetén
BOROSNYÓI Adorján

CONTENT

- 81** Influence of electric arc furnace slag on characterisation of the produced geopolymer composites
Hisham M. M. KHATER
- 90** High performance lightweight noise barrier with carbon fibre reinforced concrete
Henrik L. FUNKE ■ Sandra GELBRICH ■ Lothar KROLL
- 94** Combined fire protection covers
Csaba PÁKOZDI ■ Éva LUBLÓY ■ Olivér CZOBOLY
- 98** Effect of grain size of MgO powder on the physico-mechanical properties of magnesium oxysulfate cement paste
Ayman M. KANDEEL
- 102** Review of the GPD2015 international glass conference in Finland
András JAKAB ■ Kinga NEHME ■ Salem Georges NEHME
- 110** Development of compressive strength of HPC with the use of supplementary cementing material (SCM) combination
Adorján BOROSNYÓI

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
tiszteltetbeli 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. KOCSEKHA István,
Dr. KOVÁCS Kristóf, Prof. Dr. Sergey N. KULKOV,
MATTYASOVSKY ZSOLNAY Eszter, Dr. MUCSI Gábor,
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

TANÁCSADÓ TESTÜLET • ADVISORY BOARD

FINTA Ferenc, KISS Róbert, Dr. MIZSER János

A folyóiratot referálja • The journal is referred by:
Cambridge Scientific Abstracts



A folyóiratban lektorált cikkek jelennek meg.
All published papers are peer-reviewed.
Kiadó • Publisher: Szilikátipari Tudományos Egyesület (SZTE)
Elnök • President: ASZTALOS István
1034 Budapest, Bécsi út 122-124.
Tel./fax: +36-1/201-9360
E-mail: epitoanyag@szte.org.hu
Tördelőszerkesztő • Layout editor: NÉMETH Hajnalka
Címlapfotó • Cover photo: KÓSA Luca Kornélia

HIRDETÉSI ÁRAK 2015 • ADVERTISING RATES 2015:

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 • 67 (2015) 81–116

AZ SZTE TÁMOGATÓ TAGVÁLLALATAI

SUPPORTING COMPANIES OF SZTE

3B Hungária Kft. • Air Liquide Kft. • Anzo Kft.
Baranya Téglá Kft. • Berényi Téglaiipari Kft.
Budai Téglá Zrt. • Budapest Kerámia Kft.
Cerlux Kft. • Colas-Északkő 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 Kft.
RATH Hungária Kft. • Rockwool Hungary Kft.
Speciál Bau Kft. • Szema Makó Kft. • SZIKKTI Labor Kft.
WITEG Kőporc Kft. • Zalakerámia Zrt.

Influence of electric arc furnace slag on characterisation of the produced geopolymer composites

HISHAM M. M. KHATER • Housing and Building National Research Centre (HBNRC)

■ hkhater4@yahoo.com

Érkezett: 2015. 07. 02. ■ Received: 02. 07. 2015. ■ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.13>

Abstract

Effect of various doses of electric arc furnace slag (EAFS) – a by-product of steelmaking recovered after the oxidizing process – along with water cooled slag and cement kiln dust for the evaluation of optimum ratio of the added EAFS was studied. Results showed that the compressive strength of geopolymer specimens increases with EAFS up to 50% then decreases with further slag increase, giving an increased mechanical strength than the control by 7.94%, 23.9%, 80.8% and 17.8% at ages of 90 days and 9.49, 32.03, 89.68 and 37.6% at 120 days for replacement by 10, 25, 50 and 75% of EAFS, respectively. It is noticed that the enhancement in strength increases with EAFS and with curing time; even the full replacement by EAFS leads to further strength gain more than 10% replacement.

Keywords: geopolymer, GGBFS, EAFS, alkali, activator.

1. Introduction

In 1978, Davidovits [1] introduced the word *geopolymer* to describe an alternative cementitious material which has ceramic-like properties. As opposed to OPC, the manufacture of aluminosilicate-based geopolymer does not consume high levels of energy. This geopolymer technology has the potential to reduce emissions by 80% [2] since high calcining temperature is not required. It also exhibits ceramic-like properties with superior resistance to elevated temperatures at fire. Geopolymer can be produced by combining a pozzolanic compound or aluminosilicate source material with highly alkaline solutions [3]. Geopolymer can be thought of as a new generation binder as a substitute for the calcium silicate hydrate which are essential component of Portland cement, whereas cement plants are reported to emit up to 1.5 billion tons of CO₂ into the atmosphere annually [4, 5]. Hence, environmental preservation has become a driving force behind the search for new sustainable and environmentally friendly composites to replace conventional concrete produced from ordinary Portland cement (OPC).

Geopolymer binders exhibit technological and ecological advantages in comparison with OPC, and the industrial use of geopolymer concretes in the production of high performance building materials is expanding [6]. Different alkaline solutions based on alkali metal hydroxides, carbonates and silicates have been used over the past decades for the production of alkali-activated binders [7]. A strong dependence on the nature of the alkaline activator in the structural and mechanical development of these binders has been identified throughout the literature.

Ferrous slags may be divided into two broad classes: those arising from the smelting of ores and those formed during refining of iron into steel. The former is mainly blast furnace slag, which is produced in very large amounts in many developed countries as a by-product of the manufacture of iron in blast furnace. It results from the fusion of limestone flux with ash from coke, the siliceous and aluminous residue remaining

after the reduction and separation of the iron from the ore. The production of iron and slag in a blast furnace involves a continuous, rather than batch process, with both materials being produced in molten, homogeneous states. Much of the iron and steel slag produced around the world are air-cooled slowly, leading to the formation of a crystalline product. However, if the molten slag is cooled rapidly, for example by quenching with water, a granular glassy material is produced. This material, if collected, dried and ground to sufficient fineness is known to have latent hydraulic properties [8].

It has been established that the main products of slag hydration are essentially the same as the principal product formed when OPC is hydrated [9, 10] that is, calcium silicate hydrate (C-S-H). The main factors known to influence the hydraulic activity of slag cement include chemical composition, glass content, and fineness, activator content, curing temperature and water/cementitious material ratio [11]. Ground granulated blast furnace slag (GGBS) has been used for decades as partial replacement material in concrete and has well established standards describing their use [11-14]

A more modern process involves the use of electric arc furnace such as that used by the Libyan Iron and Steel Company. The electric arc furnace is able to produce very precise alloys when compared to the older Bessemer and open-heart techniques. According to the technical bulletin produced by the Libyan Iron and Steel Company [15], the company produces sponge iron by the direct reduction of iron ore with locally produced natural gas. This sponge iron is subsequently converted into steel in an electric arc furnace, which uses an electric arc to heat the raw materials. In addition to the sponge iron, several other materials are added which includes; steel scrap, fluorspar, limestone and dolomite. The end product of the oxidation process is steel plus large quantities of slag. This type of steel slag is known to have similar composition to Portland cement clinker; having significant quantity of C₂S and C₃S [16]. This waste material is traditionally utilized for road bases and as aggregates in concrete production in many countries [17]. Its

Hisham Mustafa Mohamed KHATER

Ph.D. in Physical Chemistry, 2009. Associated Professor in Cement chemistry and Raw Building Materials Technology and Processing since 2015. Researcher in Raw Building Materials Technology and Processing Research Institute, Housing and Building National Research Center (HBNRC). Supervisor of XRF laboratory for the chemical analysis of all type of raw building materials, accredited from International American Service IAS 17025 since 2005. Research interest: X-ray fluorescence spectroscopy, X-ray diffraction, Fourier Transformer-IR spectroscopy, differential thermal analysis, chemical analysis of cements, recycling of waste materials, assessment of clay minerals, low cost and environmentally green building materials, nanotechnology in building materials. Author of more than 20 papers.

use as cement replacement material has also been established; however this is limited by a general lack of understanding of its hydration process and by its heterogeneity, coarseness and higher particle density [18, 19].

Cement kiln dust (CKD) on the other hand, is a by-pass of cement plant production that contains partially calcined materials with some hydraulic and cementitious properties. Due to the presence of certain chemical constituents (high alkali, chloride, and sulphate content), which may cause problems in kiln operation and cement performance, CKD usually cannot be returned into the feedstock and has to be discarded. Alkalis from CKD may activate the hydration of slag constituents creating a cementitious material in which the waste material deficiencies will be converted into benefits.

Khater [20] studied the effect of cement kiln dust on alkali activated slag and studied their resistance against sulphate attack; results indicates that use of 25% cement kiln dust to slag materials leads to good enhancement in geopolymer structure. Effect of cement kiln dust on activation of geopolymer composite containing phosphogypsum and fly ash results in very good enhancement in thermal stability up to 1200 °C by using 10 and 20% phosphogypsum was also studied by Khater and Zedane [21].

Khater [22] also studied thermal and acid resistance of alkali activated slag geopolymer, the results illustrate that geopolymer materials prepared using alkali activated slag exhibit considerable changes in compressive strength with increasing firing temperature from 300–1000 °C and possessing an enhancement in thermal stability as compared to concrete specimens. Replacement of GGBFS by 15% air cooled slag (ACS) resists thermal deterioration up to 1000 °C. It was suggested to be suitably applied in the refractory insulation applications as well as for production of concrete nuclear reactors. On the other hand, geopolymer mixes exhibit low stability upon subjecting to different concentration from the mix of nitric and hydrochloric acid in equal ratio (1:1).

The main target of this paper is to study the effect of addition of various doses of electric arc furnace slag on the expense of the added water cooled one at constant ratio of cement kiln dust (25 %) as elucidated from Khater [20], for getting the optimum ratio of electric arc furnace slag along with water cooled slag and study their effect on the mechanical and microstructural characteristics.

2. Experimental procedures

2.1. Materials

The materials, which used in this investigation, are ground granulated water cooled blast furnace slag (GGBFS), air cooled

electric arc furnace slag sourced from Iron and Steel Factory-Helwan, Egypt, and cement kiln by-pass dust from Beni-Suef Cement Factory, Egypt. The chemical compositions of the starting raw materials are tabulated in Table 1. Slag is formed from the dominant content of SiO₂ and MnO, Fe₃O₄, CaO, and Al₂O₃. This way the coefficient of basicity, defining the ratio of base to acid oxides in the slag, is a suitable indicator for the definition of the oxidative capacity of the slag [23, 24]:

$$\text{Basicity Coefficient} = [\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \dots] / [\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3] \quad (1)$$

The use of the term *acid* and *base* are of course not those employed in aqueous solutions: in the present context, bases are oxygen donors, e.g. Ca, Na and K, while acids, e.g. S and Cr, both in their (VI) oxidation state, are oxygen acceptors. By following the above equation, the basicity of water cooled slag will be equal to 1.0 and basicity of electric arc furnace slag is 0.96; this indicates the increased oxidative capacity of EAFS than that of water cooled one.

The hydraulic modulus (HM) also is defined as [25]:

$$\text{HM} = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2 \quad (2)$$

It is suggested that the HM of the slag materials should exceed 1.40 to ensure sound hydration property, where the HM of water cooled slag is equal to 1.39 and that of electric arc furnace slag is equal to 5.02, where the last value reflects the better hydration properties of electric arc furnace slag and confirms the latent hydraulic properties of water cooled slag.

The mineralogical composition is represented in Fig. 1; where ground granulated blast furnace slag materials composed of amorphous materials and EAFS composed of hematite, mullite and calcite and minor content of quartz. Cement dust pattern depicts that it is composed of calcite and a minor content from halite and sylvite.

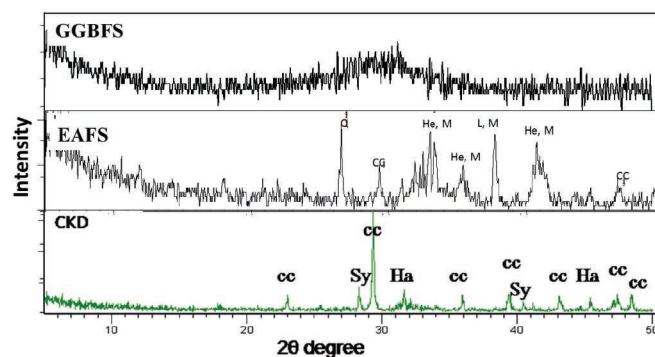


Fig. 1. Mineralogical composition of starting raw materials [Q: Quartz (SiO₂), CC: Calcite (CaCO₃), Sy: Sylvite (KCl), Ha: Halite (NaCl), He: Hematite (Fe₂O₃), M: Mullite (aluminum silicate)]

1. ábra Kiindulási alapanyagok ásványos összetétele [Q: Kvarc (SiO₂), CC: Kalcit (CaCO₃), Sy: Szilvit (KCl), Ha: Halit (NaCl), He: Hematit (Fe₂O₃), M: Mullit (alumino-szilikát)]

Oxide content (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Cl ⁻	SrO	BaO	L.O.I.	Total
Water —Cooled Slag (GGBFS)	36.67	10.31	0.50	38.82	1.70	2.17	1.03	0.48	0.57	4.04	0.04	0.05	0.18	3.28	0.12	99.96
Electric arc furnace slag (EAFS)	8.20	0.73	38.89	39.52	0.88	0.24	0.34	0.25	0.22	8.14	2.20	0.02	0.03	0.13	0.11	99.90
By-Pass Cement Kiln Dust (CKD)	8.29	2.84	2.07	51.90	0.57	2.09	3.42	2.63	0.14	0.13	0.13	6.120	–	–	19.59	99.90

Table 1. Chemical composition of starting materials (m %)
1. táblázat A kiindulási anyagok kémiai összetétele (m%)

2.2. Experimental regime

Geopolymer mixes were made by hand-mixing raw materials of each mixture passing a sieve of 90 μm with the cement kiln dust for 10 min and a further 5 min with an electronic mixer as represented in Table 2. The water-binder ratio (w/b) was 0.34 by mass. The paste mixture was cast into 25×25×25 mm cubic-shaped moulds, vibrated for compaction and sealed with plastic sheet to minimize any loss of evaporable water.

Mix no.	Water cooled slag (GGBFS)	Electric arc furnace slag (EAFS)	Cement kiln dust (CKD)	Total $\text{M}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Total $\text{M}_2\text{O}/\text{SiO}_2$
A1	90	10	25	0.45	3.57	0.08
A2	50	25	25	0.53	3.71	0.09
A3	25	50	25	0.80	4.20	0.12
A4	75	–	25	0.41	3.50	0.08
A5	–	75	25	2.08	6.54	0.20

Table 2. Composition of the geopolymer mixes (m %)
2. táblázat Geopolimer keverékek összetétele (m%)

All mixes were left to cure undisturbed under ambient temperature for 24 hour then subjected to curing temperature of 40 °C with a 100% relative humidity. At the end of the curing regime, the specimens were subjected to the compressive strength measurements and then the resulted crushed specimens were exposed to stopping of the hydration process using stopping solution of alcohol/acetone (1:1) followed by washing with acetone as recommended by different investigators [26–28] to prevent further hydration and for further analysis followed by drying of the crushed specimens for 24 hr at 80 °C, then preserved in a well tight container until the time of testing.

2.3. Methods of investigation

Chemical analysis was carried out using Axios, WD-XRF Sequential Spectrometer (Panalytical, Netherlands, 2009). Compressive strength tests were carried out using five tons German Brűfpressing machine with a loading rate of 100 kg/min determined according to the ASTM [29]. The microstructure of the hardened alkali activated water cooled slag was studied using SEM Inspect S (FEI Company, Netherlands) equipped with an energy dispersive X-ray analyzer (EDX). The stopping of the progressed hydration was accomplished by subjecting the crushed samples to alcohol/acetone mix as recommended by different investigators [26, 27]. Bonding characteristics of the alkali activated specimens were analyzed using a Nicolet-6700 Fourier transformed infrared spectrometer FTIR. Test sample was ground and uniformly mixed with KBr at a weight ratio KBr: specimen=200:1. The mixture, 0.20 g was pressed to a disk of 13 mm in diameter for analysis at 8 t/cm². The wave number was ranging from 400 to 4000 cm⁻¹ [20, 30].

3. Results and discussion

3.1. Effect of electric arc furnace slag on characteristics of the produced geopolymer

FTIR spectra of 28 days cured (40 °C and 100% RH) geopolymer specimens having various cement dust content

are shown in Fig. 2. Bands description are as follow: Stretching vibration of O-H bond at about 3430, 1600 cm⁻¹, stretching vibration of CO₂ located at about 1410 cm⁻¹, asymmetric stretching vibration (T–O–Si) at about 975 cm⁻¹ where T=Si or Al, symmetric stretching vibration of CO₂ at about 870cm⁻¹, symmetric stretching vibration (Si–O–Si) in the region 676–700 cm⁻¹ and bending vibration (Si–O–Si and O–Si–O) in the region of 430–445 cm⁻¹.

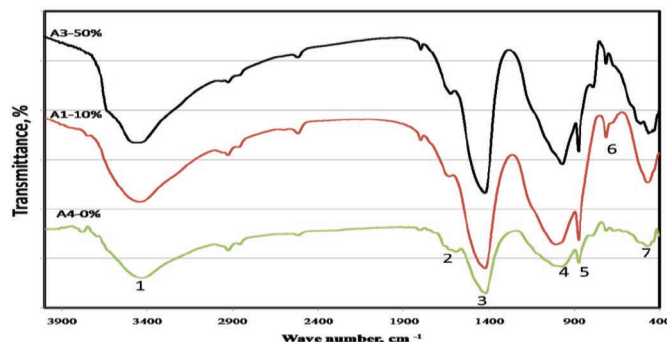


Fig. 2. FTIR spectra of 28days geopolymer specimens having various ratios of EAFS [1: Stretching vibration of O-H bond, 2: Bending vibrations of (HOH), 3: Stretching vibration of CO₂, 4: Asymmetric stretching vibration (T-O-Si), 5: Symmetric stretching vibration of CO₂, 6: Symmetric stretching vibration (Si-O-Si), 7: Bending vibration (Si-O-Si and O-Si-O)]
2. ábra Különböző mennyiségben EAFS adalékot tartalmazó geopolimer próbatestek FTIR spektrumai 28 napos korban [1: Vegyértékrezgés O-H kötés, 2: Deformációs rezgés (HOH), 3: Vegyértékrezgés CO₂, 4: Aszimmetrikus vegyértékrezgés (T-O-Si), 5: Szimmetrikus vegyértékrezgés CO₂, 6: Szimmetrikus vegyértékrezgés (Si-O-Si), 7: Deformációs rezgés (Si-O-Si és O-Si-O)]

The pattern indicates the growth and the broadness of the main asymmetric band at about 975 cm⁻¹ with EAFS increase up to 50% and shifted to a lower wave number values reflecting the increase in the vitreous content with EAFS addition, the increased intensity with EAFS indicates the growth of the amorphous content of N-A-S-H gel which has a positive effect on enhancement in the mechanical properties of the resulting structure, where the aluminosilicate polycondensation reactions promoted and increased with EAFS addition up to 50%, resulting in growth of N-A-S-H gel and the binding gels (C–(A)–S–H for slag. This is coherent with the increased intensity of hydration band at about 3400 and 1600 cm⁻¹, where inclusion of EAFS, with its high hydraulic modulus as indicated from Eq. (2) and most specifically its role in supplying soluble Ca²⁺ ions, forming additional CSH phases in addition to N-A-S-H as well as N-(C)–A-S-H gives extra strengthening of the matrix structure [31].

The increase in intensity of the Si–O–(Si, Al) asymmetric band in addition to the shift to higher wavenumber (from 690 to 779 cm⁻¹) with increased contents of EAFS up to 50% suggests the modification of the aluminosilicate framework compared with solely GGBFS based geopolymers as a consequence of cation substitution in the non-framework sites [24]. The bending vibration band at about 430–445 cm⁻¹ increases also with EAFS increase.

The appearance of bands in the regions of 1430 cm⁻¹ (ν C–O), and 867cm⁻¹ (δ C–O) are typical of CO₃²⁻ vibrational groups, present in inorganic carbonates [32], the increased intensity of carbonate is mainly due to the carbonate in CKD and

carbonation of the free alkalis lies within CKD, in addition to growth of carbonate with EAFS where the carbonates identified in this raw material do not react significantly under alkaline activation conditions [24].

The SEM microstructure of 90 days cured geopolymer specimens having 10 and 50% EAF slag using 25% CKD as an activator for geopolymerization reaction is shown in Fig. 4. The micrograph of 10% EAF slag (Fig. 3.a) indicates that the heterogeneity of the matrix with the dispersing of geopolymer plates within the structure in addition to calcium silicate hydrate that formed by the interaction of hydrated lime in CKD and free calcium ions in slag with dissolved silica forming CSH which increase the binding characteristics of three dimensional geopolymer structure. Further increase in the EAFS results in the increase of CSH and offers more nucleation sites for geopolymer formation leading to a homogeneous and hard structure [33], also the increased iron content with EAFS offers additional balancing cations for the three dimensional network forming more stable and homogeneous network [3, 34].

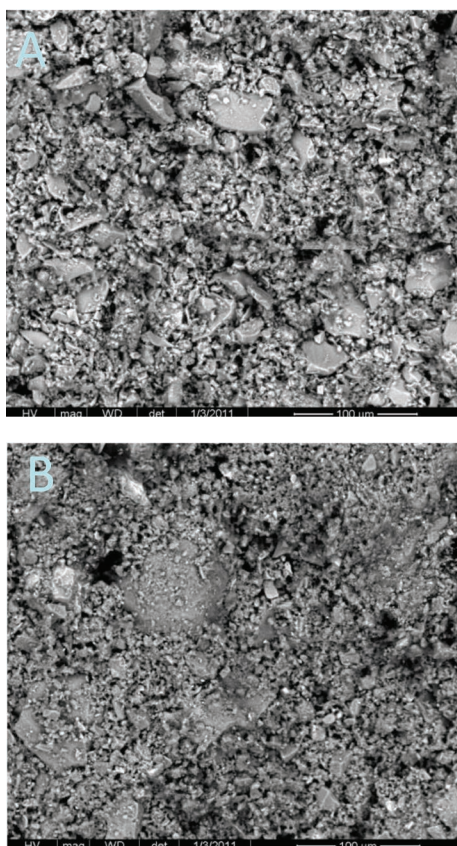


Fig. 3. SEM micrograph of 90 days alkali activated geopolymer specimens having (a) A1 containing 10% ACS, (b) A3 containing 50% ACS

3. ábra Alkáli aktivált geopolimer minták elektronmikroszkópos képe 90 napos korban (a) A1 minta, 10% ACS tartalom, (b) A3 minta, 50% ACS tartalom

Fig. 4 shows the compressive strength of geopolymer mixes that were cured at 40 °C and 100% RH, up to 120 days using 25% CKD as an activator for the reaction. It is known that the compressive strength of geopolymers is related to the degree of polymerization, which is strongly affected by the soluble silicates and aluminates of the geopolymeric system. The higher the degree of polymerization in the geopolymeric structure, the higher the obtained compressive strength.

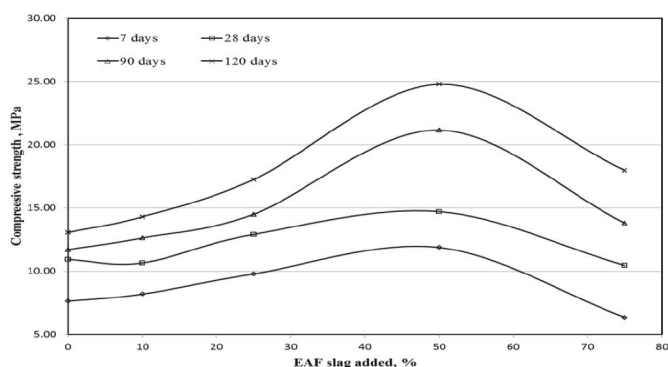


Fig. 4. Compressive strength of alkali activated slag geopolymer specimens using various ratios of EAFS

4. ábra Különböző mennyiségben EAFS adalékot tartalmazó geopolimer próbatestek nyomószilárdsága

It is found that the compressive strength of geopolymer specimens increase with EAFS up to 50% then decrease with further slag increase, giving an increased mechanical strength than the control by 7.94%, 23.9%, 80.8% and 17.8% at ages of 90 days and 9.49, 32.03, 89.68 and 37.6% at 120 days for replacement by 10, 25, 50 and 75% of EAFS, respectively. It is noticed that the enhancement in strength increases with EAFS with curing time; even the full replacement by EAFS leads to further strength gain more than 10% replacement.

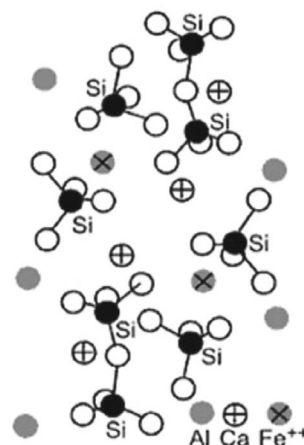


Fig. 5. Schematic structure of geopolymer skeleton charge balanced with calcium and iron cations

5. ábra Geopolimer váz sematikus szerkezete, kalcium és vas kationok töltésgyensúlyjal

This can be explained by the high alkali content that lie within CKD and leads to the increase of pH of the medium and so the degree of polymerization of the resulting product, also EAFS is much harder than water cooled grains due to the high iron content as represented clearly in Table 1. The effect of combination of 50% EAFS in addition to 25% GGBFS in a mix likely causes a higher strength since the anhydrous part of the EAFS contributes strongly to strength as compared to water cooled grains [35]. It is also likely that this is attributed to the fact that Ca^{2+} , Fe^{3+} are capable of acting as charge-balancing cations within the geopolymeric binder structure [3,34].

The efficiency of the EAFS geopolymer pastes were computed based on the equation proposed by Atis [36] for fly ash concrete. The equation was based on the normalization

of the compressive strength of concrete with the quantity of cementitious materials. The equation for the same curing conditions and for the same water to binder ratio at specific curing age, is as follows:

$$k = \frac{\left(\frac{f_c(t)_{fa}}{f_c(t)_{npc}} - 1 \right)}{r_{fa}} + 1$$

Where, k is the efficiency factor of EAFS, c is the quantity of total cementitious binder (s), fa is the quantity of EAFS, r is the replacement ratio of EAFS (i.e., 0.3 for 30%, 0.5 for 50% replacement), $f_c(t)_{np}$ is the compressive strength of geopolymer mix containing any EAFS at time t , f is compressive strength of EAFS at time t .

From Fig. 6, the efficiency factor of the geopolymer pastes increases gradually with the increase of the EAFS content up to 50% giving an efficiency value of 2.88% after 120 days, while decreases with 75% EAFS reaching the value of 2.36%. This is coherent with the increased hydraulic modulus of EAFS (HM=5.02) than water cooled slag (HM=1.39) which positively increases the efficiency factor ratios as represented in Fig. 6, which in turn reflects the better hydration properties of electric arc furnace slag while confirms the latent hydraulic properties of water cooled slag. However, the basicity of water cooled slag which is equal to 1.0 and basicity of electric arc furnace slag is equal to 0.96; indicating the increased oxidative capacity of EAFS than that of water cooled slag.

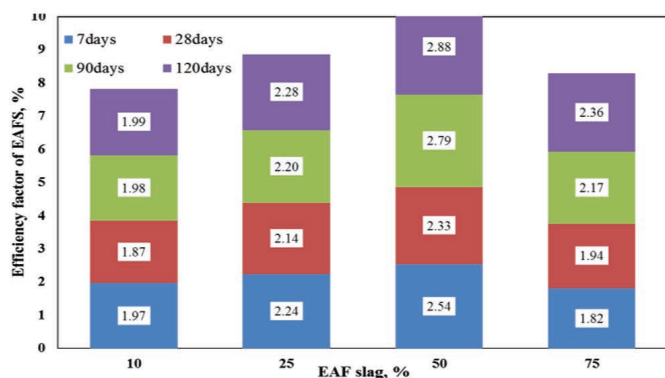


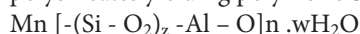
Fig. 6. Efficiency factor of alkali activated slag geopolymer specimens using various ratios of EAFS.

6. ábra Különböző mennyiségben EAFS adaleköt tartalmazó geopolimer próbatestek hatékonysági faktora

A series of five Na (K)-PSS polymer compositions were determined statistically from the oxide ratios of the five mixing geopolymer specimens as indicated in Table 2, where using 50% EAFS gives higher values of total M_2O/Al_2O_3 , total M_2O/SiO_2 and SiO_2/Al_2O_3 equal to 0.80, 0.12 and 4.20, respectively, which ascribed to the strength increase with EAFS up to 50%. It was suggested that the optimum range of oxide molar ratios [37, 38]: $0.2 < M_2O/SiO_2 < 0.48$, $3.3 < SiO_2/Al_2O_3 < 4.5$ resulting in three dimensional networks with a more branched structure and so homogeneous and compact structure formed.

A higher strength geopolymer is associated with a more desirable internal microstructure [39]. Mechanism of geopolymers involves the polycondensation reaction of

geopolymeric precursors i.e. alumino-silicate oxide with alkali polysilicates yielding polymeric Si-O-Al bond [40-43].



where M is the alkaline element, z is 1, 2 or 3 and n is the degree of polycondensation [41]. Davidovits suggested that certain synthesis limits existed for the formation of strong products; satisfactory compositions lay in the range M_2O/SiO_2 , 0.2 to 0.48; SiO_2/Al_2O_3 , 3.3 to 4.5; H_2O/M_2O , 10–25; and M_2O/Al_2O_3 , 0.8 to 1.6 [40, 42, 43]. The geopolymeric alumino-silicate has been grouped in three families depending on the atomic ratio Si/Al that may be 1, 2 or 3 [43]. Amorphous to semi-crystalline three dimensional alumino-silicate structures are of the poly(sialate) type (Si-O-Al-O-), the poly(sialate-siloxo) type (Si-O-Al-O-Si-O-), and the poly(sialate-disiloxo) type (Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-) [40].

On the contrary, using 75% EAFS gives total M_2O/Al_2O_3 , total M_2O/SiO_2 and SiO_2/Al_2O_3 equal to 2.08, 0.20 and 6.54, respectively, the increased previous ratios results in lowering in strength where the formed geopolymer structure is of two dimensional chains from poly-sialate disiloxo rather than the three dimensional network formed by using 50% EAFS, in addition to the pessimum effect of the increased iron content as stated by Daux et al. [44] where, dissolution of aluminosilicate precursors containing significant levels of network-forming Fe^{3+} under slightly alkaline conditions, reprecipitation of dissolved Fe was much faster than the reprecipitation of Si and Al. It is therefore most likely that any reactive Fe present during geopolymerization behaves similarly, and reprecipitates very rapidly as hydroxide or oxyhydroxide phases and so lowers the alkali activator content necessary for the activation.

4. Conclusions

1. In the presence of Ca contained ingredients (slag) as a result of geopolymer coexistence and C-S-H phase and maximal geopolymer strength was reached.
2. Cement kiln dust has high alkalis content and free lime that can efficiently be utilized in the activation of industrial slag wastes results in the production of environmentally friendly cementing materials that can be applied in various building purposes.
3. Uses of electric arc furnace slag can be effectively used up to 50%, while further increase leads to increase in the iron content that will precipitate as hydroxide and lower the medium alkalinity.
4. Using 50% EAFS results in the growth of the amorphous content of N-A-S-H gel and the binding gels (C-(A)-S-H which has a positive effect on enhancement in the mechanical properties of the resulting structure.
5. The effect of combination of 50% EAFs in addition to 25% GGBFS in a mix as is likely to cause a higher strength values, also the Ca^{2+} , Fe^{3+} are capable of acting as charge-balancing cations within the geopolymeric binder structure.
6. The compressive strength of geopolymer specimens increase with EAF slag up to 50% then decrease with further slag increase, giving an increased mechanical strength than the control by 7.94%, 23.9%, 80.8% and

17.8% at ages of 90 days and 9.49, 32.03, 89.68 and 37, 6% at 120 days for replacement by 10, 25, 50 and 75% of EAFS, respectively.

7. It is noticed the enhancement in strength increase with EAFS with curing time; even the full replacement by EAF slag leads to further strength gain more than 10% replacement.
8. The efficiency factor of the geopolymer pastes increases gradually with the increase of the EAF slag content up to 50% giving an efficiency value of 2.88% after 120 days, while decreases with 75% EAFS reaching the value of 2.36%.

References

- [1] Davidovits, J. (1991): Geopolymers: inorganic polymeric new materials. *Journal of thermal analysis*, Vol. 37, No. 8, pp. 1633–1656. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01912193>
- [2] Davidovits, J. (1993): Global warming impact on the cement and aggregates industries. *World Resource Review*, Vol. 6, No. 2, pp. 263–278.
- [3] Davidovits, J. (1994): Properties of geopolymer cements. *Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Scientific Research Institute on Binders and Materials*, Kiev State Technical University, Kiev, Ukraine, 1994, pp. 131–149.
- [4] Malhotra, V. M. (2002): Introduction: sustainable development and concrete technology. *ACI Concrete International*, Vol. 24, No. 7, p. 22.
- [5] Mehta, P. K. (2002): Greening of the concrete industry for sustainable development. *ACI Concrete International*, Vol. 24, No. 7, pp. 23–28.
- [6] Van Deventer, J. S. J. – Provis, J. L. – Duxson, P. – Brice, D. G. (2010): Chemical research and climate change as drivers in the commercial adoption of alkali-activated materials. *Waste and Biomass Valorization*, Vol. 1, No. 1, pp. 145–155. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-010-9015-9>
- [7] Provis, J. L. (2009): Activating solution chemistry for geopolymers. In: Provis, J.L., van Deventer, J.S.J. (eds.) *Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*, pp. 50–71. *Woodhead Publishing*, Abingdon
- [8] Nwaubani, S.O. – Muntasser, T. Z. (2012): Hydration characteristics of cement pastes incorporating electric arc-furnace slag. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, Vol. 3, No. 11, pp. 291–301. <http://dx.doi.org/10.5897/JCECT12.043>
- [9] Muntasser, T. (2001): Properties and durability of slag based cement in the Mediterranean environment. *PhD Thesis*, Department of Civil Engineering, University of Surrey
- [10] Neville, A. M. (1996): Properties of Concrete. Fourth Edition, *John Wiley & Sons*, 844 p.
- [11] ACI Committee 266 IR-87 (1987) Ground granulated blast-furnace slag as a cementitious constituent in concrete.
- [12] Concrete Society (1991) The use of GGBS and PFA in concrete. *Technical Report*. Vol. 40, No. 142.
- [13] Sersale, R. – Amicarelli, V. – Frigione, G. – Ubbriaco, P. (1996): A study on the utilization of an Italian Steel Slag. *Concresso Internacional de Quimica Do Cimento*, Rio de Janeiro, pp. 194–198.
- [14] Caijun, S. (2004): Steel Slag - Its production, processing, characteristics and cementitious properties. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 16, No. 3, pp. 230–236. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:3\(230\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:3(230))
- [15] George, C. M. – Sorrentino, F. P. (1990): Valorization of basic oxygen steel slags. *International Congress on the Chemistry of Cements*. Paris, pp. 46–50.
- [16] Libyan Iron and Steel Company (1998) Technical specification of products. *Quality Control Department*, Musrata, Libya.
- [17] Manso, J. M. – Polanco, J. A. – Losañez, M. – Gonzalez, J. J. (2006): Durability of concrete made with EAF slag aggregates. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 28, No. 6, pp. 528–534. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.02.008>
- [18] Monshi, A. – Asgarani, M. K. (1999): Producing Portland cement from iron and steel slags and limestone. *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, No. 9, pp. 1373–1377. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00028-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00028-9)
- [19] Moosberg-Bustnes, H. – Lind, L. – Forrßberg, E. (2004): Fine particulate metallurgical by-products: An initial study of the influence on hydration and strength development. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, Vol. 33, No. 1, pp. 15–21. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0692.2004.00663.x>
- [20] Khater, H. M. (2013): Effect of cement kiln dust on Geopolymer composition and its resistance to sulphate attack. *Green Materials*, Vol. 1, No. 1, pp. 36–46. <http://dx.doi.org/10.1680/gmat.12.00003>
- [21] Khater, H. M. – Zedane, S. R. (2012): Geopolymerization of Industrial By-Products and Study of their Stability upon Firing Treatment. *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 2, pp. 308–316.
- [22] Khater, H. M. (2014): Studying the Effect of Thermal and Acid Exposure on Alkali Activated Slag Geopolymer. *Advances in Cement Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 1–9. <http://dx.doi.org/10.1680/adcr.11.00052>
- [23] Mitevka, N. (2000): The influence of technological parameters and the interface phenomena on the copper losses with the slag. *Ph.D. Thesis*, University of Belgrade, Bor, Serbia.
- [24] Bernal, S. A. – Rodríguez, E. D. – Gutiérrez, R. M. – Provis, J. L. – Delvasto, S. (2012): Activation of Metakaolin/Slag Blends Using Alkaline Solutions Based on Chemically Modified Silica Fume and Rice Husk Ash. *Waste and Biomass Valorization*, Vol. 3, No. 1, pp. 99–108. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-011-9093-3>
- [25] Chang, J. J. (2003): A study on the setting characteristics of sodium silicate-activated slag pastes. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, No. 7, pp. 1005–1011. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01096-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01096-7)
- [26] Saikia, N. – Usami, A. – Kato, S. – Kojima, T. (2004): Hydration behavior of ecocement in presence of metakaolin. *Resource Progressing Journal*, Vol. 51, pp. 35–41.
- [27] Taha, A. S. – El-Didamony, H. – Abo El-Enein, S. A. – Amer, H. A. (1981): Physicochemical properties of supersulphated cement pastes. *Zement-Kalk-Gips*, Vol. 34, pp. 351–353.
- [28] El-Sayed, H. A. – Abo El-Enein, S. A. – Khater, H. M. – Hasanein, S. A. (2011): Resistance of Alkali Activated Water Cooled Slag Geopolymer to Sulfate Attack. *Ceramics – Silikáty*, Vol. 55, No. 2, pp. 153–160. http://www.ceramics-silikaty.cz/2011/pdf/2011_02_153.pdf
- [29] ASTM C109M-12 (2012) Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. http://dx.doi.org/10.1520/C0109_C0109M
- [30] Pania, D. – Giannopoulou, I. P. – Perraki, T. (2007): Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 301, No. 1–3, pp. 246–254. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.12.064>
- [31] Buchwald, A. – Tatarin, R. – Stephan, D. (2009): Reaction progress of alkaline-activated metakaolin-ground granulated blast furnace slag blends. *Journal of Materials Science*, Vol. 44, No. 20, pp. 5609–5617. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-009-3790-3>
- [32] Garcia-Lodeiro, I. – Fernandez-Jimenez, A. – Palomo, A. – Macphee, D. E. (2010): Effect on fresh C-S-H gels of the simultaneous addition of alkali and aluminium. *Cement and Concrete Research*, Vol. 40, No. 1, pp. 27–32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.004>
- [33] Temuujin, J. – Van Riessen, A. – Williams, R. (2009): Influence of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymer pastes. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 167, No. 1–3, pp. 82–88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.121>
- [34] Davidovits, J. (1999): Geopolymer'99. *Proceedings of the 2nd International Conference*, 1999
- [35] Heikal, M. – Radwan, M. M. – Morsy, M. S. (2004): Influence of curing temperature on the physicochemical, characteristics of calcium aluminate cement with air cooled slag or water cooled slag. *Ceramics – Silikáty*, Vol. 48, No. 4, pp. 185–196. http://www.ceramics-silikaty.cz/2004/pdf/2004_04_185.pdf
- [36] Atis, C. D. (2005): Strength properties of high volume fly as roller compacted concrete and workable concrete and influence of curing condition. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No. 6, pp. 1112–1121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.07.037>
- [37] Davidovits, J. (1982): Mineral Polymers and Methods of Making Them. *US Patent 4,349,386*
- [38] Davidovits, J. (1999): Chemistry of Geopolymeric Systems Terminology. *Proceedings of the 2nd International Conference*, pp. 99–40.

- [39] Xu, H. – Van Deventer, J. S. J. (2002): Microstructural characterisation of geopolymers synthesised from kaolinite/stilbite mixtures using XRD, MAS-NMR, SEM/EDX, TEM/EDX, and HREM. *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, No. 11, pp. 1705-1716.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00859-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00859-1)
- [40] Van Jaarsveld, J. G. S. – Van Deventer, J. S. J. – Lorenzen, L. (1997): The potential use of geopolymeric materials to immobilise toxic metals: Part I. Theory and applications. *Minerals Engineering*, Vol. 10, No. 7, pp. 659-669.
- [41] Hardjito, D. – Wallah, S. E. 2 Sumajouw, D. M. J. 2 Rangan, B. V. (2004): Brief review of geopolymer concrete. *Proceedings George Hoff Symposium*, ACL, Las Vegas, USA
- [42] Palomo, A. – Glasser, F. P. (1992): Chemically-bonded cementitious materials based on metakaolin. *British Ceramic Transactions and Journal*, Vol. 91, No. 4, pp. 107-112.
- [43] Davidovits, J. – Davidovits, M. – Davidovits, N. (1994): Process for obtaining a geopolymeric alumino-silicate and products thus obtained. *US Patent*, 5,342,595
- [44] Daux, V. – Guy, C. – Advocat, T. 2 Crovisier, J.-L. – Stille, P. (1997): Kinetic aspects of basaltic glass dissolution at 90 °C: role of aqueous silicon and aluminium. *Chem. Geol.*, Vol. 142, No. 1-2, pp. 109-126.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2541\(97\)00079-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2541(97)00079-X)

Ref.:

Khater, Hisham M. M.: *Influence of electric arc furnace slag on characterisation of the produced geopolymer composites*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 3 (2015), 82–88. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.13>

Elektrokemence salak hatása geopolimer kompozitok tulajdonságaira

A cikk bemutatja olyan geopolimerek tulajdonságainak vizsgálatát, amelyekben elektrokemence salak, vízzel hűtött kohósalak és cement kemencehamu optimális arányát keresik. Az eredmények szerint a geopolimer nyomószilárdsága nő az elektrokemence salak 50%-os adagolásáig. Megfigyelhető, hogy az utókezelési idő növelésével az elektrokemence salakot tartalmazó geopolimerek nyomószilárdsága nő. A cement kemencehamu nagy alkáli-oxid és szabad mésztartalma hatékonyan segíti elő a geopolimerek hidratációját.

Kulcsszavak: geopolimer, kohósalak, kemencesalak, alkáli aktiválás



CONFERENCE OBJECTIVES

The **ICCET 2016: 18th International Conference on Concrete Engineering and Technology** aims to bring together leading academic scientists, researchers and research scholars to exchange and share their experiences and research results about all aspects of Concrete Engineering and Technology. It also provides the premier interdisciplinary forum for researchers, practitioners and educators to present and discuss the most recent innovations, trends, and concerns, practical challenges encountered and the solutions adopted in the field of Concrete Engineering and Technology.

CALL FOR CONTRIBUTIONS

All honourable authors are kindly encouraged to contribute to and help shape the conference through submissions of their research abstracts, papers and e-posters. Also, high quality research contributions describing original and unpublished results of conceptual, constructive, empirical, experimental, or theoretical work in all areas of Concrete Engineering and Technology are cordially invited for presentation at the conference. The conference solicits contributions of abstracts, papers and e-posters that address themes and topics of the conference, including figures, tables and references of novel research material. WASET

CONFERENCE PROCEEDINGS

All submitted conference papers will be blind peer reviewed by three competent reviewers. The post conference proceedings will be abstracted

and indexed in the International Science Index, and submitted to be indexed in the Google Scholar, Scopus and Thomson Reuters. The conference abstracts and proceedings book, CD and certificate of presentation will be distributed to the conference participants at the conference registration desk.

SPECIAL JOURNAL ISSUES

ICCET 2016 has teamed up with the Special Journal Issue on Advances in Concrete Engineering and Technology. A number of selected high-impact full text papers will also be considered for the special journal issues. All submitted papers will have opportunities for consideration for this Special Journal Issue. The paper selection will be carried out during the peer review process as well as at the conference presentation stage. Submitted papers must not be under consideration by any other journal or publication. The final decision for paper selection will be made based on peer review reports by the Guest Editors and the Editor-in-Chief jointly. Selected full text papers will be online published as free of charge.

IMPORTANT DATES

Paper submissions	October 12, 2015
Notification of acceptance	October 20, 2015
Final paper submission and authors' registration	December 12, 2015
Conference Dates	January 12 - 13, 2016

WWW.WASET.ORG/CONFERENCE/2016/01/ZURICH/ICCET



The European Group
of Organisations for Fire Testing,
Inspection and Certification

www.egolf.org.uk



EGOLF members have a reputation throughout Europe for the quality of their services. As a minimum level of competence, all laboratories must have accreditation to EN ISO/IEC 17025 and, where relevant EN ISO/IEC 17020 and EN ISO/IEC 17065. There is also a series of Harmonisation Courses run by appointed course providers for the key Euroclassification fire tests. Attendance at these ensures that all members carry out the tests in a consistent manner.

EGOLF “Steps to Excellence” Quality Framework

EGOLF also has its own “Steps to Excellence” Quality Framework which all members sign up to and which is monitored on a six monthly basis to ensure compliance and give manufacturers the reassurance that EGOLF offers the highest quality service.

EGOLF Harmonization Tools

EGOLF strives to ensure that all members implement best practice and work to a level playing field across Europe. With a growing membership of more than sixty members in 24 countries, this challenge becomes ever greater. To this end, EGOLF provides the tools which allow its members to meet continuously higher demands on their quality and to promote consistently excellent performance. These tools include harmonization courses, round robins, helpdesk solutions and EGOLF Recommendations.

EGOLF workshop: Facades and Fire, 29th October at ÉMI in Szentendre, Hungary

Topics of the round table talk

There is a demand for a harmonized method for testing and classification of façade systems in Europe. This is a challenging task since there are many different methods used today, and there is also fast development of new types of façade systems.

The aim of this workshop is to make an inventory of the present situation, and to discuss the possibilities on the development of a European harmonization from a laboratory view.

High performance lightweight noise barrier with carbon fibre reinforced concrete

HENRIK L. FUNKE ▪ Institute of Lightweight Structures, Technische Universität Chemnitz, Germany
▪ henrik.funke@mb.tu-chemnitz.de

SANDRA GELBRICH ▪ Institute of Lightweight Structures, Technische Universität Chemnitz, Germany
▪ sandra.gelbrich@mb.tu-chemnitz.de

LOTHAR KROLL ▪ Institute of Lightweight Structures, Technische Universität Chemnitz, Germany
▪ lothar.kroll@mb.tu-chemnitz.de

Érkezett: 2015. 03. 09. ▪ Received: 09. 03. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.14>

Abstract

High-strength concrete elements exhibiting low system weight and great slenderness can be created with a large degree of lightweight structure using textile-reinforced concrete (TRC) slab and a shell with very high level of sound absorption. The system was developed with the objective of lowering system weight, and then implemented operationally in construction. Arising from the specifications placed on the load-bearing concrete slab, the followings were developed: an adapted fine-grain concrete matrix was assembled, a carbon warp-knit fabric was modified and integrated into the fine concrete matrix, a formwork system at prototype scale was designed enabling noise barriers to be produced with an application-oriented approach and examined in practically investigations within the context of the project. Substantial decrease in weight of the load-bearing concrete slab's system was possible, which led to a decrease in transport and assembly costs.

Keywords: textile-reinforced concrete, noise barrier, high-performance concrete, durability

1. Introduction

Noise is a consequence of increasing mobility and has a negative effect on both human beings and the environment. The continuous rise in traffic density, which grew by more than 70 percent on motorways between 1980 and 2012 [1], has led to greater noise emissions. Today, this makes sound protection measures more important than ever. It does not matter whether these noise barriers are for major roads, motorways or high-speed sections. Such systems are very complex and contain restrictions with regards to load-bearing capacity, serviceability and functionality. Alongside acoustic and mechanical specifications including durability, economic and ecological aspects additionally come to the fore. The objective is savings on resources not just based on optimizing weight and minimizing manufacturing costs but also leading to decreasing expenditure for transport and assembly.

In Germany, about 50 percent of noise barriers are made of concrete. They are mostly composed of a load-bearing layer made from steel reinforced concrete and a noise-absorbing facing concrete shell set up on one or both sides and made from lightweight concrete. The usual material thickness with the load-bearing concrete layer is about 12 to 15 cm due to the concrete coverage needed in terms of passive protection against corrosion. Utilising textile reinforced concrete in this case offers great potential in reducing weight and constructing in a resource-efficient and sustainable manner. Textile reinforced concrete is an innovative high-performance composite material consisting of fine concrete matrix and textile reinforcement [2, 3]. The development of this new type of composite material has made a construction method available which utilizes reinforcement that is generally not susceptible to corrosion due to environmental influences (e.g. air humidity and chloride) [4, 5]. The concrete cover needed in steel reinforced concrete construction can

thus be substantially reduced by employing textile reinforced concrete [6, 7]. Just a few millimeters minimum concrete cover is necessary to safeguard the transfer of bonding forces between the fine concrete matrix and the textile reinforcement [8]. This means that thin-walled, free-formed surfaces can be created with a great degree of lightweight structure that feature low system weight and great slenderness.

This paper reports the development of a noise barrier, which consists of a load-bearing component made of textile reinforced concrete and a noise-absorbent component made of a lightweight concrete. An important part of this work is durability and so the lifespan of the noise barrier.

2. Materials and methods

2.1 Components for load-bearing and noise-absorbent concretes

Table 1 illustrates the qualitative and quantitative composition of the load-bearing concrete and the noise-absorbent concrete. The load-bearing concrete contains, besides type CEM I 52.5 R Portland cement according to EN 206, pozzolanic fly ash and silica fume as binding agents (Table 1), which have a positive action on both fresh and hardened concrete characteristics in respect of sedimentation stability, durability and mechanical strength. Two quartz sands and dolomite powder were utilized as aggregate or filler. The alkali resistant (AR) glass fibres, which lower the propensity to shrinkage cracking and can enhance first crack tensile strength in the concrete, are 12 mm long and have a length mass of 45 tex. The high-performance superplasticiser employed has a 30 percent by weight proportion of polycarboxylate ether (PCE). The noise-absorbent concrete has a monodisperse (single particle) aggregate made of round expanded clay in a fraction of 0 to 2 mm.

Henrik FUNKE

has been research associate at the Chair of Lightweight Structures and Plastic Processing at Chemnitz University of Technology since 2010. He is engaged in the research area of lightweight construction in civil engineering and works with fibre reinforced mineral construction materials. Henrik Funke studied ceramic, glass and construction materials technology between 2004 and 2009 at Freiberg Technical University of Mining and Technology.

Sandra GELBRICH

studied civil engineering at Bauhaus-University Weimar and has been research associate at Chemnitz University of Technology since 2002. Sandra Gelbrich gained here doctorate in 2008 and was associated academic councillor in 2009. She has been head of the research department for lightweight construction in civil engineering at the Chair of Lightweight Structures and Plastic Processing since 2009.

Lothar KROLL

is the Head of the professorship Lightweight Structures and Plastic Processing at Chemnitz University of Technology and the director of the Cetex Institute for Textile and Processing Machines in Chemnitz since 2006 and 2007 respectively. He is the Chief Executive Officer of Federal Cluster of Excellence "MERGE" since 2012 and the Head of Fraunhofer Plastic Center Oberlausitz since 2013.

Component	Load-bearing (kg/m ³)	Absorber (kg/m ³)
White cement 52.5 R	495	250
Amorphous aluminosilicate	150	-
Quartz sand 0/2	310	-
Quartz sand 0/1	900	-
Expanded clay	-	970
Dolomite powder ($x_{5\beta} = 70 \mu\text{m}$)	190	-
Water	210	150
AR-glass fibres (12 mm, integral)	14	-
superplasticizers	15	-
Water-binder-ratio	0.38	0.60

Table 1. Composition of the fine grained concrete mix
1. táblázat A vizsgált finomszemű betonok összetétele

2.2 Textile for textile reinforced concrete

Two layers of a two-dimensional bidirectional warp-knit fabric of carbon were used for the reinforcement of TRC (Fig. 1). The warp and weft yarn had a length weight of 3300 g/km ($\triangleq$ 3300 tex) and a tensile strength of 1576 MPa. The mesh size of the 15 mass percent impregnated warp-knit fabric (measured by thermogravimetry) was 10.8×18.0 mm². The warp and weft yarn consisted of 50000 carbon filaments with a diameter of 7 μm . The degree of reinforcement in concrete was approximately 1.1% by volume.

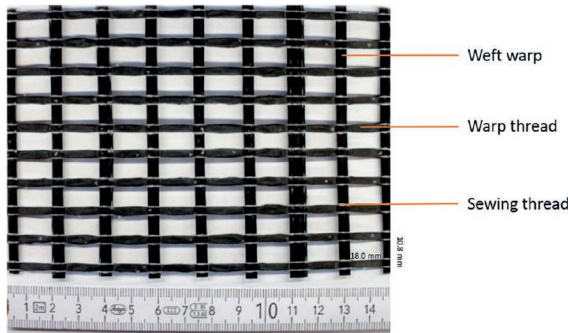


Fig. 1. Schematic of the bidirectional warp-knit fabric of carbon fibres
1. ábra. A kétirányban teherhordó szénszál szövet sémája

	component	mixing technology	mixing power in %	mixing time in s
1st	binders + aggregates	concurrent	15	60
2nd	75% of water	sequence	35	90
3rd	super plasticizer	sequence	35	60
4th	residual water	sequence	40	30
5th	AR-glass fibres	sequence	40	30

Table 2. Mixing parameters for fine grained concrete
2. táblázat A finomszemű betonok keverési paraméterei

2.3 Test Specimens

Several plates (50×50 cm²) were prepared for the test specimens. In a first step, the absorber concrete was mixed. Thereafter, the fresh absorber concrete was poured into the mold. After this, the fine grained concrete was mixed with the intensive mixer R05T by Erich. The mixing parameters are

shown in Table 2. Subsequently, the fresh fine grained concrete was applied on the absorber concrete (Fig. 2.a). Finally, the test plates were demolded after 24h (Fig. 2.b).

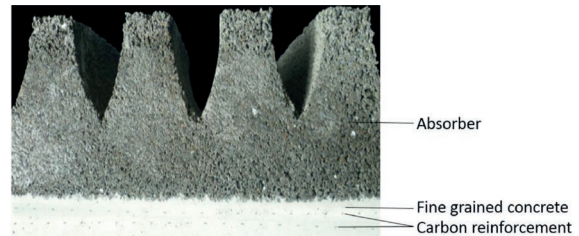
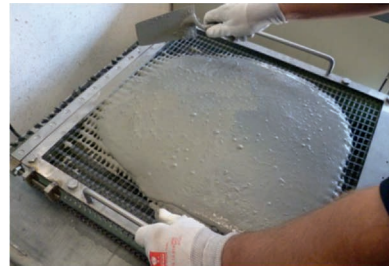


Fig. 2. Application of fine grained concrete (a) and demolded test plate (b)
2. ábra. A finomszemű beton alkalmazása (a) és a kiszalasztott elem képe (b)



Fig. 3. Determination of 3-point bending tensile strength (a) and compressive strength (b)
3. ábra. Harmadpontos hajlítóvizsgálat elrendezése (a) és nyomószilárdság vizsgálat (b)

2.3 Test Specimens Test set-up for TRC and absorber

The samples for the tests to be performed on the hardened concrete were stored dry, according to EN 12390-2. The 3-point bending tensile strength (Fig. 3.a) was determined by means of the Toni Technik ToniNorm with samples which measured 225×50×15 mm³ (length × width × height), based on EN 12390-5. The span width set was 200 mm and the load speed 100 N/s constant. The compressive strength was determined

by means of the Toni Technik ToniNorm (load frame 3000 kN) following EN 12390-3, with cubes having an edge length of 150 mm (Fig. 3.b). The pre-load was 18 kN.

To validate the durability of the fine grained concrete, the capillary suction of de-icing solution and freeze thaw test (CDF-Test) was measured by the Schleibinger Freeze-Thaw-Tester with standard agent solution according to the recommendations of RILEM TC 117-FDC (Fig. 4).



Fig. 4. Determination of the capillary suction of de-icing solution and freeze thaw test
4. ábra. Kapilláris sóoldat felszívás és fagyhámítás vizsgálata

3. Results

3.1 Properties of fresh and hardened TRC

Table 3 shows the fresh and hardened concrete characteristics after 28 days. The fresh fine grained concrete possessed great flowability (flow spread 640 mm) and corresponded to flow class F6 according to EN 12350-5. Using an air content tester, air content of 2.7 volume percent and a gross geometric density of 2.31 g/cm³ were determined in the fresh concrete. A shrinkage channel was utilized to determine the total shrinkage deformation at 0.68 mm/m. The reason for this high total shrinkage was the high binding agent content and the great chemical and autogenic strength of the hardened concrete at 28 days (gross density: 2.31 g/cm³) was 83.7 MPa; it was 25 MPa after 24 hours. The 3-point bending tensile strength of the unreinforced concrete was 11.73 MPa after 28 days.

characteristic	fresh concrete	hardened concrete
geometric bulk density	2.37 g/cm ³	2.31 g/cm ³
flow spread	640 mm	-
air content	2.7 Vol.-%	-
linear shrinkage	0.91 mm/m	
compressive strength	-	83.7 MPa
3-point bending tensile strength	-	11.73 MPa

Table 3. Properties of fresh and hardened fine grained concrete
3. táblázat Frissbeton és szilárd beton jellemzők (finomszemű beton)

In addition, the fine concrete exhibited great durability, which was verified through a successful CDF test with an average scaling of 912 g/m² and a relative dynamic modulus of elasticity of 100 percent after 28 freeze-thaw cycles (Table 4).

test method	test value
CDF test	m ₂₈ = 113 g/m ³ R _{u,28} = 100%
water penetration depth	11 mm

Table 4. Examinations of the durability of fine grained concrete
4. táblázat Tartóssági vizsgálatok a finomszemű betonon

Building in 2 layers of carbon meshes in with the flow of forces enabled the 3 point flexural strength to be enhanced to 24.51 MPa (Fig. 5). In this case, the first crack tensile strength was 11.21 MPa (Fig. 5). By utilizing short fibres with a critical fibre volume content (fibres have a strengthening effect on the matrix) and prestressing the textile reinforcement, an increase in tension without slippage was observed in the concrete after macro-crack formation (see blue shading in Fig. 5), i.e. the bending tensile stress was transferred without loss of force from the concrete into the textile reinforcement. Integrating short fibres in the concrete generated a fine crack pattern with a positive action on durability.

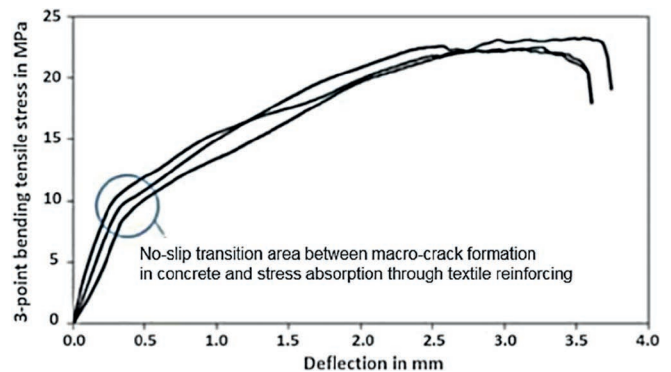


Fig. 5. Stress-deflection diagram
5. ábra. Feszültség-lehajlás diagram

3.2 Noise-absorbent concrete

The noise-absorbent concrete had a gross density of 1.31 g/cm³ and a compressive strength of 16.0 MPa (Table 5). Dynamic modulus of elasticity of 17 GPa was determined from the speed of sound using an ultrasonic measurement device. The degree of sound absorption was ascertained by means of the reverberation time procedure according to EN ISO 354:2003 with structured test specimens (Fig. 6.b). The results of this test showed that the degree of sound absorption is more than 0.7 at a frequency of 160 Hz (Fig. 6.a). The first local maximum sound absorption ($\alpha = 1$) was found at a frequency of 350 Hz. The decrease in sound absorption between 600 and 1000 Hz after 800 Hz means that great sound particle velocity prevails in this area. These types of curve progressions occur comparatively often with mono-modular and porous aggregate materials. They are indicative of insufficient flow resistance adaptation. The result is that the noise absorber acts like a resonator. Based on these measurements, the noise absorbent shell met the conditions for sound group 4 (highly absorbent).

characteristic	fresh concrete	hardened concrete
geometric bulk density	1.53 g/cm ³	1.43 g/cm ³
flow spread	650 mm	-
air content	11.5 Vol.-%	10.4
compressive strength	-	16.9 MPa
3-point bending tensile strength	-	2.0 MPa

Table 5. Properties of fresh and hardened noise-absorbent concrete
5. táblázat Frissbeton és szilárd beton jellemzők (hangelnyelő beton)

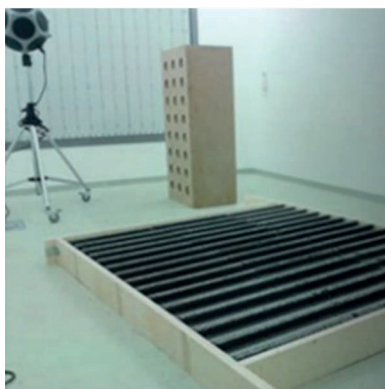
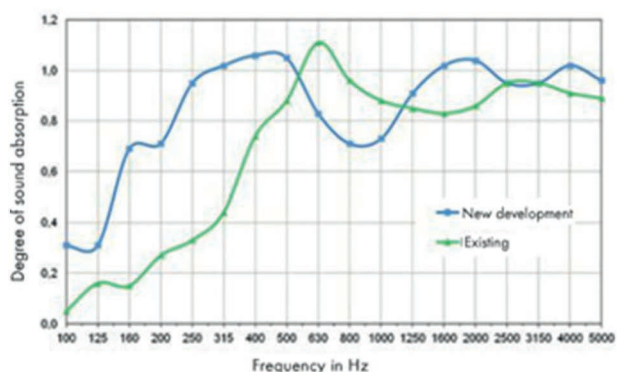


Fig. 6. Degree of sound absorption according to EN ISO 354

(a) Degree of sound absorption
(b) Measurement in echo chamber

6. ábra. Hangelnyelés vizsgálata az EN ISO 354 szabvány szerint
(a) Hangelnyelés mértéke
(b) Mérés visszhang kamrában

4. Conclusions

At the completion of this project, a noise barrier was able to be implemented using textile-reinforced lightweight construction method under construction conditions. In the context of the present research and development project, a scientific basis was created for developing the materials: it was technically implemented in production, tested in numerous test series, adopted and practically investigated in the form of a prototype.

Integrating short fibres in the concrete generated a fine crack pattern with a positive action on durability, amongst other things. Taking the first crack computations into account, proof was furnished in mechanical investigations that the thickness of the textile-reinforced, load-bearing concrete slab can be reduced from 12 cm (steel reinforced concrete) to 5 cm (carbon reinforced concrete). Proof was also given of good post-cracking strength, low creep and shrinkage deformation, low susceptibility to cracking and excellent resistance to frost/de-icing salt (exposure class XF4).

This new type of textile-reinforced noise barrier meets requirements as regards resource efficiency, cost reduction, sustainability, minimization of the system slab weight and a decrease in transport and assembly expenses in practice under construction conditions. The marginal conditions for manufacturing such noise barriers on an industrial scale in large quantities with high demands on equality are currently being created in preparation for its mass production and

market launch. Beyond this, a key priority is obtaining general building authority approval or product approval.

Acknowledgements

This work was supported by the German Federation of Industrial Research Associations (AiF). The authors would like to acknowledge with gratitude the foundation's financial support.

References

- [1] Lohre, D. – Bemecker, T. – Stock, W. (2012): ZF-Zukunftsstudie 2012, In: EuroTransport Media Verlags- und Veranstaltungs-GmbH, Stuttgart, 17 p.
- [2] Curbach, M. – Scheerer, S. (2011): Concrete light – Possibilities and Visions. In: Šrůma, V. (Ed.): *Proceedings of the fib Symposium Prague 2011: Concrete Engineering for Excellence and Efficiency*, 8-10. June 2011, DVD-ROM, ISBN 978-80-87158-29-6, pp. 29-44.
- [3] Brameshuber, W. (2006): Textile Reinforced Concrete, *RILEM Report 36. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee, TC 201-TRC*
- [4] Curbach, M. – Michler, H. – Weiland, S. – Jesse, D. (2008): Textilbewehrter Beton – Innovativ! Leicht! Formbar! *BetonWerk International*, Vol. 11, No. 5, pp. 62-72.
- [5] Curbach, M. – Jesse, F. (2010): Verstärken mit Textilbeton. In K. Bergmeister, F. Fingerloos, J.-D. Wörner (Eds.), *Betonkalender 2010*, Teil 1, Abschn. VII. Berlin: Ernst & Sohn
- [6] Curbach, M. – Scheerer, S. (2012): Wie die Baustoffe von heute das Bauen von morgen beeinflussen. In: KIT (Hrsg.): *Baustoffe und Betonbau - Lehren, Forschen, Prüfen, Anwenden*, ISBN 978-3-86644-795-0., 2012, pp. 25-36.
- [7] Funke, H. – Gelbrich, S. – Ehrlich, A. (2013): Development of a new hybrid material of textile reinforced concrete and glass fibre reinforced plastic. In: Hufenbach, W. A.; Gude, M.: *Materials Science Engineering, Symposium B6 - Hybrid Structures. Procedia Materials Science*, Vol. 2, pp. 103-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mspro.2013.02.013>
- [7] Mobasher, B. – Dey, V. – Cohen, Z. – Peled, A. (2014): Correlation of constitutive response of hybrid textile reinforced concrete from tensile and flexural tests. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 53, pp. 148-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.06.004>
- [8] Curbach, M. – Scheerer, S. – Hampel, T. – Schmidt, N. – Wellner, S. (2013): Structural Reassessment of Existing Road Bridges in Germany. In: IABSE Conference Rotterdam 2013 – Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures. *Conference Report*, Vol. 99, IABSE, ISBN 978-3-85748-123-9, pp. 420-421.

Ref.:

Funke, Henrik L. – Gelbrich, Sandra – Kroll, Lothar: *High performance lightweight noise barrier with carbon fibre reinforced concretes*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials,
Vol. 67, No. 3 (2015), 90–93. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.14>

Nagy teljesítőképességű könnyűbeton zajvédő fal szénzál erősítésű betonból

Nagy szilárdságú, kis önsúllyal rendelkező, nagy karcsúságú textil-erősítésű könnyűbeton lemez és nagy hangelnyelő-képességű könnyűbeton héj kombinációját vizsgálja a cikk. A kutatás során kifejlesztésre került a finomszemű beton összetétele, a szénzál-erősítésű szövet, a hangelnyelő héj zsaluzata. A fejlesztés eredményeként jelentős önsúly csökkenést lehetett elérni, amely gazdaságos beépítést tesz lehetővé.

Kulcsszavak: textil-erősítésű beton, könnyűbeton, zajvédő fal, tartósság

Kombinált tűzvédelmi burkolatok

PÁKOZDI CSABA • építőmérnök hallgató, BME • pakozdy.9@gmail.com,

LUBLÓY ÉVA • PhD, adjunktus, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék • lubeva@web.de ,

CZOBOLY OLIVÉR • PhD hallgató, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

• czoboly.oliver@epito.bme.hu

Érkezett: 2015. 06. 29. • Received: 29. 06. 2015. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.15>

Combined fire protection covers

Fire protection became more and more vital in the construction industry. One of the most efficient methods is the passive fire protection. Different kinds of passive fire protection covers and building materials were combined and tested in the present study. Steel, wood and concrete specimens were coated by cover made from fireproof plasterboard, gypsum fibreboard or mineral board and rock wool filling. Test covers were heated up to 800 °C and the temperature was measured both inside and outside the covers. The behaviour of the fibreboards was different during the tests. When choosing the proper fire protection cover, we need to consider how the protected structural material reacts to high temperature. In case of combustible building materials, it is essential to keep the temperature low inside the cover, because if the temperature reaches ignition temperature, the combustible structural material ignites, regardless if the cover is intact.

Keywords: tűzvédelem, gipszkarton, gipszrost, közetgyapot, kombinált burkolat

Kulcsszavak: fire protection, plasterboard, gypsum fibreboard, rock wool, combined cover

PÁKOZDI Csaba

Építőmérnök hallgató, a BME Építőmérnöki Karán. Fő érdeklődési területe: építőanyagok viselkedése tűz hatására.

LUBLÓY Éva

Okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 2002), adjunktus a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén (2002). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkárok mérnöki tanulságai. A ffb Magyar Társaság tagja.

CZOBOLY Olivér

Okl. építőmérnök, PhD hallgató a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén. Fő érdeklődési területei: szálerezősítésű betonok (FRC), nagy teljesítményű betonok (HPC), szerkezetek állapotvizsgálata, rekonstrukciós lehetőségek, tűzkárok mérnöki tanulságai.

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben az előforduló sok tüzeset miatt egyre nagyobb hangsúlyt kap a szerkezetek tűzvédelme. Elég csak a New York-i World Trade Center 2001. szeptember 11-i katasztrófájára, vagy a 2013-as év elején Braziliában (Santa Maria városában) történt tüzesetre gondolni. A braziliai diszkó tűzben összesen 245 ember vesztette életét. „Rendőrségi és tűzoltósági szakértők elmondták, hogy a Kiss klubban bekövetkezett tűz az elmúlt 13 év legtöbb áldozatot követelő tüze volt, miközben a szórakozóhelyen nem volt sprinkler (oltó berendezés), burkolatként éghető hangszigetelő habot használtak, és csak egy kijárat volt” [1]. A közelmúltban Dubaiban ütött ki tűz a Kikötői fáklya nevű 79 emeletes lakóházban (1. ábra) [2].



1. ábra Kikötői fáklya nevű 79 emeletes lakóház tüzesete Dubaiban [2]
Fig. 1. The 79 floor Torch residential tower in Dubai after fire [2]

A braziliai diszkó tűz esetén láthatóvá vált, hogy mennyire fontos a tűzvédelmi előírások betartása. Feltehetően a tűz nem ütött volna ki, ha megfelelő burkolatot, illetve ha nem szabad-téri tűzijátékot használtak volna beltérben.

Megdöböntő adat, hogy Magyarországon 2000 és 2005 között évi átlagban 24000-nél is több tüzesetet regisztráltak, melyből 6300-nál több a lakóingatlanokban bekövetkezett tűz [3]. Ezek közül azonban csak néhány vált közismertté. Ilyen volt például a Budapest Sportszernak tüzesete [4], vagy Miskolcon a Középszer u. 20 sz. alatti lakóépület tüzesete [5].

Ezek a példák okulva a tűzvédelem egyre nagyobb szerephez jut az építőiparban. Ennek egyik hatékony módja lehet a passzív tűzvédelem.

Jelen kutatásban arra kerestük a választ, hogy a különböző tűzvédelmi burkolatok viselkedése miben tér el egymástól, illetve a különböző szerkezeti anyagok védelmére ugyanazt a tűzvédelmi burkolati anyagot érdemes-e felhasználni, vagy a védendő anyagtól függően más burkolat alkalmazása javasolt?

Sokszor a tűzvédelmi anyagok nem mennek tönkre drasztikusan tűzterhelést követően. Ennek ellenére a gyakorlatban a burkolatokban lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok miatt kicserélik őket akkor is, ha látszólag a szerkezet károsodása ezt nem indokolná. Lényegesnek tartottuk kísérletekkel megvizsgálni, hogy milyen mértékű tűzvédelmet biztosítanak azok a burkolatok, amelyeknek esetleg mégsem történik meg a cseréje.

2. Szakirodalmi áttekintés

Napjainkban a szerkezetek tűzvédelmére több megoldás is létezik. Beszélhetünk aktív és passzív tűzvédelmi megoldásokról. Aktív tűzvédelem alatt zömében azokat a gépészeti eszközöket értjük, melyek megfékezik a tűz továbbterjedését (pl. sprinkler), illetve a füstgázok elterjedését az épületben. Passzív tűzvédelem alatt pedig a különböző tűzvédelmi burkolatokat, tűzterherre megfelelően méretezett szerkezeteket értjük.

A tűzvédelmi burkolatok egy része gipszkötésű, míg másik részük cementkötésű.

A gipszkő hőmérséklet hatására három lépcsőben bomlik [6]:

Az első lépcsőben (110–180 °C-on) a gipsz kristályvizéből 3/2 mol távozik, és hemihidráttá gipsz keletkezik.

A második lépcsőben (180–300 °C-on) távozik a maradék 1/2 mol kristályvíz is. Vízmentes kalcium-szulfát, anhidrit keletkezik. Az anhidrit a kristályvíz hiányában nem képes megőrizni szilárdságát. A kristályrács és vele együtt maga az anyag is szétesik.

A harmadik lépcsőben (300–600 °C-on) a gipsz kalcium-szulfát kristályszerkezete alakul át, és agyonégetett gipsz keletkezik.

A fent részletezett három lépcsős bomlással járó endoterm folyamatok azok, amelyek hűtik a környezetüket, ezáltal a gipsztartalmú lemezek kémiai védelmét adják. Ennek a kémiai védelemnek a kimerülésével kerül előtérbe az anyagok hőtehetetlensége. Szálerősítés alkalmazása esetén a gipszkötésű tűzvédelmi lemezek a gipsz átalakulása után is egyben maradnak. Az anhidrit nem tud szétesni, így az építőlemez útját állja a hőnek. A gipszkötésű építőlapokból elsősorban a tűzálló gipszkarton és a gipszrost lapot használják tűzvédelemre. A tűzálló gipszkarton a normál gipszkartonhoz hasonló szárazépítési lemez. Két réteg papír között található egy gipsz réteg, ami üvegszál erősítéssel van ellátva. A gipszrost lapnál nincs a kétoldali papír borítás, illetve üvegszál helyett 15–20% cellulóz szálat tartalmaz.

A cementkötésű lapok esetében is kémiai, illetve hőtehetetlenségből fakadó védelemről beszélhetünk. A hőmérséklet emelkedésével a különböző szilikátanyagok leadják a kötött kristályvizüket ezzel az endoterm folyamattal pedig energiát vonnak el a környezetükből, így hűtve azt, ezzel megakadályozva a szerkezeti anyag felmelegedését, tönkremenetelét, teherbírásának kimerülését. A cementkötésnek köszönhetően tűzterherre hasonlóan viselkedik, mint a beton. 700 °C körül a kalcium-szilikát-hidrátok bomlásával szilárdságcsökkenés tapasztalható. Azonban ez nem olyan jelentős, mint a gipsz anyagú lapok esetében, itt nem szükséges szálerősítés a lapok egyben tartásához.

3. Vizsgált anyagok

Több szakirodalmi adat is rendelkezésre áll a tűzvédelmi lapok működési mechanizmusáról és azok hatékonyságáról [6, 7]. Azonban jelenleg kevés ismeretanyagunk van a kombinált tűzvédelmi megoldásokról. Ezért megvizsgáltuk a kőzetgyapattal kombinált tűzálló gipszkarton, gipszrost lemez és cementkötésű lap által biztosított védelmet. A vizsgált anyagok legfontosabb tulajdonságait az 1. táblázat tartalmazza.

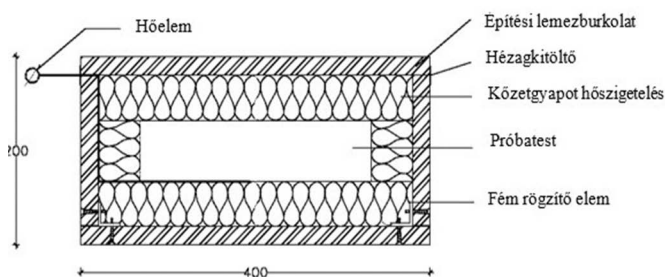
Vizsgálataink során védendő anyagként fa, acél, beton illetve polimerbeton próbatesteket vizsgáltunk. A kísérletekhez 200×200×400 mm méretű dobozokat készítettünk. A dobozok belsejébe 50 mm vastag kőzetgyapot hőszigetelés került, majd ebben helyeztük el a tartószerkezeti anyagot (2. ábra). A burkolaton belüli próbatest (tartószerkezeti anyag) felületén, illetve a kemencetérben kialakuló hőmérsékletet hőelemek segítségével mértük. Az első 30 percben 5 percenként, majd ezt követően 10 percenként rögzítettük a hőmérsékletet. A vizsgálathoz használt elektromos kemence fűtési görbéje eltért az ISO 384

szabvány [7] görbájától (3. ábra). Tekintettel arra, hogy a kemence fűtési görbéje azonos volt minden vizsgálati esetben, így a mérési eredmények összehasonlíthatóak egymással.

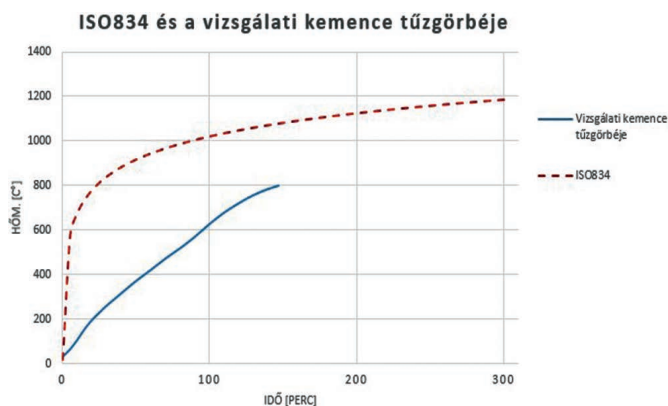
Alkalmazott anyag	Sűrűség [kg/m ³]	Hővezetési tényező [W/mK]	Nedvességtartalom [%]	Lemezvastagság [mm]
Tűzálló gipszkarton	870	0,25	16	12,5
Gipszrost lemez	1200	0,2	1	15
Cementkötésű lap	900	0,242	6	15
Kőzetgyapot	35	0,035	-	50

1. táblázat A vizsgált anyagok főbb jellemzői

Table 1. The main properties of the tested materials



2. ábra A vizsgálati elem hosszszelvénye a próbatesttel és a hőelemmel
Fig. 2. Cross section of the specimens and the thermocouple

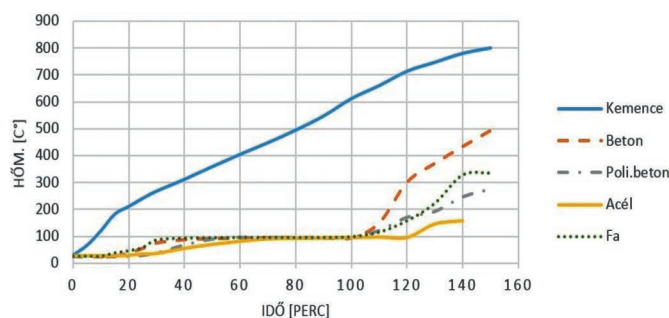


3. ábra Az ISO 384 szabvány és a vizsgálati kemence fűtési görbéjének összehasonlítása
Fig. 3. Comparison of the fire curves of ISO 384 standard and the testing furnace

A vizsgálatok során a próbadozók hőmérsékletét egységesen addig növeltük, míg a kemencetérben ki nem alakult 800 °C léghőmérséklet. A tűzálló gipszkarton próbadozokat acél, fa, beton, illetve polimer beton próbatestekkel vizsgáltuk. A gipszrost lap, illetve a cementkötésű lap esetében pedig beton és acél próbatestekkel történt vizsgálat. A gipszrost lapokból, illetve a cementkötésű lapokból készült burkolatokat egymás után kétszer megvizsgáltuk. A tűzálló gipszkarton lapokat két rétegben alkalmaztuk, mert ez az elterjedt kialakításuk, míg a gipszrost és cementkötésű lapokat egy rétegben. A burkolólapok rögzítése belülről történt, a rögzítéshez L profilokat illetve önmetsző gipszkarton csavarokat használtunk.

4. Kísérleti eredmények

A tűzálló gipszkarton burkolattal és kőzetgyapot hőszigeteléssel védett próbatestek vizsgálati eredményeit a 4. ábrán foglaltuk össze. A felfűtés kezdeti szakaszánál (hőzávetőlegesen az első 45 perc) a védett anyag tulajdonságai kimutathatóan befolyásolták a felmelegedés sebességét. Különbség alakult ki az acél és a polimerbeton, illetve a fa és a beton próbatestek felmelegedési ütemében. A hőmérséklet állandósulása után a burkolat hozzávetőlegesen 100 percig biztosít hatékony védelmet (a vizsgálat során alkalmazott felfűtés esetén) a próbatestnek. A kémiai védelem megszűntével a burkolat hőtehetetlensége továbbra sem engedi, hogy a védett anyag hőmérséklete hirtelen megemelkedjen, de a burkolat mechanikai sérülései miatt a hőmérséklet emelkedése jelentős (4. ábra). Kísérleteink során a tűzálló gipszkarton burkolatok az első vizsgálat alatt jelentősen károsodtak (5. ábra), ezért azok későbbi tűzvédelemben történő felhasználása nem elképzelhető.



4. ábra A tűzálló gipszkarton burkolattal végzett vizsgálatoknál rögzített hőmérséklet-idő görbék

Fig. 4. Temperature increase in time during the tests of the fireproof plasterboards



5. ábra A tűzálló gipszkarton próbadoz 144 perc után

Fig. 5. Fireproof plasterboard test box after 144 minutes

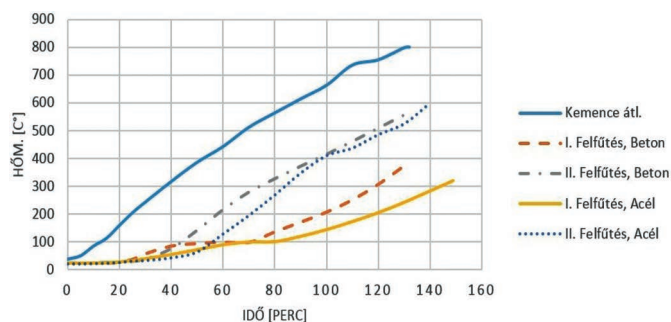
A gipszrost burkolat az első és a második felfűtési vizsgálat esetében is közel 30 percig állt ellen a hőhatásnak és a próbatest felületén a hőmérséklet nem emelkedett jelentősen (6. ábra). Az első vizsgálatot követően a kihűlt, burkolt próbatestet néhány nappal később ismételt vizsgáltuk.

A 6. ábrán látható, hogy az első felfűtési vizsgálat során sem a beton, sem az acél esetében nincs hosszán elnyúló plató a próbatest felületén mért hőmérséklet-idő görbén. Mindkét esetben 500-550 °C külső hőmérséklet mellett a 70. perc körül megszűnik a kémiai védelem. Ez a gyors leépülés azzal indokolható, hogy a 25 mm vastag burkolólap átmelegszik, és a

gipsz átalakul. Az átalakulás gyors lefutását feltehetően a felszín közelében kiégő cellulóz szálak is erősítik. A 15-20 % cellulóz szál, a cellulóz kiegészével megnöveli a burkolat porozitását, így a kristályvíz könnyen tud távozni a lap mélyebb rétegeiből is.

A második felfűtési vizsgálat esetében teljesen el is marad a konstans szakasz a próbatest felületén mért hőmérséklet-idő görbén, hiszen az első vizsgálat során a gipsz már átalakult.

A kémiai védelem megszűntével a burkolat továbbra is hatékonyan állja a hő útját, jelentős mechanikai sérülések hiányában (7. ábra) a lapok hőtehetetlensége továbbra is jól kihasználható.



6. ábra A gipszrost burkolattal végzett vizsgálatoknál tapasztalt hőmérséklet-idő görbék

Fig. 6. Temperature increase in time during the tests of the gypsum fibreboards



7. ábra A gipszrost próbadoz 132 perc után

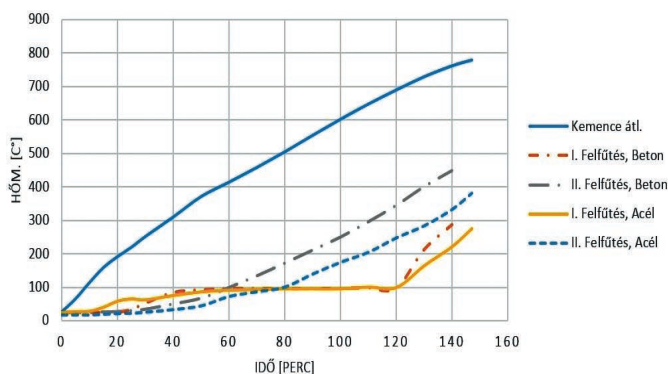
Fig. 7. Gypsum fireboard test box after 132 minutes

A cementkötésű lapok esetében az első 20 percben nem emelkedik jelentősen a belső hőmérséklet (8. ábra). Ezt a jelenséget a második vizsgálatnál is megfigyelhetjük. Ez feltehetően azzal magyarázható, hogy ennyi idő szükséges a burkolat és a kőzetgyapot átmelegedéséhez.

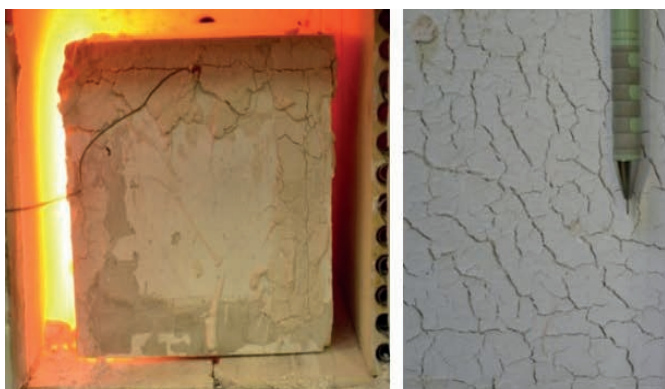
Az első vizsgálat során mind az acél, mind a beton próbatestnél közel 80 perces platót figyelhetünk meg a próbatest felületén mért hőmérséklet-idő görbén, a kémiai védelemnek köszönhetően. Az első vizsgálat után a tűzvédelmi burkolat egyben maradt, azonban a felülete összerepedezett (9. ábra).

A 8. ábrán megfigyelhető, hogy a második vizsgálat során sem jelenik meg a plató a próbatest felületén mért hőmérséklet-idő grafikonon. A kémiai védelem ebben az esetben nem tapasztalható, de a cementkötésű lapok hőtehetetlensége hatékonyabb védelmet biztosít, mint a gipszkötésű lapoké. Fontos megfigyelésünk, hogy a második vizsgálat után a cementkötésű burkolatokat egy hétig laborlevegőn tároltuk, és eközben a le-

vegőből felvett nedvesség hatására a próbadozók szilárdsága jelentősen lecsökkent és idővel szétestek. Tehát a cement kötésű lapok tüzesetet követő további felhasználása nem lehetséges.



8. ábra A cementkötésű lap burkolattal végzett vizsgálatoknál tapasztalt hőmérsékleti görbék
Fig. 8. Temperature increase in time during the examination of the mineral board



9. ábra A cementkötésű lap próbadoz a vizsgálat után
Fig. 9. Gypsum fibreboard test box after testing

5. Összefoglalás

Jelen kutatásban arra kerestük a választ, hogy a különböző tűzvédelmi burkolatok viselkedése miben tér el egymástól, illetve a különböző szerkezeti anyagok védelmére ugyanazt a tűzvédelmi burkolati anyagokat érdemes-e felhasználni, vagy a védendő anyagtól függően más burkolat alkalmazása javasolt?

Mérési eredményeink azt bizonyítják, hogy a különböző burkolatok védelmének hatékonysága leginkább a kristályvíz tartalmuktól függ. A kémiai védelem szempontjából leghatékonyabb a cementkötésű lap volt, melyben a szilikát ásványok sok kötött vizet tartalmaznak. Vizsgálataink alapján a tűzálló gipszkarton lapok kémiai védelme hatékonyabb volt a gipszrost lapokénál, azonban a gipszkarton lapok a vizsgálat közben jelentősen károsodtak. Az illesztéseknél a tűzálló gipszkarton burkolódoboz megnyílt, a burkolólapokon nagyobb repedések keletkeztek. Valós szerkezetek esetén elképzelhető, hogy a tűz során a tűzálló gipszkarton burkolólapok jelentősen megnyílnak.

Vizsgálataink alapján tűzvédelmi burkolatok választásakor mérlegelni lehet, hogy az adott szerkezeti anyagnak milyen hőmérsékleti viselkedés kedvez. Éghető anyagok esetében jobb, ha hosszú ideig alacsony a hőmérséklet a védelmen belül, hiszen amennyiben eléri a belső hőmérséklet a gyulladáspont-

tot akkor, annak ellenére, hogy a burkolat egyben maradt, az éghető szerkezeti anyag (pl.: fa) meggyulladhat. Acél és beton szerkezeteknél előnyösebb lehet a hosszú ideig tartó védelem biztosítása, még ha ez a védelem nem is jelent akkora külső és belső hőmérséklet különbséget.

Mérési eredményeink alapján a tűzvédelmi burkolatok kémiai védelmének kimerülésével fontos szerephez jut a közetgyapot, mely szigetelőképességének köszönhetően, lassabb átmelegedést eredményez.

Lényegesnek tartottuk kísérletekkel megvizsgálni, hogy lehet-e a tűzvédelmi burkolatokat tűz után újból felhasználni. Kísérleteink során a tűzálló gipszkarton burkolatok az első vizsgálat alatt jelentősen károsodtak. Ezért azok későbbi tűzvédelmi felhasználását nem tartjuk elképzelhetőnek. A gipszrost burkolólapot és a cementkötésű burkolólapot vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a cementkötésű lapok által biztosított tűzvédelem jelentősebb volt a második (újbolí) vizsgálat során, mint a gipszrost lapé. A második vizsgálatot követően a cementkötésű burkolatokat egy hétig laborlevegőn tárolva azt tapasztaltuk, hogy a levegőből felvett nedvesség hatására a próbadozók szilárdsága jelentősen lecsökkent és idővel szétestek, míg a gipszrost lapok, szilárdak maradtak a vizsgálat után több héttel is. Ezek alapján tűz utáni újbóli felhasználása legfeljebb a gipszrost lapoknak lehetséges. Azonban gipszrost lapok esetén is megfontolandó, hogy tűz után a tartószerkezet védelmére elegendő védelmet tud-e nyújtani a gipszrost lap a már elvesztett kémiai védelem nélkül.

Hivatkozások

- [1] Tűzvédelmi hiányosságok a brazil diszkó tűznél, <http://gyujtoforras.hu/tuzvedelmi-hianyosságok-a-brazil-diszkótűznél/> (letöltve: 2013. 02. 12.)
- [2] www.slate.com/blogs/the_slatest/2015/02/21/video_fire_engulfs_one_of_the_world_s_tallest_residential_towers_in_dubai.html (letöltve: 2015. 03. 10.)
- [3] www.langlovagok.hu (2010. augusztus 21-én letöltött statisztikát feldolgozva)
- [4] Majorosné Lublóy É. – Bánky T. – Balázs L. Gy. (2004): Tűz a Budapest Sportsarnokban: mérnöki tanulmányok. *Vasbetonépítés*, Vol. 6, No. 2, pp. 43-48.
- [5] Szikra Cs. – Takács L. (2010): A Miskolc, Középszer u. 20. sz. alatti lakóépület tüzesetének sajátosságai. *ÉPKO 2010*, Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó, Románia.
- [6] Kopecskó K. (2015): Fázisanalitikai módszerek alkalmazása a mérnöki gyakorlatban, *Segédlet Geológia BSc és Szerkezet- és Anyagvizsgáló Laboratórium BSc tárgyakhoz*, BME Építőmérnöki Kar
- [7] Balázs L. Gy. – Horváth L. – Kulcsár B. – Lublóy É. – Maros J. – Mészöly T. – Sas V. – Takács L. – Vigh L. (2010): Szerkezetek tervezése tűzterherre az MSZ EN szerint (beton, vasbeton, acél, fa), *Oktatási segédlet*, Magyar Mérnöki Kamara Tartószerkezeti Tagozat

Ref.:

Pákozdi Csaba, Lublóy Éva, Czoboly Olivér: Kombinált tűzvédelmi burkolatok
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials,
Vol. 67, No. 3 (2015), 94–97. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.15>

Effect of grain size of MgO powder on the physico-mechanical properties of magnesium oxysulfate cement paste

Ayman M. KANDEEL

Raw Building Materials Technology and
Processing Research Institute
Housing and Building National Research Center,
Cairo, Egypt.
87 El-Tahrir St., Dokki, Giza, Egypt.
P.O. Box 1770, Cairo.

AYMAN M. KANDEEL ▪ Raw Building Materials Technology and Processing Research Institute
▪ amkandeel61@gmail.com

Érkezett: 2015. 03. 31. ▪ Received: 31. 03. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.16>

Abstract

The effect of MgO powder on the water demand, bulk density, water absorption and compressive strength of magnesium oxysulfate cement paste as a function of MgO grain sizes has been investigated. In this study three mixes were used. They are composed from an Egyptian MgO powder of a grain size $< 90 \mu\text{m}$ with different contents of MgSO_4 (16.66, 21.10 and 28.60 m%). The results of compressive strength of cement pastes cured in air at room temperature for 7 days noted that the mix containing 16.66 m% of MgSO_4 gives the best compressive strength. The other three mixes (M1, M2 and M3) were prepared with a constant percentage of MgSO_4 (16.66 m%) and three different grain sizes of MgO; normal (as received), $< 300 \mu\text{m}$ and $< 150 \mu\text{m}$. The water demand, bulk density, water absorption and compressive strength of hardened magnesium oxysulfate cement pastes cured in air at room temperature for 3, 7, and 28 days were studied. Compressive strength retention coefficient was calculated. The result showed that as the grain size decreases the compressive strength of hardened magnesium oxysulfate cement pastes increases.

Keywords: grain size, oxysulfate cement, magnesium cement

1. Introduction

Magnesium oxide, or calcined magnesia, is normally obtained by calcination of magnesite (MgCO_3) at a temperature around 750°C . The quality or reactivity of the formed magnesium oxide powder is largely affected by its thermal history (calcination temperature and firing duration) and particle size [1].

Cements made from magnesia have been developed many years ago, such as magnesia oxychloride cement (MOC), magnesia oxysulphate cement (MOS), and magnesia phosphate cement (MPC) [2].

A number of cements based on magnesia have been previously studied. If a salt such as magnesium chloride or sulfate is added to reactive magnesia and the mixture is allowed to react, hydrated magnesium oxychlorides and magnesium oxysulfates are formed. These hydrates can be very strong but are not sufficiently weatherproof as well as corrosive. Magnesium oxysulfates were discovered by Olmer and Delyon in 1934 [2].

Zinc, calcium, copper and other elements also form similar compounds. Magnesium oxychlorides (Sorel cements) achieve higher compressive strengths than magnesium oxysulfates. The main problem with Sorel cements is that both magnesium oxychlorides and magnesium oxysulfates tend to break down in water and particularly in acids. Corrosion of steel reinforcement also occurs [3].

Magnesia (MgO) is mostly produced by calcination of magnesite (MgCO_3). Depending on the thermal conditions, caustic magnesia or dead-burned magnesia is obtained. Caustic magnesia, a comparatively more porous and reactive material obtained at relatively low temperatures, has many industrial applications, such as in agriculture, cattle feed, environmental control, manufacture of special cements and in other special uses. Dead-burned magnesia (MgO), produced at

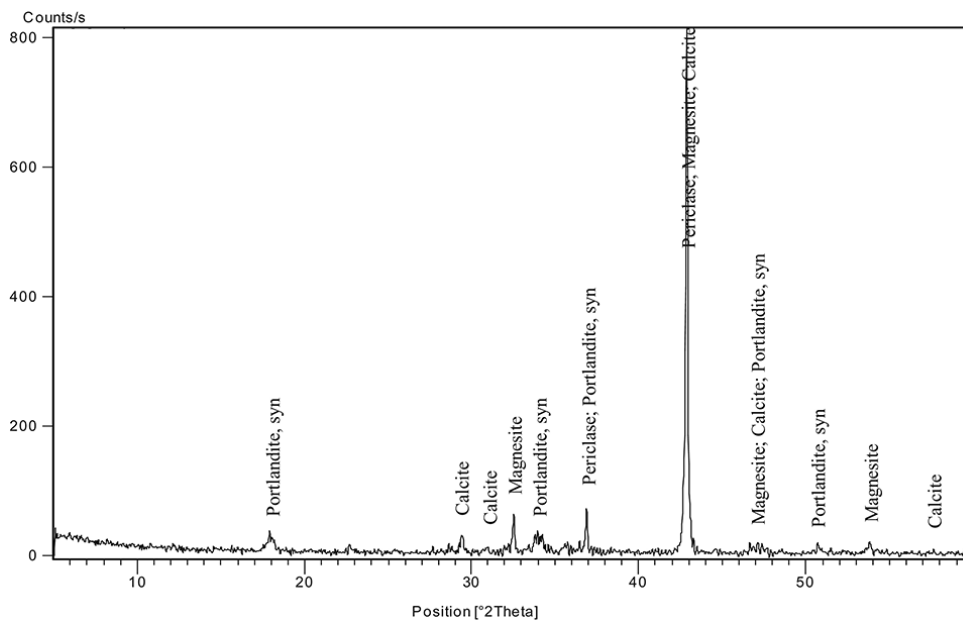
high temperatures, is mainly utilized in the refractory industry. The rate and extent of hydration are factors that affect the functional performance of both types of magnesia [4].

This work aims to study the effect of grain sizes of MgO powder on the physico-mechanical properties such as bulk density, water absorption and compressive strength of hardened magnesium oxysulfate cement pastes as a function of curing time up to 28 days.

2. Materials and methods

Magnesite as a raw material is extracted from the southern Eastern Desert of Egypt. The calcination was done by a traditional method of firing in a mazut furnace at the industrial area at Helwan Governate. The raw material was fired for about 24 h and left inside the furnace until reaching ambient temperature then ground to a certain grain size. In this work it was considered that the produced grain size of MgO powder after grinding and collected in special sacks is the normal grain size. The MgO was characterized with respect to the mineralogical composition by using X-ray diffraction technique, see Fig. 1. The MgO sample composes mainly of 56% periclase, 40% magnesite and traces of CaCO_3 and Ca(OH)_2 each 2%. Particle size analysis of the MgO was carried out by using dry sieve analysis following the Egyptian standards (ESS) [5] as illustrated in Fig. 2.

Three mixes (M-I, M-II and M-III) were prepared by mixing MgO powder with grain size less than $90 \mu\text{m}$ and three percentages of MgSO_4 16.66, 21.10 and 28.60 m%. Compressive strength results of the hardened pastes of the three mixes cured in air for 7 days are plotted in Fig. 3. The results indicated that the mix which containing 16.66 m% MgSO_4 (M-I) gives higher value of compressive strength than the other two mixes (M-II and M-III). This means that the ratio of 16.66 m% for MgSO_4 is



Chemical Formula	Mineral Name	Semi Quant [%]
MgO	Periclase	56
MgCO ₃	Magnesite	40
CaCO ₃	Calcite	2
Ca(OH) ₂	Portlandite	2

Fig. 1. X-ray diffraction pattern of MgO powder
1. ábra MgO por röntgendiffraktogramja

the most practical one. As the amount of MgSO₄ increases the residual or un-reacted MgSO₄ increases which decreases the compressive strength. Therefore, the amount of magnesium oxysulfate decreases due to the increase of MgSO₄ or the cement paste content decreases which affects the mechanical properties or compressive strength.

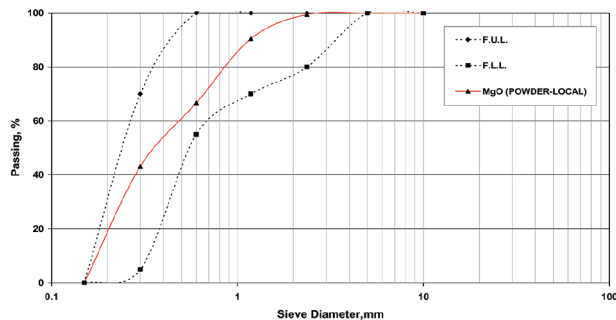


Fig. 2. Grain size distribution (dry sieve analysis) of normal MgO powder
2. ábra Szemcseméret-eloszlás (száraz szitavizsgálat) eredménye normál MgO porra vonatkozóan

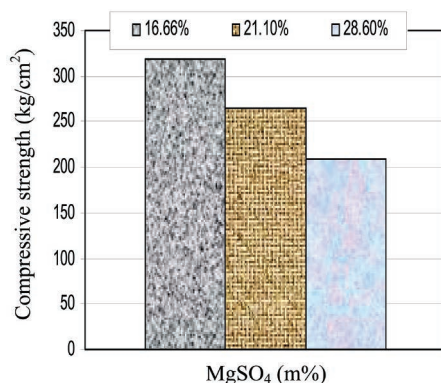


Fig. 3. Dry compressive strength of mixes M-I, M-II and M-III after curing in air for 7 days
3. ábra Száraz nyomószilárdság értékek az M-I, M-II és M-III keverékekre, levegőn történő 7 napos tárolás után

Continuing the work processing, another three mixes (M1, M2 and M3) were prepared using MgSO₄ at the above recommended value (16.66 m%) and MgO powder (83.34 m%) with three different grain sizes: 1) grain size less than 3 mm and larger than 500 μm, 2) grain size less than 300 μm and 3) grain size less than 150 μm. The two latter grain sizes of MgO powder were prepared by using sieve diameters of 300 and 150 μm to produce two samples of MgO powder with grain size less than 300 μm and less than 150 μm, respectively. The suggested three mixes are presented in Table 1.

Mixture No.	Grain size of MgO powder	Composition (m%)	
		MgO powder	MgSO ₄
M1	Less than 3 mm and larger than 500 μm	83.34	16.66
M2	less than 300 μm	83.34	16.66
M3	less than 150 μm	83.34	16.66

Table 1. Suggested mixtures of the material used
1. táblázat Vizsgált keverékek összetétele

The grain size analysis of the normal MgO powder is graphically represented in Fig. 2. It is noted that the MgO powder has grain size larger than 500 μm and less than 3 mm. Cubic specimens of 5 cm side length were cast in steel moulds using vibration compaction. The physical and mechanical properties were determined after curing of hardened magnesium oxysulfate cement pastes at room temperature in air for 3, 7 and 28 days. The water demand of each cement paste was determined according to ASTM [6] and bulk density [7] as well as dry compressive strength and wet compressive strength cured under tap water for 24 hours [8] of blended cement pastes up to 28 days were investigated.

3. Results and discussion

3.1 Water demand

The water demands for the three mixes (M1, M2, and M3) are 25, 26, and 27.5 m%, respectively. The results show that as the grain size decreases the water demand increases. This may be related to that the grain size of MgO powder decreases the specific surface area of MgO powder and consequently the water demand increases. Each mix was mixed with the water demand for studying the physico-mechanical properties such as compressive strength, water absorption and bulk density of cement pastes up to 28 days.

3.2 Bulk density

The bulk density of hardened magnesium oxysulfate cement pastes (M1, M2, and M3) cured in air at room temperature for 28 days was found to be 1.8, 1.86 and 2.0, respectively. The results show that as the grain size decreases the bulk density increases. This may be due the decrease of grain size of MgO powder leads to more compact structure with lower porosity and increase the rate of hydration. The larger specific surface area of any material accelerates the rate of reaction.

3.3 Water absorption

The water absorption of the magnesium oxysulfate cement pastes (M1, M2, and M3) cured in air at room temperature for 28 days was 6.8, 6.6 and 3.96 m%, respectively. The results show that as the grain size decreases the water absorption decreases. This may be due to that as grain size of MgO powder decreases a more compact structure with low porosity is produced due to the increase of the reaction forming hydration products which deposit in the open pores of the cement pastes.

3.4 Dry compressive strength

The results of dry compressive strength of the cured specimens of the different mixes (M1, M2, and M3) after 3, 7 and 28 days at room temperature in fresh air are plotted in Fig. 4. It is clear to observe that the hardened magnesium oxysulfate cement paste (M1) possesses the lowest compressive strength value. The mix M3 which contains the MgO powder with grain size less than 150 μm has compressive strength values higher than Mixes M1 (normal grain size of MgO) and M2 (MgO powder of grain size less than 300 μm) at all curing times. As the grain size decreases the compressive strength increases. This is in a good agreement with the results of bulk density as well as water absorption. Also, the decrease of grain size of MgO powder tends to increase the rate of hydration as well as the formation of magnesium oxysulfate. This is the cement matrix which gives the physico-mechanical properties. Also, the results show that a gradual increase of compressive strength values with curing time is visible for all samples. This is due to the higher degree of formation of hydration products which are the main binding agent of the cement paste. In other words, the reaction goes as a function of curing time. The results indicated that the compressive strength increases as grain size decreases. This may be due to the increase in specific surface area as grain size of MgO powder decreases, which leads to an increase of

the amount of active crystalline products, consequently their accumulation closes the available pores and forms a more compact structure that results an increase in the compressive strength of hardened magnesium oxysulfate cement pastes.

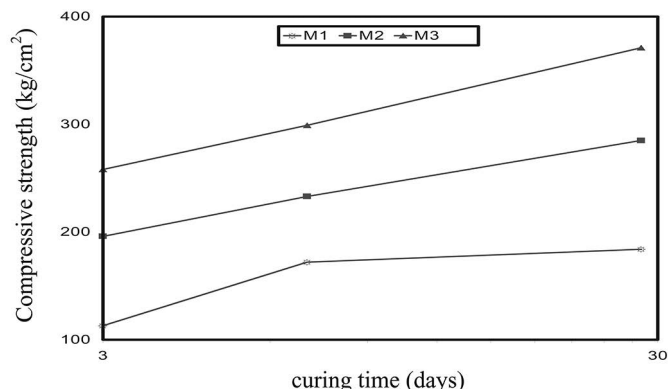


Fig. 4. Dry compressive strength of mixes M1, M2, and M3 after curing in air at room temperature for 3, 7 and 28 days

4. ábra Száraz nyomószilárdság értékek az M1, M2 és M3 keverékekre, levegőn, szobahőmérsékleten történő 3, 7 és 28 napos tárolás után

3.5 Wet compressive strength

The results of wet compressive strength of cured specimens of the different mixes (M1, M2, and M3) immersed in tap water for 24 hours after 3, 7 and 28 days at room temperature are plotted in Fig. 5. It is clear that the mix M1 which contains the MgO powder of the control grain size has the lowest wet compressive strength. The Mix M3 with the MgO powder of grain size less than 150 μm has higher wet compressive strength values than mixes M1 (normal grain size of MgO) and M2 (MgO powder with grain size less than 300 μm) at all curing times. This is due to the increase of water absorption as the grain size decreases. As it was indicated above, the water absorption was 6.8, 6.6 and 3.96 m% for mixes M1, M2, and M3, respectively. This result shows that as the grain size of MgO powder decreases the water absorption decreases and consequently the wet compressive strength increases. Generally, the dry compressive strength is higher than the wet compressive strength.

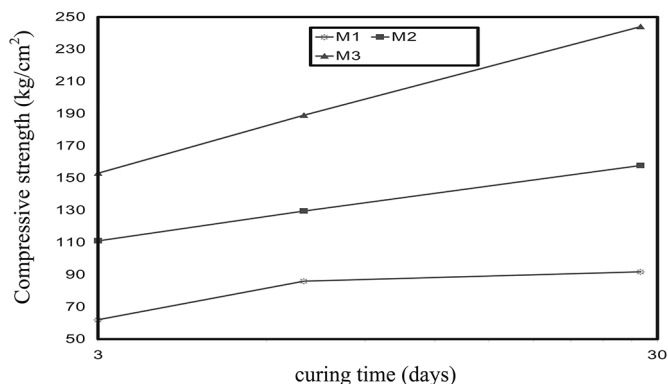


Fig. 5. Wet compressive strength of mixes M1, M2 and M3 after curing in air at room temperature for 3, 7 and 28 days

5. ábra Nedves nyomószilárdság értékek az M1, M2 és M3 keverékekre, levegőn, szobahőmérsékleten történő 3, 7 és 28 napos tárolás után

From the result of dry and wet compressive strength of the three mixes M1, M2, and M3, the strength retention coefficients

(= wet compressive strength / dry compressive strength) of specimens of magnesium oxysulfate cement was calculated [9] and graphically represented in Fig. 5. It is clear that the value of the strength retention coefficients of mixes increases as the grain size of MgO powder decreases which completely in agreement with the results obtained from the dry and wet compressive strength properties.

This may be due to that more active products proceed as a result of decreasing the grain size of MgO powder and their accumulation closes the available pores volume forming a more compact structure that decreases the water absorption and consequently decreases partial the solubility as well as increases the water resistance of magnesium oxysulfate cement.

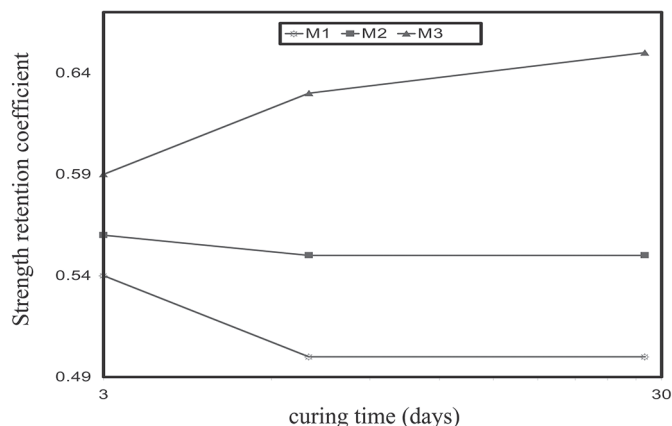


Fig. 6. Strength retention coefficients (%) of mixes M1, M2 and M3 at 3, 7, 28 days
6. ábra Vizlágyulási tényezők (%) az M1, M2 és M3 keverékekhez 3, 7, 28 napos korban

References

- [1] Li, Z. – Chau, C. K. (2007): Influence of molar ratios on properties of magnesium oxychloride cement. *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, No. 6, pp. 866-870. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.03.015>
- [2] Shand, M. A. (2006): The Chemistry and Technology of Magnesia. *Wiley Interscience*. <http://dx.doi.org/10.1002/0471980579>
- [3] Hewlett, P.C. (1956): *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. London, Sydney, Auckland, Arnold.
- [4] Birchal, V. S. S. – Rocha, S. D. F. – Ciminelli, V. S. T. (2000): The Effect of Magnesite Calcination Conditions on Magnesia Hydration. *Minerals Engineering*, Vol. 13, No. 14-15, pp. 1629-1633. [http://dx.doi.org/10.1016/S0892-6875\(00\)00146-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00146-1)
- [5] ESS 1109-2001 (2001) Standard test method for Particle size analysis.
- [6] ASTM C187-04 (2004) Standard test method for normal consistency of hydraulic cement. *ASTM International*. <http://dx.doi.org/10.1520/C0187-04>
- [7] Courard, L. – Darimont, A. – Schouterden, M. – Ferauche, F. – Willem, X. – Degeimbre, R. (2003): Durability of Mortars Modified with Metakaolin. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, No 9, pp. 1473-1479. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00090-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00090-5)
- [8] ASTM C349-02 (2002) Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars. *ASTM International*. <http://dx.doi.org/10.1520/C0349-02>
- [9] Deng, D. (2003): The Mechanism for Soluble Phosphates to Improve the Water Resistance of Magnesium Oxychloride Cement. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, No 9, pp. 1311-1317. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00043-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00043-7)

Ref.:

Kandeel, Ayman M.: *Effect of grain size of MgO powder on the physico-mechanical properties of magnesium oxysulfate cement paste*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 3 (2015), 98–101. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.16>

4. Conclusions

The main conclusions of this work can be drawn as follows:

1. As the grain size of MgO decreases the water demand increases.
2. As grain size of MgO decreases the dry and wet compressive strength of hardened magnesium oxysulfate cement paste increases by curing time.
3. The decrease of grain size of MgO powder produces high values of strength retention coefficients and improves the water resistance of magnesium oxysulfate cement paste.

MgO por szemcseméretének hatása oxisulfát cement pépek fizikai, mechanikai jellemzőire

A MgO szem nagyságának a hatását mutatja be a cikk az oxisulfát cementek vízigényére, halmazsűrűségére, vízfelvételére és nyomószilárdságára, különböző mennyiségű magnéziumsulfát adagolás mellett. A nyomószilárdság vizsgálatok eredményei szerint a 7 napig nedves utókezeléssel tárolt cementhabarcs minták közül a 16.66 m% magnéziumsulfátot tartalmazónak a legkedvezőbbek a tulajdonságai. A vizsgálatok eredményei szerint a MgO szem nagyságának csökkentésével a megszilárdult cementpépek nyomószilárdsága nő.

Kulcsszavak: szemcseméret, oxisulfát cement, magnézium cement

INTERNATIONAL CEMENT CONFERENCE

Cemtech
PRODUCTION EXPERTISE • MANAGEMENT SKILLS

EUROPE

20–23 September 2015 • Vienna, Austria

<http://www.cemnet.com/Conference/Item/172219/cemtech-europe-2015-vienna-austria.html>

Cemtech invites all cement industry professionals to attend the forthcoming Cemtech Europe 2015 conference and exhibition, taking place at the InterContinental Vienna, Austria, on 20-23 September.

Organised by International Cement Review, this three-day meeting will offer delegates a wide-ranging technical programme where leading industry experts will present the latest advances in cement manufacturing technology. The agenda will cover key themes such as alternative fuels utilisation, energy efficiency and process optimisation, and plant management. It will also draw inspiration from Austria's long tradition in cement manufacturing and as an innovative cement industry, whose collaboration with European equipment suppliers over generations has produced leading-edge technologies that continue to serve cement producers worldwide. Beyond technology, the programme will focus on the global impact of the forthcoming Lafarge and Holcim merger, together with worldwide cement industry trends and forecasts, as well as in-depth country reports.

Beszámoló a finnországi GPD2015 nemzetközi üveg konferenciáról

JAKAB András

PhD student at the BME, MSc Civil Engineer.

Fields of interests: glass construction, glass columns, non-destructive testing methods, point-fixed glasses construction technology and management.

NEHME Kinga

MSc Civil Engineer, PhD, Associate Professor at the Department of Civil Engineering, University of Debrecen. Owner of Struktúra Ltd. engineering office (design, quality control). Member of the Technical committee of Glass Working Group (MSZT/MB 112) of Hungarian Standardization Institute; Hungarian Group of fib; Hungarian engineer chamber (MMK: 01-9160). Fields of interests: load bearing glasses, testing of construction materials, design, recycling of building materials.

Salem Georges NEHME

MSc Civil Engineer, PhD, Associate Professor at the Department of Construction Materials and Engineering Geology, Budapest University of Technology and Economics (BME). Member of the Technical committee of Glass Working Group (MSZT/MB 112) of Hungarian Standardization Institute; Hungarian Group of fib; Hungarian engineer chamber (MMK: 01-9159). Fields of interests: concrete technology, mass concrete, self-compacting concrete, fibre reinforced concrete, quality control of building materials, non-destructive testing, reinforced concrete structures, recycling of building materials.

JAKAB ANDRÁS • Ph.D. hallgató, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

• jakab.andras@epito.bme.hu

NEHME KINGA • egyetemi docens, DE MK, Építőmérnöki Tanszék; főmérnök Struktúra Kft

• kpankhardt@yahoo.com

SALEM GEORGES NEHME • egyetemi docens, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

• sgnehme@yahoo.com

Érkezett: 2015. 07. 22. • Received: 22. 07. 2015. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.17>

Review of the GPD2015 international glass conference in Finland

The conference *Glass Performance Days* is organised every year in *China, South America and India*, however it is organised only in every second year in *Tampere, Finland*. The first GPD started in *Tampere, Finland* in 1992. The 15th conference was organised this year. Several foreign participants visited the GPD this year to share their knowledge, to make new contacts and participate in business meetings with their acquaintances. The week-long conference has numerous curiosities and programs, thus every researcher, business man, manufacturer, engineer is able to find their own field of interest. This year the authors also visited the conference, where they represented Hungary with their research topics, and the present report was prepared based on their experiences at the conference.

Újabban évente rendezik meg a világ legnagyobb üveges konferenciáját a *Glass Performance Days*-t Kínában, Dél-Amerikában és Indiában, azonban csak minden második évben szervezik a konferenciát Tampereben (Finnországban), ahonnan eredetileg 1992-ben kiindult. Finnország második legnagyobb városa idén 2015-ben, 15. alkalommal várta vissza a konferencia résztvevőit, hogy ismét megosszák tudásukat egymással, ápolják, illetve új virágzó kapcsolatokra tegyenek szert. Az egy hetes konferencia sok érdekességet tartogat kutatók, üzletemberek, gyártók, mérnökök, szakemberek számára és csupán csak az anyag iránt érdeklődő is könnyedén megtalálja számítását. A szerzőknek lehetőségük adódott, hogy idén - csekély számban magyar résztvevőként - ellátogassanak és szerepeljenek előadóként e méltán híres konferencián, amely alapján e beszámoló készült.

1. Bevezetés

Tampere a második legnagyobb város Helsinkit után Finnországban, magyar vonatkozását tekintve, Miskolc testvérvárosa, melyet a központjában elhelyezett irány és égtáj jelző totemoszlop is jelez (távolság 1499 km). A Tammerkoski folyó partján a XVIII. században alapított, egykor iparáról (acélipar és textilipar) híres városban (1. ábra) került megrendezésre a 2015. évi *Glass Performance Days* üvegipari konferencia, 2015. június 24-26 között. A konferencia helyszíne, Tampere egyik híressége az 1990-ben épült Tampere-talo épületegyüttesben volt (építészet: Sakari Aartelo és Esa Piironen, 2. ábra). Tampere ipari jellegét megőrizte, de egyben fiatalos várossá vált, és az egykori vörös-téglás homlokzatú ipari épületekben pl. Tampella, Finlayson, ma már kulturális és szórakoztató központok, éttermek, iroda komplexumok működnek.

A város „északi Velence” hangulatát kelti, mivel a két nagy tó, Näsijärvi és Pyhäjärvi között, a Tammerkoski folyó partján fekvő épületek homlokzatai, közvetlenül a várost átszelő folyóágakra, duzzasztóművekre tekintenek (3., 4. ábrák). A város azonban masszív gránit kőzetlemezen fekszik, amelyre a gránit minden

színárnyalatának esztétikus felhasználása is utal, a közlekedési útvonalak, burkolati-, lábazati anyagok használatát tekintve. Tampere északi elhelyezkedését jelzi, hogy érkezésünkkor (2015. június 21-én), a hosszú északi naplemente és virágzó orgonabokrok árasztotta illat csábítottak esti városnéző sétára, ahol éjjel egy óráig még vakut nélkülözve tudtunk fotózni.

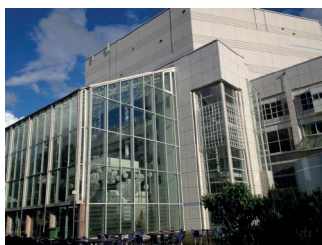
2. A GPD konferencia bemutatása

2.1. A GPD konferencia története

A GPD konferenciát először 1992-ben *Tampereben, Finnországban* rendezték meg *Glass Processing Days* néven. A szervezők szándéka elsősorban az volt, hogy lehetőséget biztosítsanak a világ üveges szakembereinek, gyártóinak, hogy meg tudják osztani egymással az üveg anyagról szerzett tudásukat és tapasztalataikat, valamint a felmerülő problémákra közösen új, hatékony megoldásokat találjanak. Az első konferencián közel 30-an vettek részt, azonban az ezt követő években ez a szám megsokszorozódott. 2007-ben a GPD történetében legtöbben látogattak el *Tamperebe*, ekkor több mint 1000 résztvevő volt jelen. A konferencia megújulását szem előtt tartva 1995-től már csak minden második évben tartották GPD-t *Tampereben*. A szervezőknek azonban nem állt szándékában kizárólag Európára korlátozni ezt a rendezvényt, ezért 1994-ben *Kínában* is szerveztek konferenciát. 2004-ben ismét megszervezték a konferenciát *Kínában*, az utóbbi években *Sanghai* adott otthont a rendezvénynek, valamint 2008-tól *Indiában*, 2010-től pedig *Dél-Amerikában (Sao Paulo)* is részt lehetett venni a GPD-n. A rendezvény neve 2005-ben megváltozott és *Glass Processing Days*-ről *Glass Performance Days* lett az új elnevezése. Az idei, 2015. évi GPD jelentős volt a konferencia történetében, hiszen 15. alkalommal rendezték meg *Tampereben* [1].



1. ábra Tampere, Tammerkoski folyó, egykori Tampella nehézipari vállalat épületei
Fig. 1. Tampere, Tammerkoski river, buildings of Tampella former heavy industrial company



2. ábra a) Tampere-talo épületgyűjtése és b) a GPD2015 konferencián résztvevő nemzetek zászlói, köztük a magyar zászló; képviselői jelen cikk szerzői voltak
Fig. 2. a) Tampere-talo building complex and b) the flags of the participating nations at the conference GPD2015, including the Hungarian national flag; representatives were the authors of this report



3. ábra a) Tammerkoski folyón épült duzzasztómű és b) az „északi Velence” éjszakai látképe
Fig. 3. a) Dam built on the Tammerkoski river and b) night view of the “Northern Venice”



4. ábra Tampere, Ratina Suvanto, visszaduzzasztó
Fig. 4. Tampere, Ratina Suvanto, backwater

2.2. A GPD célkitűzései

A GPD fő célkitűzése, hogy összehozza az üvegipar résztvevőit, pl. a kutatókat, tervezőket, a gyártókat a végfelhasználókkal egyetemben, valamint segítse az üvegipari szereplők együtt dolgozását és új kapcsolatok kialakulását. A konferenciákon mindig fontos az üvegről, mint anyagról szerzett tapasztalatok, információk megosztása, összegyűjtése,

valamint aktuális és jövőbeli felhasználások, alkalmazások konkretizálása, hogy e világszerte alkalmazott anyag továbbra is versenyképes maradjon. E célok mellett a GPD szervezői igyekeznek az üzleti kapcsolatok ápolására is hangsúlyt fektetni, ezért különböző kötetlen közösségi programokban való részvételre is lehetőséget biztosítanak [1].

3. 2015. évi GPD konferencia és programok

3.1. Konferencia programok

A megnyitón végzett interaktív felmérés alapján a résztvevők fele első alkalommal vett részt a konferencián. A szervezők a „first timer”-eket segítve a konferencia honlapján tanácsot adnak, hogyan érdemes utazni, milyen programokon és eseményeken célszerű jelen lenni. A konferencia első napján a megnyitó előtt külön köszöntötték az első alkalommal résztvevőket a konferencia szervezők.

A szervezők azonban nem csak a kezdő konferencia résztvevőkre gondoltak, hanem azokra is, akik már sokadik alkalommal látogatták meg *Tamperét*. Számukra exkluzívabb programokat és lehetőségeket is biztosítottak a kapcsolatok építésére pl: golfozással. A finn szokások, ízek, titkok, jellegzetességek, építészet megismerése céljából változatos programokat kínáltak. Többek között egy építészeti kirándulást *Helsinki*-be, ahol a város új, modern épületeit lehetett megismerni. Kiseb kirándulásokat szerveztek a környéken is a következő címekkel: Mesterszakács az erdőben; Művészet, kézművesség és inycsiklandozó finomságok *Tampere* szívében; Kenutúra a csapatépítésért a *Nasijarvi* tavon; A *Finlayson* története [1].

A GPD konferencia megnyitó ceremóniája előtt már egy nappal ún.: *workshop-okat* szerveztek. A *workshop-ok* több, akár 8 órás oktatást jelentenek, ahol az iparág különböző rész-folyamatait, titkait sajátíthatjuk el. A teljesség igénye nélkül pár példát említünk: Homlokzat tervezés (*Koltay Ágnes, Koltay Facades*), Vágás és csiszolás (*Michael Emonds, Bohle AG*), Kémiai edzés (*Guglielmo Macrelli, Isoclima SpA*), Üveglaminálás és hatékonyság (*Jan Scheers, Kuraray*), Anizotrópia (*Saverio Pasetto, Skanska*).

A 15. GPD konferencia hivatalos megnyitója június 24-én délután kezdődött, melyet *Jorma Vitkala*, a konferencia elnöke nyitott meg. A hivatalos megnyitó beszéd után a konferenciát és résztvevőit köszöntötte *Anna-Kaisa Ikonen*, *Tampere* polgármester-asszonya. A megnyitó ünnepségen három előadás is elhangzott, amivel az üveg iparág helyzetét mutatták be. Az előadók *Arto Metsanen* (CEO & President, *Glaston Corporation*), *Kai Uwe Bergmann* (Partner, *BIG Architects*) és *Dale Sands* (SVP, *Environmental Business, AECOM*) voltak. A megnyitó beszédek után négy vezető üveges cég képviselőjének interaktív beszélgetését hallhattuk, bemutatták helyzetüket és szubjektív véleményüket az üveg jövőjéről. Résztvevők: *Jonathan Cohen* (Global Business Director, *Kuraray Glass*), *Jean-Paul Hautekeer* (Global Marketing Director, *Dow Corning Corporation*), *Arto Metsanen* (CEO & President, *Glaston Corporation*), *Johann Sischka* (SVP, *Waagner-Biro Stahlbau AG*) (5. ábra). Az irányított beszélgetés során az ünnepség moderátora *André Noel Chaker* kérdéseket intézett a közönség felé is, majd előre megfogalmazott válaszokra voksolhatott a hallgatóság, ezt követően pedig kivetítésre került a szavazatok eredményének százalékos megoszlása.

A konferencia mindhárom napján esti vacsorákkal, zenés mulatságokkal szolgáltak a szervezők: nyitó vacsora (6. ábra), konferencia díszvacsora és búcsúvacsora. Ahogy a *Glasstec* üvegipari kiállításnál is [2] hagyománnyá vált, minden este nyitva volt az ún. *GPD Pub*, egy a város központjában elhelyezkedő lokálban.



5. ábra A GPD 2015 megnyitója
Fig. 5. Opening ceremony of GPD 2015



6. ábra A nyitó vacsora
Fig. 6. Welcome dinner of GPD 2015

3.2. Szekciók

Több szekció indult párhuzamosan: Üvegek és fenntarthatóság; IGU és ablak technológiák; Bevonati technológiák és alkalmazásuk; Üvegek a szerkezeti alkalmazásban; Laminált üvegek gyártása és tervezése; Építészeti újítások, megoldások és homlokzatok; Hajlított üveg; Üvegragasztás és pontmegfogás; Új termékek és alkalmazásuk; Hőkezelés és előfeldolgozás; Piaci trendek és a jövő lehetőségei; Minőségirányítási rendszerek; Üveg a lakberendezésben; Poszter előadások.

A konferencián egyszerre 6 szekció zajlott párhuzamosan, ezért a résztvevőknek javasolt volt előzetesen átgondolva kiválasztani a meghallgatni kívánt előadásokat. Építőmérnökként a cikk szerzői is érdeklődési körüknek megfelelően válogattak a szekció témakörökben, így főképp három szekciót látogattak: *Üvegek a szerkezeti alkalmazásban; Laminált üvegek, gyártás és tervezés; Hőkezelés és előfeldolgozás*. Jelen cikkben a látogatott szekcióból kiemelten, röviden ismertetünk érdekes előadásokat.

4. Poszter és termékbemutató kiállítás a GPD-n

A konferencia helyet biztosított poszter, cég és termék bemutatási kiállításoknak is. A poszter kiállítás fő témája a különleges üveg-kompozit anyagok alkalmazása (pl. Üveg és kő kompozit panelek vizsgálata, Y. Misawa és S. Matsunobu; Arup), üveg-hibák és vizsgálataik (pl. Görgő oldali karcolások érzékelése és felbontása, G. Mauer; Window Cleaning Network) valamint lamináló- és ragasztóanyagok tartóssági kérdései voltak.

A kiállító cégek közül főképp az üvegek roncsolásmentes vizsgálatával foglalkozó műszeres bemutatót tartó, fejlesztő cégek számíthattak a legnagyobb érdeklődésre. Ez nem is csoda, hiszen ahogy egyre merészebb az üvegek felhasználása – gondoljunk itt tartószerkezeti anyagként való elterjedésére –, úgy egyre fontosabb tényező a biztonságos tervezés is, amelyhez elengedhetetlen a végtermék jellemzőinek, minőségegyenletességének pontos ismerete. A gyártás során a számos vizuális vizsgálaton kívül manapság lehetőség nyílik akár műszeres, roncsolásmentes módszerrel történő ellenőrzésekre is pl. hőkezelt, kémiaileg edzett üvegek feszültség mérése, hőszigetelő üvegek rétegrendjének meghatározása (7. ábra).



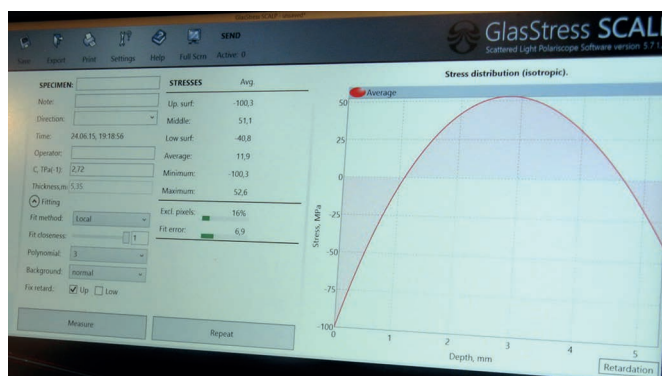
7. ábra Sparklike cég hőszigetelő üveg rétegrendjének utólagos meghatározására alkalmas készüléke

Fig. 7. Device of Sparklike Company is suitable for posterior determination of order of thermal insulating glass layers



8. ábra Üvegek vastagság menti feszültség eloszlásának mérésére alkalmas SCALP-04 készülék

Fig. 8. SCALP-04 device is suitable for measuring the stress distribution along the thickness of glasses



9. ábra Software a SCALP-04 készülékhez

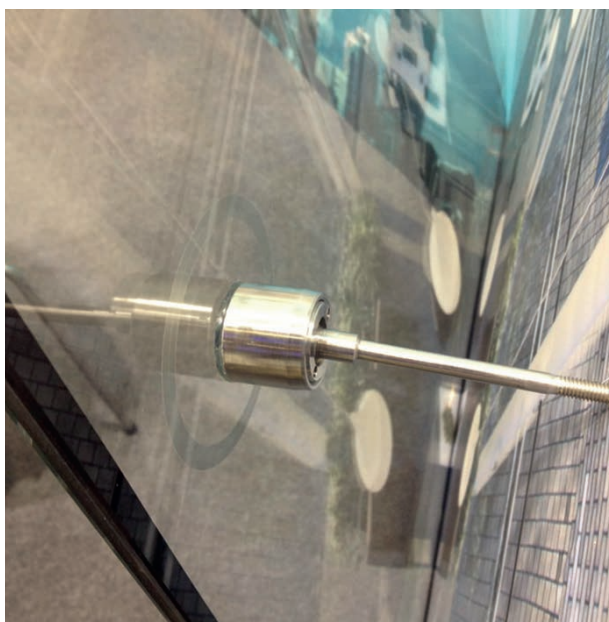
Fig. 9. Software for SCALP-04 device

A Softeco finn cég - európai és amerikai szabványok szerinti üveg vizsgálatokra alkalmas eszközöket forgalmaz – az Ayrox nevű belga céggel közösen pl. lézertérkép segítségével az üveg feszültségi trajektóriáinak kimutatására alkalmas eszközt és



10. ábra Dow Corning cég mechanikai rögzítés nélküli, ragasztós üvegrögzítése

Fig. 10. Adhesive glass fixing of Dow Corning Company which does not use mechanical fastening





11. ábra Laverstoke papírzem üvegházai

(forrás: <http://www.hughbonneville.uk/project/laverstoke-mill> 2015.07.29) [3]

Fig. 11. Laverstoke Mill glasshouses

(retrieved: <http://www.hughbonneville.uk/project/laverstoke-mill> 07. 29. 2015.) [3]

elemző programot mutattak be. A GlasStress Ltd. észtországi cég Polariscope AP mérőműszerét öblösüvegek feszültségmérésére fejlesztette ki, amely fotoelasztikus elven, transzmissziós módon működik, és jellemzően a gyártásközi minőségellenőrzésben (palack, lámpa, optikai szálak, autóüvegek gyártása) lokális feszültség koncentrációk detektálására alkalmazzák. Az észtországi cég egy másik, üvegek vastagság menti feszültség eloszlásának mérésére alkalmas, SCALP-04 nevű készülékét is bemutatta. A készülék mérési tartománya 3-19 mm üveg vastagságig terjed. A készülékhez fejlesztett software segítségével valós időben könnyen kimutatható az előfeszített üvegekben lévő sajátfeszültségek vastagság menti eloszlása. Az eszközbe-mutatón kémiailag edzett üvegen is demonstrálták az eszköz működését és az elemző programot, amely az alsó mérési tartomány közelében volt már (8.-9. ábrák).

Az új fejlesztéseket bemutató kiállítók közül a Dow Corning cég mechanikai rögzítést nélkülöző, az üveg felületére ragasztott pontmegfogásos homlokzati üveget mutatott be (10. ábra). A Sedak cég pedig a 2014. évi düsseldorfi kiállításon ismertetett [2] nagyméretű (15 m × 3.2 m) hőszigetelő üvegének poszterét állította ki, továbbá különleges követelményű, ill. rétegrendű laminált üveg termékeit mutatta be, pl. teljesen transzparens biztonsági laminált üveg, amelyben 4 üvegrétegből felépülő kis vasoxid tartalmú Optiwhite biztonsági üvegeket, és új generációs 0.89 mm vastag SentryGlas fóliát alkalmaztak.

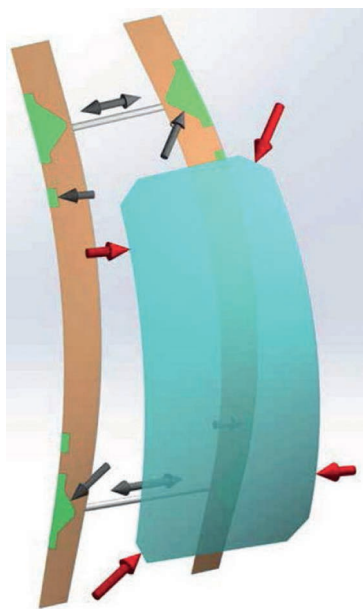
5. Szerkezeti üvegek fejlődési irányai

5.1. Homlokzatok fejlődése

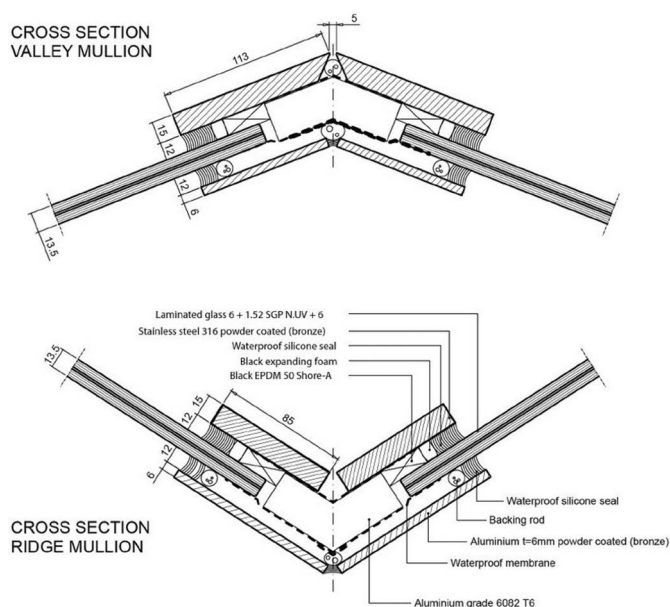
A konferencián több előadás keretében is esettanulmányokat mutattak be üveghomlokzatokról, amelyeket más-más szemszögből (különleges alak, forma, volumen, hőtechnikai tulajdonság stb.) közelítettek meg.

Az egyik legkülönlegesebb előadás az angliai Hampshire-ben található Laverstoke papírzemről hangzott el Carles Teixidor (Bellapart S.A.U.) előadásában [3]. A papírzemhez hasonló két meglehetősen különleges üvegházat építettek, amelyek méreteikben eltérőek (11. ábra). A Heatherwick Stúdió az Arup céggel közösen tervezte e különleges építményeket. A nagyobb méretű üvegház 15 m magas és 11 m átmérőjű. A fő tartószerkezete karcsú, kétszer görbült rozsdamentes acélborda, amelyekre szintén kétszer görbült üveg héjakat illesztettek. Az üvegek a szerkezeti kialakítás alapján csak nyomófeszültséget tudnak felvenni a 45°-ban lesarkított éleken keresztül (12. ábra). Az acél bordák közé a vízszintes üvegillesztéseknél acél rudakat helyeztek el, amelyek húzó- és további nyomófeszültséget tudnak közvetíteni a bordák között. A bordákra alumínium füleket (papucsokat) helyeztek el az üvegtáblák sarkainál. További 100 × 200 mm-es U-alakú füleket (papucsokat) alkalmaztak az üvegtáblák élénél hosszanti irányban, ezekbe hidegen hajlították az üvegeket a helyszínen. Az üveg és alumínium fülek csatkozásánál lágy alumíniumot alkalmaztak. A két

üvegháznál összesen 785 db eltérő méretű, kétszer hajlított üveghéjat szereltek fel. Egy üvegtábla két 6 mm-es hőkezelt üvegből áll, melyeket 1,52 mm vastag Sentryglas fóliával lamináltak. A vízszintes illesztéseket az üvegtáblák között rugalmas szilikonnal tömítették. A függőleges illesztéseknél (üveg-üveg találkozásánál, tehát a bordáknál) rozsdamentes burkolat alatt, rugalmas kapcsolatot alakítottak ki, hogy a hőmérsékletváltozás okozta mozgásokra ne reagáljon károsan a szerkezet (13. ábra). Az üvegtáblákat hőkezelés és melegen hajlítás után a helyszínen hidegen is hajlították, így nyerték el végső formájukat. Az összes darabszámhoz viszonyítva csak kis mennyiségben (53 db) volt szükség helyszíni hőkezelést (melegítést) alkalmazni, hogy az üvegben lévő nagyobb káros feszültségeket csökkentsék.



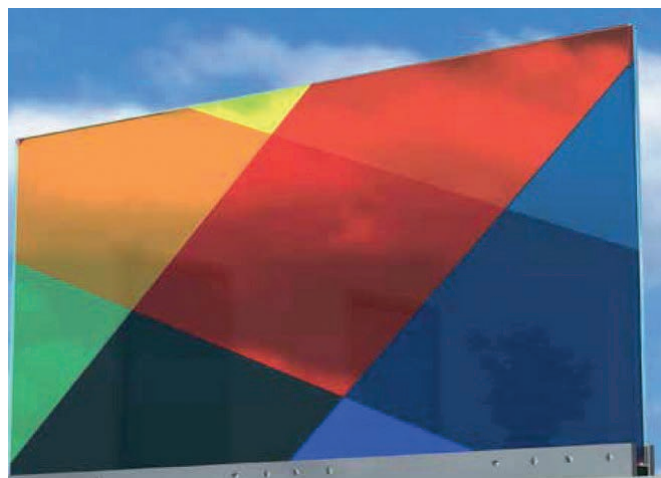
12. ábra Laverstoke papírium üveghéjazatának megtámasztása [3]
Fig. 12. Supporting structure for glass shell of Laverstoke Mill glasshouses [3]



13. ábra Laverstoke papírium csomópontja [3].
Fig. 13. Detail of glass shell of Laverstoke Mill glasshouses [3].

5.2. Laminált üvegek fejlesztései

A látogatott szekciók mindegyikében közös volt, hogy bármely aspektusból is közelítették meg az előadók az üvegek teherhordó szerkezetekben történő alkalmazhatóságát, számos megoldandó feladat elé néz az üveges szakma, melyek a gyártók részéről további fejlesztéseket igényelnek. Az üveg anyagának összetétele alapján az alumino-szilikát üvegek mechanikai igénybevételekkel szembeni kedvezőbb ellenállására, már a 2014. évi Glasstec kiállítás is rámutatott [2]. A laminált üvegek szívósságának kérdését több előadás is érintette, amelyek közül a Kuraray Europe részéről Björn Sandén ismertette a lamináló anyagok sokoldalú funkcióját. A lamináló anyagok fejlesztésekor igyekeznek szem előtt tartani a fóliák termomechanikai viselkedését, hogy a gazdaságos tervezés érdekében az üveg rétegek közötti együttműködést figyelembe lehessen venni. A látogatott előadások alapján megállapítható, hogy a lamináló fólia anyagok közül az EVA jelenleg „fénykorát éli”, a gazdaságos és sokoldalú laminált üveg előállításnak köszönhetően. A laminált üvegek maradó teherbírása (tönkremenetelt követő viselkedése) fontos szempont az üvegek tartószerkezetekben történő alkalmazásakor, így az új generációs fóliák pl. SentryGlas® Ionoplast lamináló anyagok felhasználása növekvő tendenciát mutat. Különleges megoldást mutatott be a Glaslabor.de GmbH, ahol pl. nagyméretű, ill. dekorációs célú színes üvegeknél szükségessé váló lamináló fóliák hegesztési technológiáját szemléltették előadásukban (14. ábra).



14. ábra Lamináló fóliák hegesztése [4]
Fig. 14. Welding of interlayer foils [4]

5.3. Rendkívüli terhek és hatások

A konferencia bővelkedett a különleges hatásoknak kitett üvegszerkezetek laboratóriumi, illetve 1:1 léptékű kísérletek bemutatásában is. A *Kuraray America* cég részéről az üveges szakma neves képviselője *Valerie L. Block* tornádónak ellenálló homlokzati hőszigetelő üvegek kísérleti eredményeiről számolt be. Ilyen rendkívüli terhek esetén nem ritka a minimum 4 üveg rétegből felépülő, Ionoplast lamináló fóliát tartalmazó üveg sem. Rendkívüli, robbantásnak ellenálló üvegszerkezet 1:1 léptékű kísérletét mutatta be *Thomas Henriksen* a *Wagner Biro* cégtől.

A szerzők két előadással szerepeltek a konferencián, üveg oszlopok [5] és üveg mellvédek témakörökben [6]. A téma-választások aktualitását jelezte, hogy a konferencián számos előadó képviselte egyetemét, cégét e témakörökben. Mind a mellvédek, mind pedig az oszlopok esetében számítani kell nagy kinetikus energiával becsapódó testek hatására pl. ütközésből, elesésből származó terhekre, amely hatások szabványosítása még a jövőbeni feladatok közé tartozik, így kísérlettel segített tervezés válhat szükségessé. Az előadók igyekeztek közös konszenzusra jutni bizonyos kérdésekben, így pl. a maradó teherbírás érdekében, biztonsági okokból az üveg mellvédek esetében, az üveg éle mentén végigvezetett fogódzó a nagy igénybevételű mellvédek (lelátók, tömeggyülekezésre alkalmas létesítmények, magas épületek erkélyei stb. esetén) várhatóan kötelező érvénnyel bevezetésre kerül. Üveg oszlopok témakörben szintén fontos kérdésre sikerült rávilágítanunk, melyre a konferencián többen is reflektáltak: a stabilitási kérdéseknél a kritikus kihajlási erő meghatározása jelenleg problémát jelent, amelyre *Jakab András* laboratóriumi kísérleti eredményei alapján javaslatot tett [5] és ismertette a hallgatóságnak.

6. Előfeszített üvegek jellemzői

Az üvegerősítési eljárások közül a kémiai edzéssel előállított termékek jellemzőinek vizsgálatával több előadó is foglalkozott, hiszen növekvő tendenciát mutat a vékony üvegek felhasználása az építészetben. Az előfeszítési eljárások közül jelenleg a hőkezelés

edzés kivitelezhető gazdaságosan. A hővel történő erősítés azonban az üvegekben az anizotrópia jelenségét eredményezi, amelynek kimutatásáról és vizsgálatáról számos előadást hallhattunk. Így, e két aktuális témakörből emeltünk ki és ismertetünk néhány gondolatot.

6.1. Üvegek és anizotrópia

Az anizotrópia jelensége elsősorban vizuális problémát okoz az edzett üvegek homlokzatokban történő alkalmazásakor. Az üvegfelületek méretének növekedésével e vizuális hibára egyre többen fordítanak figyelmet. Maga a hőkezelési eljárás, az edzőkemence hőáramlási viszonyai, a lehűtési fázisban a fűvókák kiosztása és az eltérő lehűlési gradiensű lokális pontok stb. ún. leopárd foltokat, színes sávokat okoznak a készterméken, amelyek bizonyos fénytörési viszonyoknál, ill. polarizált fényben optikailag megjelennek (15. ábra).

Saverio Pasetto a *Skanska* cégtől az anizotrópia kérdéskörét oly módon közelítette meg, hogy felmérést végzett építészek, üveg beszállítók, homlokzat szakkonzulensek és vállalkozók körében. Kérdés volt, hogy egyáltalán hibának tekinthető-e az anizotrópia és ez alapján elutasítható-e az üvegek átvétele? A válaszadók 83%-a egyetértett abban, hogy a jelenséghez nincsenek megfelelő módon szabályozva az elfogadási vagy visszautasítási kritériumok, ezért így nem nevezhető hibának jelenleg az anizotrópia, azonban sok vitás kérdés tárgyát képezheti. Az anizotrópiára megoldás lehet a távlatiokban az edzőkemencék hő áramoltatási viszonyainak továbbfejlesztése, valamint hatékony gyártásközi vizsgáló műszerek fejlesztése, amelyek az anizotrópia gyors és egyszerű kimutatását lehetővé teszik. Amíg e feltételek nem állnak rendelkezésre és nem kezdődnek meg az üveg feldolgozás ilyen irányú fejlesztései, addig nem lehet visszautasítási alapot találni e jelenség alapján.

6.2. Kémiai edzés előretörése

A *GPD* konferencián több előadás is elhangzott a kémiai edzés háttéréről, tulajdonságairól. Ezek közül *Ennio Mognato* előadását emeljük ki, aki a felületi feszültséget és a mechanikai

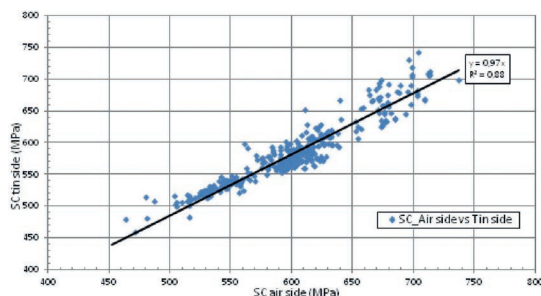


15. ábra Anizotrópia megjelenése, Zenei központ üveg homlokzata, Helsinki
Fig. 15. Appearance of anisotropy in glass facade of Music Centre in Helsinki

szilárdságot befolyásoló paraméterek kapcsolatait tanulmányozta kémiai edzett üvegeknél [8].

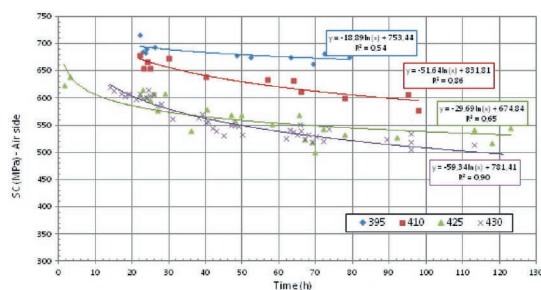
A kémiai edzés lényege, hogy kálium-nitrát fürdőben (KNO_3) ioncserét hajtanak végre és ezáltal nyomófeszültséget indukálnak az üveg felülethez közeli tartományában (többszörösét, a hővel erősített üvegekéhez képest). A kémiai edzés hatékonysága nagyban függ a fürdetés időtartamától, a közeg hőmérsékletétől és a behatolási mélységtől. A nagyszámú kísérletben – szám szerint 391 db – 2001-től 2014-ig vizsgálták egy észak-olaszországi üvegyár termékeit, ahol kémiai edzett 4 mm vastagságú, 100×100 mm-es felületű tiszta float üveg tulajdonságait mérték. Vizsgálták a felület közeli nyomófeszültséget és a behatolási mélységet az üveg levegővel érintkező (szabad) és ónfürdős oldalán, valamint az idő és hőmérséklet hatását. A kísérletben négy fürdő hőmérsékletet alkalmaztak 395°C -tól 430°C -ig, illetve 1,5 órától 128 óráig tartották sófürdőben a próbatesteket.

Nagyszámú próbatest alapján kimutatták, hogy a felület közeli nyomófeszültség értéke, valamint a behatolási mélység is nagyobb a levegővel érintkező oldalon az ónfürdős oldalhoz képest. A 16. ábrán látható mérési eredményekre lineáris trendvonalat fektettek, amelynek a szórásnégyzete a felületi nyomás esetében 12 %, míg a behatolási mélységnél 3 % volt. A behatolási mélységgel lineárisan csökkent a felületi nyomófeszültség, amely összefüggést azonban csak meglehetősen szűk tartományban vizsgáltak kb. $45 \mu\text{m}$ -ig. A vizsgált hőmérsékletek alapján, alacsonyabb hőmérsékleten nagyobb nyomófeszültséget lehet elérni, azonban hosszabb fürdetés során ezek a feszültségek csökkennek, ezért célszerű rövidebb ideig fürdőben tartani az üvegeket. A behatolási mélység ezzel fordítottan arányos, mivel mélyebben edződik az üveg, ha nagyobb hőmérsékleten hosszabb ideig tartják fürdőben (17. ábra).



16. ábra Felület közeli feszültség (SC) összehasonlítása a levegővel érintkező (air side) és ónfürdős (tinside) üveg oldalon [8]

Fig. 16. Comparison of surface stresses (SC) in air side and tin bath side of the glass [8]



17. ábra Felület közeli feszültség csökkenése a hőmérséklet és az idő (Time) függvényében (SC – Air side: levegővel érintkező oldal) [8]

Fig. 17. Decrease of surface stresses (SC) related to the temperature and time (in air side of the glass) [8]

7. Kitekintés

A szerzők (18. ábra) számára nagyon tanulságos volt a GPD 2015 konferencia. Nagyon színvonalas, témákban gazdag és tartalmas előadásokat hallhattunk. 2014-ben a Glasstec kiállítást és az Engineered Transparency konferenciát látogattuk meg [2]. E két nagy nemzetközi rendezvény alapján kijelenthető, hogy az üveg, mint építőanyag előtt nagy jövő áll. Évente jelentősen növekszik azok száma, akik újabb aspektusokból közelítik meg ezt az anyagot. Remélhetőleg hazánkban is egyre több üveges szakember kap kedvet, hogy e két meghatározó eseményen részt vegyen.



18. ábra A szerzők a GPD 2015 konferencia elnökével, Jorma Vitkalával.

Fig. 18. The authors with Mr. Jorma Vitkala, President of GDP 2015 conference

Hivatkozások

- [1] <https://mobile.gpd.fi/>
- [2] Jakab, A. – Nehme, K. – Molnár, P. – Nehme, S. G. (2014): Beszámoló a 2014. évi düsseldorfi Glasstec kiállításról. *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 66, No. 4 (2014), pp. 131–135. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.24>
- [3] Teixidor, C. (2015): Free form glass braced structures, Laverstoke Mill glasshouses. *Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings* ISBN: 978-9525836-03-5 pp.101-103.
- [4] Sastré, H. (2015): Welding of thermoplastic interlayer - wider and combined interlayer. *Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings* ISBN: 978-9525836-03-5 pp.156-162.
- [5] Jakab, A. – Nehme, K. – Nehme, S. G. (2015): Laboratory Experiments of Centrally Loaded Glass Columns. *Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings* ISBN: 978-9525836-03-5 pp. 117-121.
- [6] Nehme, K. – Jakab, A. – Nehme, S. G. (2015): Impact behaviour of glass balustrades. *Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings* ISBN: 978-9525836-03-5 pp. 350-355.
- [7] Pasetto, S. (2015): Anisotropy as a defect in U.K. architectural float heat-treated glass. *Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings* ISBN: 978-9525836-03-5 pp. 402-405.
- [8] Mognato, E. – Schiavonato, M. – Pittoni, M. (2015): Chemically Strengthened Glass: correlation between Surface Compression, Potassium Profile, Mechanical Strength and production parameters. *Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings* ISBN: 978-9525836-03-5 pp. 411-415.

Ref.:

Jakab, András – Nehme, Kinga – Nehme, Salem Georges: *Beszámoló a finnországi GPD2015 nemzetközi üveg konferenciáról*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 3 (2015), 102–109. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.17>

Development of compressive strength of HPC with the use of supplementary cementing material (SCM) combination

Dr. Adorján BOROSNYÓI

(1974) civil engineer (MSc), PhD, associate professor at the BME Dept. of Construction Materials and Technologies. Main fields of interest: application of non-metallic (FRP) reinforcements for concrete structures, bond in concrete, non-destructive testing of concrete. Member of the Hungarian Group of fib and of fib TG 4.1 „Serviceability Models”. Corresponding member of RILEM Technical Committee ISC “Non-destructive in situ strength assessment of concrete”.

ADORJÁN BOROSNYÓI ▪ BME Dept. of Construction Materials and Technologies

▪ borosnyoi.adorjan@epito.bme.hu

Érkezett: 2015. 08. 03. ▪ Received: 03. 08. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.18>

Abstract

The effect of individual or combined use of silica based and alumino-silicate based supplementary cementing materials on the development of the compressive strength of concretes were studied. Most important aim was to reveal if there is any advantage of the combined use of two supplementary cementing materials. Laboratory tests were carried out on standard cube specimens at the age up to 300 days. Results revealed that the two SCMs could not necessarily contribute to a more effective performance in compressive strength, in the studied mixing ratios.

Keywords: supplementary cementing material, concrete, compressive strength

1. Introduction

Durability, recycling potential, large range of performance and low material cost makes concrete to be one of the most widely used construction materials [1-5]. Environmental influences may, however, result the electrochemical corrosion of steel reinforcement and the physical or chemical degradation of concrete. Hydraulic and pozzolanic supplementary cementing materials (SCM) are widely used for a long time to enhance the durability of concrete and hinder reinforcement corrosion [6-16]. Development of SCMs is still continuous today. In the variety of silica and/or alumina based SCMs available for concrete, silica fume (>99% silica) and different purity metakaolins (alumino-silicate minerals) are considered to be the most effective in improving the durability of concrete.

Silica fume (SF) is a by-product of the smelting process in the silicon and ferrosilicon industry [9-10]. Silica fume particles are very small; usually more than 95% of the particles have lower diameter than 1 µm. Silica fume is a reactive pozzolanic material due to the small particle size and the very high content of amorphous silica. Silica fume forms CSH gel with the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content of concrete and develops similar hydrate products to that of Portland cement but results much smaller crystal products. Mechanical properties of concrete are improved by the use of silica fume; if superplasticizer admixtures are utilized, high compressive strength of 100 to 150 MPa can be reached. However, due to the different rate of the chemical reactions, the development of the compressive strength in time is different from that of realized for Portland cement.

It is demonstrated in the technical literature that alumino-silicate and calcium-alumino-silicate materials can be used as supplementary cementing materials almost as successfully as silica fume. Typical materials are: ground granulated blastfurnace slag (GGBS), fly ash (FA), metakaolin (MK), natural pozzolans, waste glass powder (WGP), cement kiln dust (CKD), rice husk ash (RHA), paper sludge ash (PSA), volcanic ash, solid waste ash, wood ash, foundry sand and red mud [6-14]. The most effective alumino-silicate SCM is the metakaolin

(MK) with considerable pozzolanic activity [8,14]. Metakaolin is manufactured by dehydroxilation (calcination) of kaolinitic clay at a temperature between 500°C and 800°C. Kaolinite is formed into a two dimensional crystal structure during dehydroxilation by breaking down or partial breaking down of the original crystal lattice structure and forming a transition phase that is named metakaolin. Successful dehydroxilation of kaolinitic clay results in a disordered, amorphous condition of metakaolin, which has high pozzolanic activity. Increasing the temperature beyond 500°C to 800°C results in sintering and the formation of mullite, which is not a reactive form. Major constituents of metakaolin are SiO_2 and Al_2O_3 . This alumino-silicate composition of metakaolin allows chemical reaction with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in concrete that forms calcium-silicate-hydrate gel as well as calcium-aluminate-hydrate and alumino-silicate-hydrate crystalline phases. Recently, different purity metakaolins are available on the market.

2. Scope of the study

In the present experimental research, the effect of both the individual and the combined use of silica based (S) and alumino-silicate based (A) supplementary cementing materials on the development of the compressive strength of concretes were studied. Most important aim of the study was to reveal if there is any advantage of the combined use of two supplementary cementing materials. Laboratory tests were carried out on standard cube specimens at the age up to 300 days and the influences of the SCMs were analyzed.

3. Materials

Quartz sand and gravel was used for the preparation of concretes (maximum aggregate size 16 mm) with CEM I 42.5

N Portland cement. The water/binder ratio was selected to be $w/b = 0.40$ with CEM + SCM amount of 325 kg/m^3 . The targeted consistence of the fresh concrete mixes was 600 mm flow which was set by polycarboxylate based superplasticizer admixture. Twelve mixes were prepared with different amount of SCMs. For the silica based SCM (that was silica fume slurry) the cement substitution ratio was 3 m%, 5 m%, 10 m% and 15 m%. For the alumino-silicate based SCM (of which main oxide content is: SiO_2 52.96%; Al_2O_3 41.74%; CaO 2.98%; Fe_2O_3 0.52%) the cement substitution ratio was 10 m%, 17 m%, 25 m% and 33 m%. For the combined use of the SCMs the following cement substitution ratios were applied: alumino-silicate/silica (A/S) ratio of 7/3 (m%/m%), 12/5, 17/8 and 25/8 to reach a total cement substitution ratio of 10 m%, 17 m%, 25 m% and 33 m%, respectively. Specimens were stored under water for 7 days and under laboratory atmosphere afterwards.

4. Experiments

The laboratory testing of the specimens has been started at the age of 28 days. Compressive strength tests were performed by a Form+Test universal closed-loop hydraulic testing machine according to EN 12390-3 at a constant loading rate of 11.25 kN/s on the standard cube specimens (150 mm of size). The tests were repeated at the age of 180 days and 300 days as well. Compressive strength of the specimens were calculated and analysed.

5. Test results

Table 1 summarizes the results of compressive strength (f_c) at 28, 180 and 300 days of age. The test results are represented graphically in Fig. 1 to Fig. 3 at 28, 180 and 300 days of age, respectively. It can be seen that the SCMs influence the compressive strength in different magnitudes and the additional development of the compressive strength at later ages is considerably different, too. At 28 days of age, mixes containing silica based SCM (labelled with S in Fig. 1 to Fig. 3) showed the largest increase in the compressive strength for 3 m% cement substitution ratio and the lowest increase in the compressive strength for 15 m% cement substitution ratio. On the contrary, at later ages due to the considerable additional development of the compressive strength, the largest increase in the compressive strength was found for 15 m% cement substitution ratio and the lowest increase in the compressive strength was found for 3 m% cement substitution ratio. Later age strength development for 15 m% cement substitution ratio is $f_{c,300d}/f_{c,28d} = 123.39 \text{ MPa}/104.09 \text{ MPa} = 1.18$ while the same for 3 m% cement substitution ratio is $f_{c,300d}/f_{c,28d} = 113.54 \text{ MPa}/108.02 \text{ MPa} = 1.05$. At 28 days of age, mixes containing alumino-silicate based SCM (labelled with A in Fig. 1 to Fig. 3) showed the largest increase in the compressive strength for 10 m% cement substitution ratio and the lowest increase in the compressive strength for 33 m% cement substitution ratio. This difference did not change at later ages. Later age strength development for 10 m% cement substitution ratio is $f_{c,300d}/f_{c,28d} = 121.07 \text{ MPa}/110.42 \text{ MPa} = 1.10$ while the same for 33 m% cement substitution ratio is $f_{c,300d}/f_{c,28d}$

	Compressive strength, f_c (N/mm ²)			pH value
	28 days	180 days	300 days	
	Reference mix			
CEM	81.71	89.51	92.45	12.09
Mixes with silica based SCM				
S3	108.02	110.76	113.54	12.01
S5	107.00	111.96	115.53	11.96
S10	109.27	119.96	122.46	11.89
S15	104.09	117.36	123.39	11.81
Mixes with alumino-silicate based SCM				
A10	110.42	119.53	121.07	12.0
A17	105.13	110.47	113.33	11.92
A25	102.76	108.27	109.25	11.9
A33	100.80	103.16	106.12	11.87
Mixes with combined use of A/S SCMs				
7/3	89.64	106.20	115.87	12.04
12/5	90.60	101.62	104.08	11.98
17/8	91.29	98.78	101.44	11.87
25/8	84.73	93.56	98.77	11.84

Table 1. Experimental results
1. táblázat Experimentál eredmények

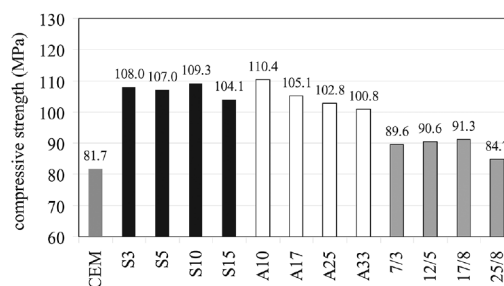


Fig. 1. Mean compressive strength of concrete specimens at 28 days of age
1. ábra Átlagos beton nyomószilárdságok 28 napos korban

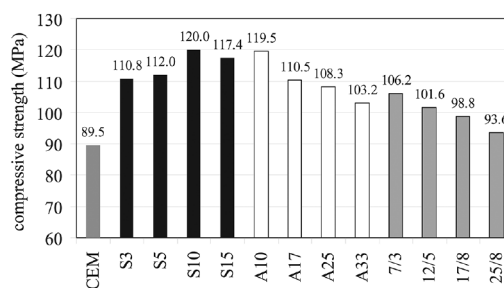


Fig. 2. Mean compressive strength of concrete specimens at 180 days of age
2. ábra Átlagos beton nyomószilárdságok 180 napos korban

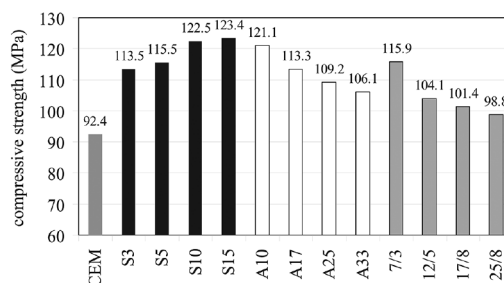


Fig. 3. Mean compressive strength of concrete specimens at 300 days of age
3. ábra Átlagos beton nyomószilárdságok 300 napos korban

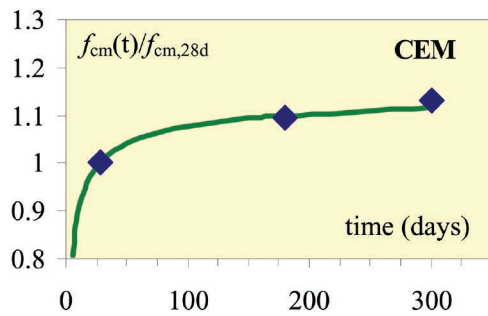


Fig. 4. Development of compressive strength in time; reference mix
4. ábra Referencia keverék nyomószilárdságának időbeli fejlődése

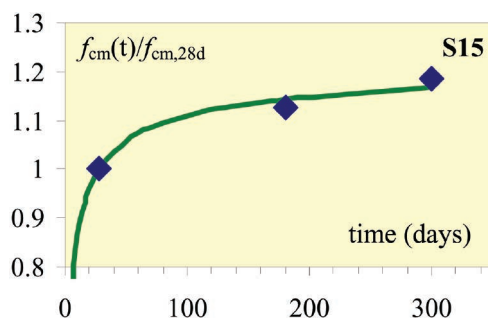
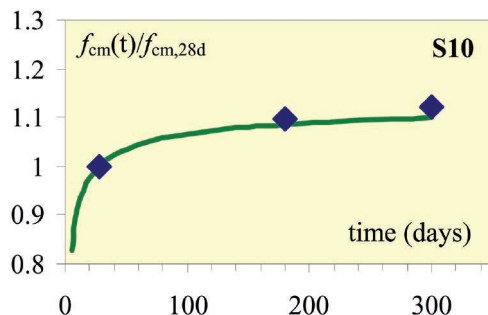
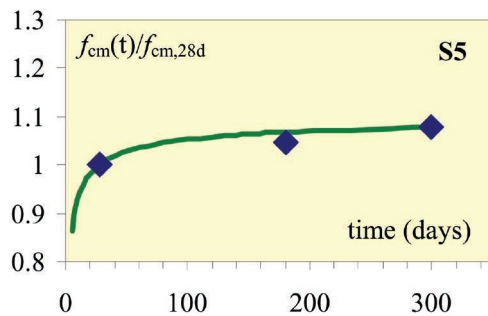
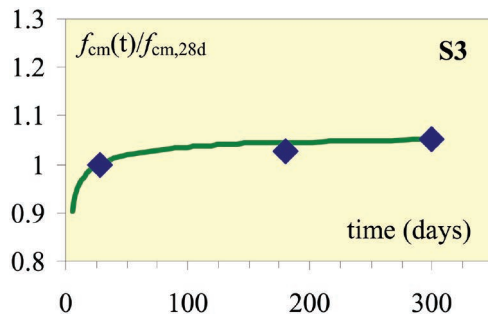


Fig. 5. Development of compressive strength in time; mixes with silica based SCM
5. ábra Keverékek nyomószilárdságának időbeli fejlődése szilikát bázisú kiegészítőanyaggal

= 106.12 MPa/100.80 MPa = 1.05. It can be found for the mixes containing both silica based (S) and alumino-silicate based (A) supplementary cementing materials that the alumino-silicate SCM governs the overall behaviour: the more the amount of SCM, the less the increase in the compressive strength. The most pronounced later age strength development corresponds to the mixes with alumino-silicate/silica (A/S) ratio of 7/3 (m%/m%), with $f_{cm,300d}/f_{cm,28d} = 115.87 \text{ MPa}/89.64 \text{ MPa} = 1.29$ while the same for A/S = 25/8 is $f_{cm,300d}/f_{cm,28d} = 98.77 \text{ MPa}/84.73 \text{ MPa} = 1.17$. For comparison, the later age strength development for the reference mix is $f_{cm,300d}/f_{cm,28d} = 92.45 \text{ MPa}/81.71 \text{ MPa} = 1.13$.

Time development of $f_{cm}(t)/f_{cm,28d}$ ratios are indicated in Fig. 4 to Fig. 7 and values of $f_{cm,300d}/f_{cm,28d}$ ratios are indicated in Fig. 8 for the concrete mixes studied in the present research.

6. Discussion

The compressive strength of concrete at an age t depends on the type and strength class of the cement, the type and amount of admixtures and additions, the water/cement ratio and environmental conditions, such as temperature and humidity [17]. For a mean temperature of 20°C and curing in accordance with ISO 1920-3 the relevant compressive strength of concrete at various ages $f_{cm}(t)$ may be estimated from Eq. (1) and (2):

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm,28d} \quad (1)$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{0.5} \right] \right\} \quad (2)$$

where:

$f_{cm}(t)$ is the mean compressive strength in MPa at an age t in days;

$f_{cm,28d}$ is the mean compressive strength in MPa at an age of 28 days;

$\beta_{cc}(t)$ is a function to describe the strength development with time;

t is the concrete age in days (taking into account the temperature during curing);

s is a coefficient which depends on the strength class of cement.

Eq. (1) was developed based on results obtained from experiments on structural concrete primarily made with CEM I and CEM III cements [17]. If other cement types are used or if high amounts of pozzolans are used as partial replacement of CEM I, then the development of the compressive strength with time should be determined experimentally. Concretes with a high content of fly ash, natural pozzolans or fine granulated blast furnace slag show a reduced compressive strength at early age and a considerable further strength gain at higher ages [17]. This effect may be more pronounced than considered in Eq. (1) for a low strength, normal hardening cement. Generally, the value for the coefficient s is suggested to be $s = 0.38$ for CEM 32.5 N; $s = 0.25$ for CEM 32.5 R, CEM 42.5 N; $s = 0.20$ for CEM 42.5 R, CEM 52.5 N, CEM 52.5 R (in accordance with the nomenclature of EN 197-1 European Standard).

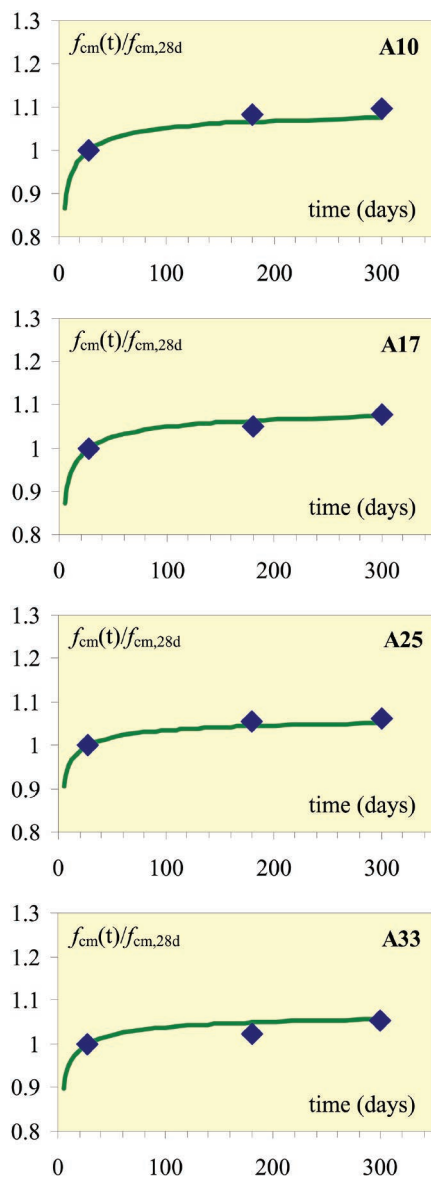


Fig. 6. Development of compressive strength in time; mixes with alumino-silicate based SCM

6. ábra Keverékek nyomószilárdságának időbeli fejlődése alumino-szilikát bázisú kiegészítőanyaggal

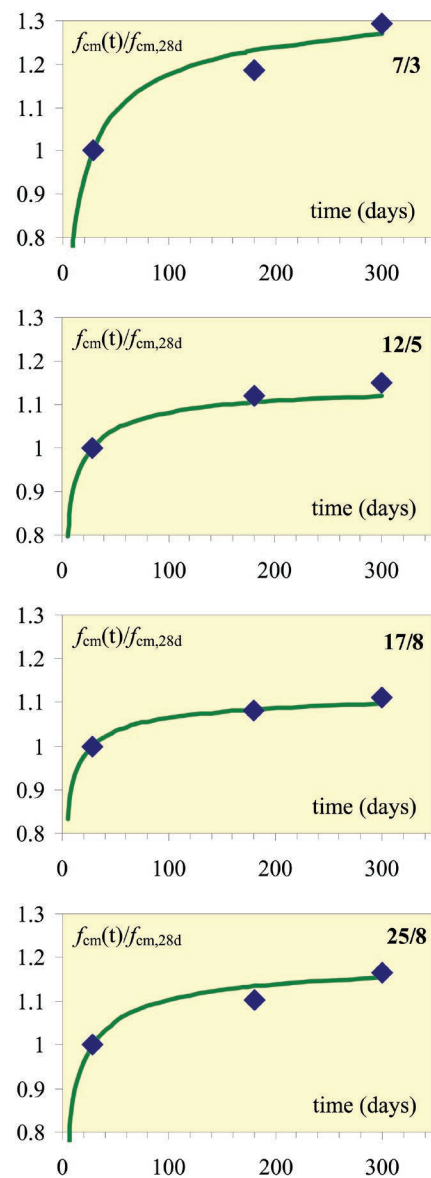


Fig. 7. Development of compressive strength in time; mixes with combined use of SCMs

7. ábra Keverékek nyomószilárdságának időbeli fejlődése a kiegészítőanyagok kombinálása esetén

The value of coefficient s was determined for the concrete mixes studied in the present research (see Fig. 9). It can be realized that the value of coefficient s for the cement used in this study ($s = 0.18$) is very close to the value suggested by [17] for CEM 42.5 R ($s = 0.20$), therefore the comparative analysis of coefficient s is reasonable.

It can be realized at the independent use of the silica based SCM that it does not develop full potential by the age of 28 days since the compressive strength of the specimens is almost the same at the age of 28 days, independently of the amount of silica based SCM applied (Fig. 1). It can be seen that the later age strength development needs the availability of calcium-hydroxide for the further reactions. Fig. 10 summarizes the pH values (in percents as well) of the specimens at the age of 300 days. One can see that the pH of mix S15 specimens is the lowest that indicates high amount of fixed calcium-hydroxide during the hydration process.

The alumino-silicate based SCM was applied at large doses during this research. It seems that the effectiveness of the alumino-silicate based SCM is decreasing by increasing its amount throughout the studied range. The more the amount of the alumino-silicate based SCM, the more the fixed calcium-hydroxide during the hydration process, however, loss in gain of strength is realized (see Figs. 1 to 3 and Fig. 10). It is also observable that the more the amount of the alumino-silicate based SCM, the less the later age strength development (see decreasing tendency of coefficient s in Fig. 9).

Combined use of the two SCMs is resulted in a complex, rather contradictory behaviour. It can be observed in Fig. 10 that the fixed calcium-hydroxide content is generally less in the cases of mixed use of the two SCMs than that would be expected from the individual use of them, especially when the total amount of the SCM is 10% or 17% (mixes 7/3 and 12/5). In these two cases the later age strength development

is unexpectedly large (see values of coefficient s in Fig. 9). At doses of 25% or 33% total SCM (mixes 17/8 and 25/8) the fixed calcium-hydroxide content is observed at an expected level. It can be seen that mixed use of the two SCMs is resulted in more drop in pH than that was resulted by the individual application of the alumino-silicate based SCM in the same amount. It seems, however, that the influence of the alumino-silicate based SCM dominates over the influence of the silica based SCM (see Figs. 1 to 3). No clear tendency is seen in the coefficient s (Fig. 9). Further studies are needed to explain the observed behaviour.

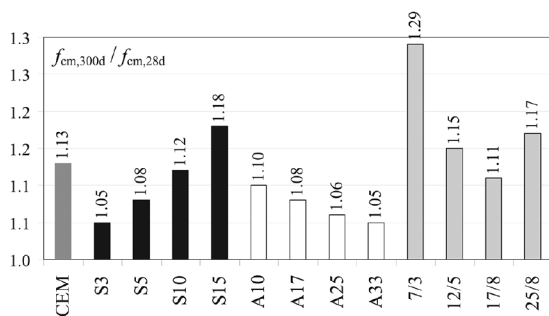


Fig. 8. Values of $f_{cm,300d} / f_{cm,28d}$ for the studied concrete mixes
8. ábra Az $f_{cm,300d} / f_{cm,28d}$ arány értékei a vizsgált beton összetételekre

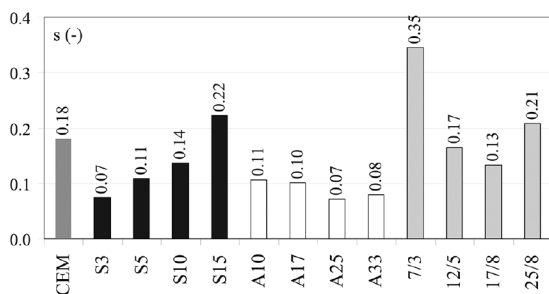


Fig. 9. Values of coefficient s for the studied concrete mixes
9. ábra Az s parameter értékei a vizsgált beton összetételekre

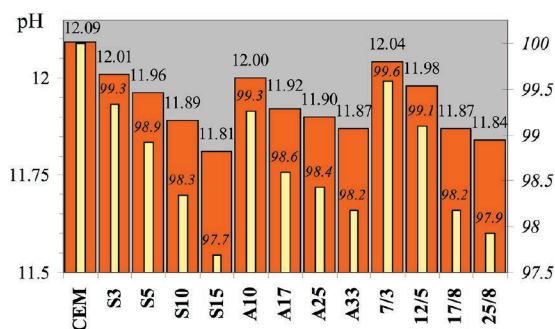


Fig. 10. pH-values of studied concrete mixes at the age of 300 days (non carbonated)
10. ábra A vizsgált beton összetételek pH értéke 300 napos korban (nem karbonátosodott részek)

7. Conclusions

The present paper has summarized the experimental observations of compressive strength of concretes with large doses of supplementary cementing materials (SCM). During the research, both individual and mixed use of silica based and alumino-silicate based supplementary cementing materials were studied. Most important aim of the study was to reveal if

there is any advantage of the mixed use of two supplementary cementing materials. For the silica based SCM (that was silica fume slurry) the cement substitution ratio was 3 m%, 5 m%, 10 m% and 15 m%. For the alumino-silicate based SCM (of which main oxide content is: SiO_2 52.96%; Al_2O_3 41.74%; CaO 2.98%; Fe_2O_3 0.52%) the cement substitution ratio was 10 m%, 17 m%, 25 m% and 33 m%. For the mixed use of the SCMs the following cement substitution ratios were applied: alumino-silicate/silica (A/S) ratio of 7/3 (m%/m%), 12/5, 17/8 and 25/8 to reach a total cement substitution ratio of 10 m%, 17 m%, 25 m% and 33 m%, respectively.

The following conclusions can be drawn by the experimental observations:

- Mixes containing silica based SCM showed the largest increase in the compressive strength for 3 m% cement substitution ratio and the lowest increase in the compressive strength for 15 m% cement substitution ratio. On the contrary, at later ages due to the considerable additional development of the compressive strength, the largest increase in the compressive strength was found for 15 m% cement substitution ratio and the lowest increase in the compressive strength was found for 3 m% cement substitution ratio.
- Mixes containing alumino-silicate based SCM showed the largest increase in the compressive strength for 10 m% cement substitution ratio and the lowest increase in the compressive strength for 33 m% cement substitution ratio. This difference did not change at later ages.
- For mixes containing both silica based and alumino-silicate based supplementary cementing materials the alumino-silicate SCM governs the overall behaviour: the more the amount of SCM, the less the increase in the compressive strength.
- The results for the combined use of silica based and alumino-silicate based supplementary cementing materials revealed that the two SCMs could not necessarily contribute to a more effective performance in compressive strength, in the studied mixing ratios. Further research is needed in this field.

Acknowledgements

The financial support of the Hungarian Scientific Research Fund (OTKA) is highly appreciated (Project No. OTKA T 109223).

References

- [1] Pekár, G. (2013a): Simple basic model for concrete and its application. 1. Content indicators of concrete mixtures and mixing plant observations, *Építőanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 65. No. 2, pp. 52–60. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.12>
- [2] Pekár, G. (2013b): Simple basic model for concrete and its application. 2. Factors that influence compressive strength and drying shrinkage, *Építőanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 65. No. 3, pp. 76–84. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.15>
- [3] Pekár, G. (2013c): Simple basic model for concrete and its application. 3. Factors affecting consistency, material balance equations and mix design, *Építőanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 65. No. 4, pp. 118–126. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.22>

- [4] Nemes, R. – Török, B. (2014): Bond of steel reinforcement in different lightweight aggregate concretes, *Építőanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 66. No. 1, pp. 7-12. (in Hungarian) <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.2>
- [5] Nemes, R. (2015): Special topics in the freeze-thaw resistance of lightweight concretes, *Építőanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 67. No. 1, pp. 24-27. (in Hungarian) <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.5>
- [6] Frías, M. – Sánchez de Rojas, M. I. – Cabrera, J. (2000): The effect that the pozzolanic reaction of metakaolin has on the heat evolution in metakaolin-cement mortars, *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, No. 2, pp. 209-216. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00231-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00231-8)
- [7] Wong, H. S. – Razak, H. A. (2005): Efficiency of calcined kaolin and silica fume as cement replacement material for strength performance, *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No. 4, pp. 696-702. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.051>
- [8] Siddique, R. – Klaus, J. (2009): Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review, *Applied Clay Science*, Vol. 43, No. 3-4, pp. 392-400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2008.11.007>
- [9] Khan, M. I. – Siddique, R. (2011): Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 57, pp. 30-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.016>
- [10] Siddique, R. (2011): Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 55, pp. 923-932. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.012>
- [11] Hassan, A. A. A. – Lachemi, M. – Hossain, K. M. A. (2012): Effect of metakaolin and silica fume on the durability of self-consolidating concrete, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 34, No. 6, pp. 801-807. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.02.013>
- [12] Valipour M. – Pargar F. – Shekarchi M. – Khani S. (2013): Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study, *Construction and Building Materials*, Vol. 41, pp. 879-888. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.054>
- [13] Duan, P. – Shui, Z. – Chen, W. – Shen, C. (2013): Effects of metakaolin, silica fume and slag on pore structure, interfacial transition zone and compressive strength of concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 44, pp. 1-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.075>
- [14] Rashad, A. M. (2013): Metakaolin as cementitious material: History, scours, production and composition – A comprehensive overview, *Construction and Building Materials*, Vol. 41, pp. 303-318. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.001>
- [15] Nehme, S. G. (2015a): Influence of supplementary cementing materials on conventional and self compacting concretes – Part. 1. Literature review, *Építőanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 67. No. 1, pp. 28-33. (in Hungarian) <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.6>
- [16] Nehme, S. G. (2015b): Influence of supplementary cementing materials on conventional and self compacting concretes – Part. 2. Laboratory tests, *Építőanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 67. No. 2, pp. 71-78. (in Hungarian) <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.12>
- [17] fib (2013) Model Code for Concrete Structures 2010, *fédération internationale du béton - International Federation for Structural Concrete (fib)*, Ernst & Sohn, 402 p.

Ref.:

Borosnyói, Adorján: *Development of compressive strength of HPC with the use of supplementary cementing material (SCM) combination*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 3 (2015), 110–115. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.18>

Nagy teljesítőképességű betonok nyomószilárdsága cement kiegészítő anyagok kombinált alkalmazása esetén

A cikk azt vizsgálja, hogy nagy mennyiségben adagolt szilika-bázisú, illetve aluminoszilikát-bázisú cement kiegészítő anyagok hogyan befolyásolják a nagy teljesítőképességű betonok nyomószilárdságát, és a nyomószilárdság időbeli fejlődését. A kutatás a cement kiegészítő anyagokat önállóan is, és egymással kombináltan is vizsgálja. Az eredmények rávilágítanak a cement kiegészítő anyagok hatékonyan alkalmazható mennyiségére és az általuk elérhető teljesítőképesség-növekedés időbeli alakulására. Az eredmények szerint a cement kiegészítő anyagok nem minden kombinációja vezet kedvezőbb eredményre, mint a cement kiegészítő anyagok önálló alkalmazása.

Kulcsszavak: cement kiegészítő anyagok, beton, nyomószilárdság

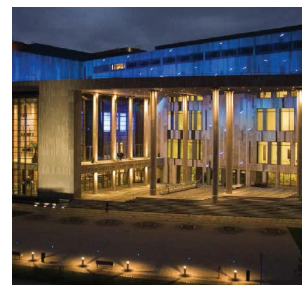
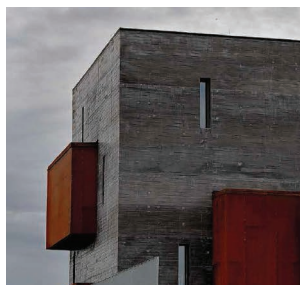
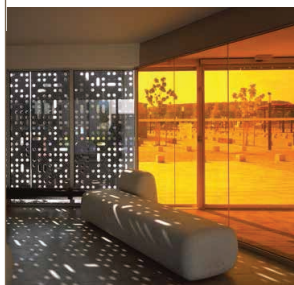
beton
érték generációknak

2015. 09. 30.
Bakelit Multi Art
Center
1095 Budapest,
Soroksári út 164.

BETON FESZTIVÁL 2015

A beton.hu, a Magyar Cement-, Beton- és Mészipari Szövetség (CeMBeton) valamint a Magyar Betonelemgyártó Szövetség (MABESZ) és tagvállalatainak támogatásával 2015. szeptember 30-án a budapesti Bakelit Multi Art Centerben hagyományteremtő céllal Beton Fesztivált rendez. A fesztivál célja, hogy nemcsak elméletben, de workshopokon keresztül a gyakorlatban való hasznosítást bemutatta ismeresse meg a beton alapanyagot a szakmabeliekkel és mindazokkal, akik érdeklődnek az építészet vagy a beton dizájn iránt.

www.beton.hu/betonfesztival



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 and epitoanyag@szte.org.hu or by post: Scientific Society of the Silicate Industry, Budapest, Bécsi út 122–124., H-1034, HUNGARY

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

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>



<http://all-cement.ru/en>

Aiming at progress, success and well-being is a driving force of mankind. The cement industry is one of the most constructive and dynamically developing fields all over the world. The work of "Alliance-Cement" LLC is based on the following principals:

- attentive and friendly relation to people;
- creating of favourable conditions for open communication based on respect and trust;
- giving up-to-date and reliable information;
- promotion of the process of interindustry integration and distribution of latest technologies;
- establishing and developing of long-term relationship with regular customers and partners based on mutually beneficial cooperation.

The main activity direction of "Alliance-Cement" LLC is organizing and holding of scientific-technical seminars and conferences for the cement industry and editing of the journal "World of Cement" resulted on the events.

The aim of our events: providing scientific, analytical and technical information to be put in practice by the specialists.

Partners:



"Cement" LLC



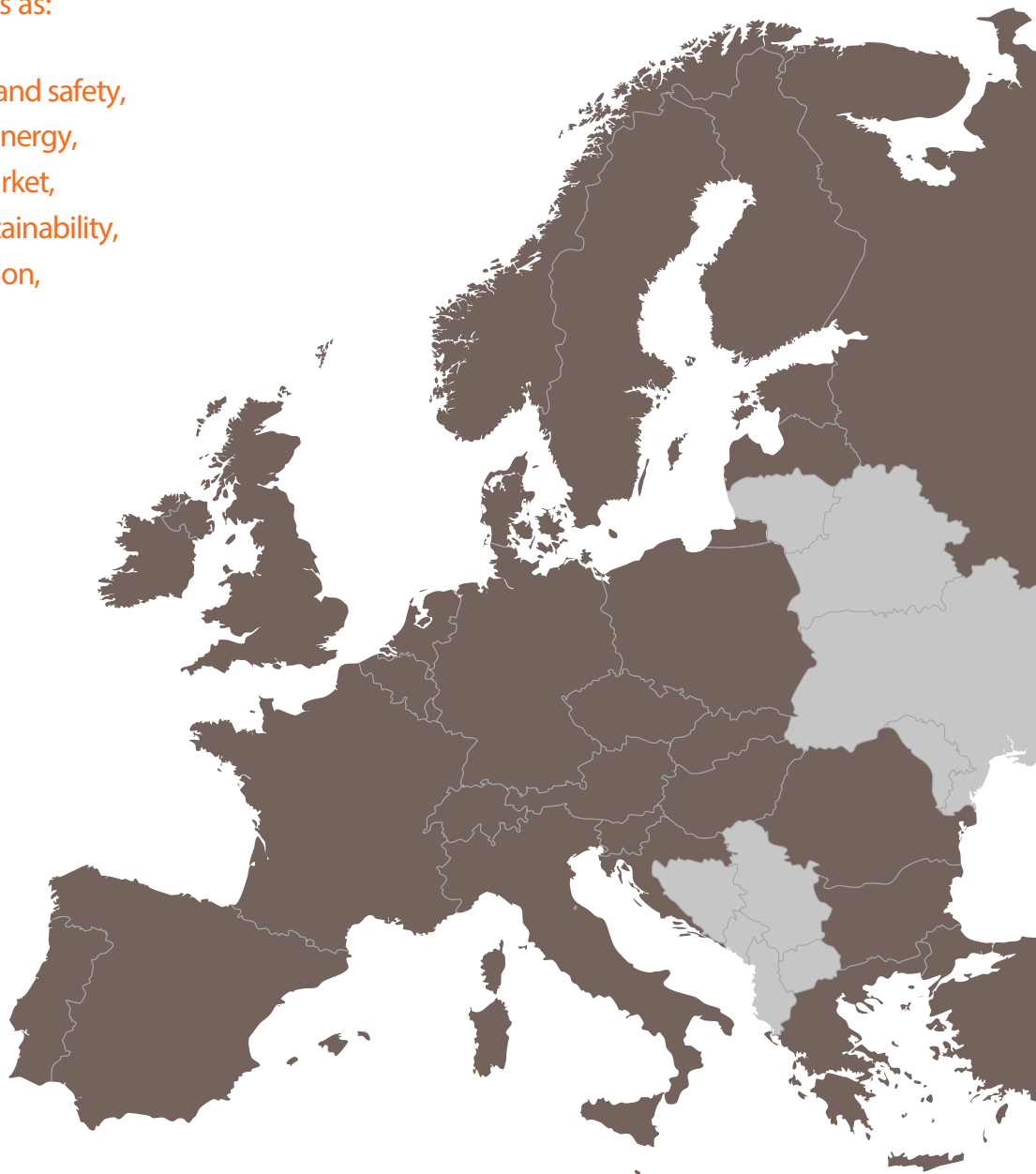
"Industry Service" CJSC



Mission

Cerame-Unie is the voice of the European ceramic industry. It creates and maintains a constructive dialogue with the EU institutions, international partners and the social and environmental stakeholders by providing expertise in such important fields as:

- environment, health and safety,
- climate change and energy,
- trade and internal market,
- construction and sustainability,
- research and innovation,
- raw materials,
- standardisation.



■ Countries with Cerame-Unie Members



www.cerameunie.eu

 Follow us on Twitter @CerameUnie