

építőanyag

A Szilikátipari Tudományos Egyesület lapja

Journal of Silicate Based and Composite Materials

A TARTALOMBÓL:

- Characterization of alkali activated geopolymers mortar doped with MWCNT
- Value analysis of waterproof membranes
- Effect of saturation degree of recycled aggregates on concrete properties
- Laboratory experiments of point fixed glasses
- Opportunities in recycling AAC waste as aggregate for lightweight concrete
- Influence of supplementary cementing materials on conventional and self compacting concretes Part. 2. Laboratory tests



2015/2



ic-rmm2

2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON RHEOLOGY AND MODELING OF MATERIALS

in Miskolc-Lillafüred, Hungary, 5-10 October, 2015.

Welcome to ic-rmm2

We are pleased to announce the organization of the
2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON RHEOLOGY AND
MODELING OF MATERIALS to be held near city **Miskolc**
in mountain **Bükk** in one of the most beautiful places of
Hungary in **Hunguest Hotel Palota Lillafüred, October**
5-10. 2015.

The idea to organize in Hungary the **2nd International Conference on Rheology and Modeling of Materials** we have received from prospective scientists, physicists, chemists, mathematicians and engineers from **Asia, Europe, North and South America** including China, India, Japan, Korea, Russia, Turkey, Estonia, France, Italy, United Kingdom, Chile, Mexico, USA. As organizers we hope that you will attend on **ic-rmm2** and we are looking forward to welcome you on this international conference in Miskolc-Lillafüred, Hungary. Event **ic-rmm2** is sponsored by several universities, scientific journals, societies and organizations around the World.

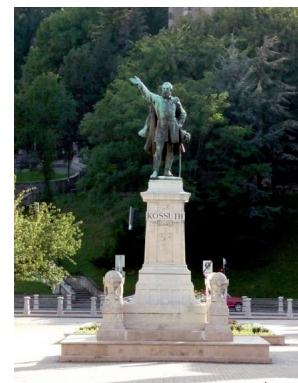
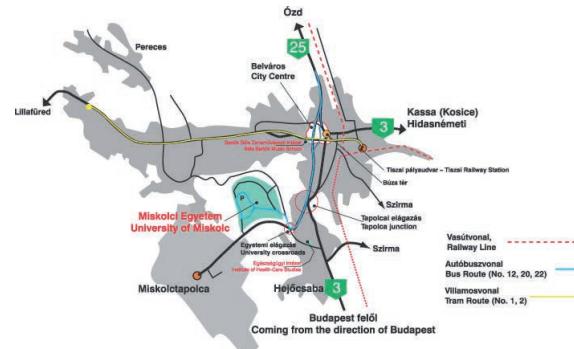


The objectives

The aims of the 2nd International Conference on Rheology and Modeling of Materials are the fostering of interdisciplinary collaboration and interaction among scientists, researchers, PhD students as well as product and technology developer engineers. The international conference **ic-rmm2** provides a platform among leading international scientists, physicists, chemists, mathematicians, researchers, PhD students and engineers for discussing recent achievements in measurement, modeling and application of rheology in materials technology and materials science of liquids, melts, solids, powders, crystals and amorphous structures.

Among the major fields of interest are the influences of temperature, mechanical stresses, deformation speeds and times on rheological properties, material structures and phase transformation of foams, emulsions, suspensions, liquids, powders, crystals, foods, cosmetics, polymers, plastics, petrochemicals, melted metals, glass and competitive materials like nanomaterials, pharmaceuticals, medical- and biomaterials, ceramics, films and coatings, advanced metal alloys, composites, hetero-modulus, hetero-plastic and hetero-viscous complex material systems, hybrid materials, ... etc.

Multidisciplinary applications of rheology as well as mechanical and rheological modeling in material science and technology encountered in sectors like food, bio- and medical materials, ceramics, glass, thin films, polymers, clays, construction materials, energy, aerospace, automotive and marine industry. Rheology in physics, chemistry, medicine, biosciences, cosmetics, environmental and earth sciences and in engineering and industries are of particular interests.



TARTALOM

- 38** MWCNT adalékos alkáli aktivált geopolimer habarcsok tulajdonságai

Hisham M. M. KHATER ■ Hamdy A. Abdel GAWWAD

- 48** Mélyépítési szigetelések értékelése

ANDRISKA Fanni ■ HEINCZ Dániel ■ KOVÁCS Károly ■ DOBSZAY Gergely ■ NEMES Rita

- 58** Újrahasznosított adalékanyagok telítettségi fokának hatása a betontulajdonságokra

Abdulkader El MIR ■ BALCZÓ Gáspár ■ Salem Georges NEHME

- 62** Pontmegfogású üvegek laboratóriumi vizsgálata

RÉNES Máté ■ JAKAB András ■ NEHME Kinga ■ Salem Georges NEHME

- 66** Újrahasznosított pórusbeton alkalmazási lehetőségei könnyűbeton adalékanyagaként

FENYVESI Olivér ■ JANKUS Bence

- 71** Kiegészítőanyagok hatása a szokványos és az öntömörödő betonokra

2. rész. Laboratóriumi vizsgálatok

Salem G. NEHME

CONTENT

- 38** Characterization of alkali activated geopolymers mortar doped with MWCNT

Hisham M. M. KHATER ■ Hamdy A. Abdel GAWWAD

- 48** Value analysis of waterproof membranes

Fanni ANDRISKA ■ Dániel HEINCZ ■ Károly KOVÁCS ■ Gergely DOBSZAY ■ Rita NEMES

- 58** Effect of saturation degree of recycled aggregates on concrete properties

Abdulkader El MIR ■ Gáspár BALCZÓ ■ Salem Georges NEHME

- 62** Laboratory experiments of point fixed glasses

Máté RÉNES ■ András JAKAB ■ Kinga NEHME ■ Salem Georges NEHME

- 66** Opportunities in recycling AAC waste as aggregate for lightweight concrete

Olivér FENYVESI ■ Bence JANKUS

- 71** Influence of supplementary cementing materials on conventional and self compacting concretes

Part. 2. Laboratory tests

Salem G. NEHME

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 - főszervésztő/editor-in-chief

WOJNÁROVITSNÉ Dr. HRAPKA Ilona - örökös

tiszteletbeli felelős szerkesztő/senior editor-in-chief

TÓTH-ASZTALOS Réka - tervezőszervésztő/design editor

TAGOK - MEMBERS

Prof. Dr. Parvin ALIZADEH, BOCSKAY Balázs,

Prof. Dr. CSŐKE Barnabás, Prof. Dr. Katherine T. FABER,

Prof. Dr. Saverio FIORE, Prof. Dr. David HUI,

Prof. Dr. GÁLÓS Miklós, Dr. Viktor GRIBNIKI,

Prof. Dr. Kozo ISHIZAKI, Dr. JÓZSA Zsuzsanna,

KÁRPÁTI László, Dr. KOCSERHA István,

Dr. KOVÁCS Kristóf, Prof. Dr. Sergey N. KULKOV,

MATTYASOVSZKY 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

A folyóiratot referálja · The journal is referred by:

Cambridge Scientific Abstracts

ProQuest



A folyóiratban lektorált cikkek jelennek meg.

All published papers are peer-reviewed.

Kiadó - Publisher: Szilkitápi 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

Tördelő szerkesztő - 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

TANÁCSADÓ TESTÜLET - ADVISORY BOARD

FINTA Ferenc, KISS Róbert, Dr. MÍZSER János

Online ISSN: 2064-4477 ■ Print ISSN: 0013-970x

INDEX: 2 52 50 ■ 67 (2015) 37-80

Az SZTE TÁMOGATÓ TAGVÁLLALATAI

SUPPORTING COMPANIES OF SZTE

3B Hungária Kft. ■ Air Liquide Kft. ■ Anzo Kft.

Baranya Tégla Kft. ■ Berényi Téglaipari Kft.

Budai Tégla Zrt. ■ Budapest Kerámia Kft.

Corlux Kft. ■ Colas-Északkó Kft. ■ Electro-Coord Kft.

Fátyolüveg Kft. ■ G&B Elastomer Kft. ■ GE Hungary Zrt.

Geoteam Kft. ■ Guardian Orosz Kft. ■ Hunext Kft.

Interkerám Kft. ■ KK Kavics Beton Kft. ■ KÖKA 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 OI Manufacturing Magyarország Kft.

OMYA Kft. ■ Pápateszéri Tégla Kft. ■ Perlit-92 Kft. ■ Q&L Kft.

RATH Hungária Kft. ■ Rockwool Hungary Kft.

Speciál Bau Kft. ■ Szemza Makó Kft. ■ SZIKKTI Labor Kft.

WITEG Köporc Kft. ■ Zalakerámia Zrt.

Characterization of alkali activated geopolymers mortar doped with MWCNT

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

▪ hkhater4@yahoo.com

HAMDY A. ABDEL GAWWAD ▪ Housing and Building National Research Centre (HBNRC)

▪ hamdyabdelgawwad@yahoo.com

Érkezett: 2015. 03. 28. ▪ Received: 28. 03. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.7>

Abstract

This paper aimed to investigate the effect of multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) on properties of slag geopolymers mortar. Geopolymers matrices containing different MWCNTs concentrations (0.0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 % by weight of the used binder) were synthesized. The geopolymers mortar composed of aluminosilicate slag to sand (1:2), while the aluminosilicate source binder composed of 50% air cooled slag and 50% water cooled slag both passing a sieve of 90 µm, while the sand passing a sieve of 1 mm. The materials prepared at water/binder ratios in a range of 0.34–0.39 depending on the added MWCNT, whereas the Glenium Ace-30 superplasticizer used in the ratio of 1.4–2.2% from the total dry weight for better dispersion of MWCNT under sonication for 15 min. Alkaline activation of the geopolymers mortar was carried by using of 6% NaOH. Curing was performed under temperature of 40°C and 100% relative humidity. Results showed that the addition of MWCNTs enhanced the resulting amorphous geopolymers structure with marked decrease in the drying shrinkage as well as water absorption specially when using 0.1% MWCNT, while further increase in MWCNTs results in agglomeration in MWCNT within the matrix and so hinder the propagation of geopolymers reaction and negatively affect the formed geopolymers structure.

Keywords: MWCNT, geopolymers, mortar, water cooled slag, air cooled slag.

1. Introduction

Nanoparticles have proven to be an effective reinforcement in a variety of cement composites [1–3]. When fine aggregate particles are dispersed in the cement paste, they generate large number of nucleation sites causing the paste more homogeneous and dense as for the distribution of the fine pores. In addition, the physical effect of the fine grains allows denser packing within the cement and reduces the wall effect in the transition zone between the paste and aggregate. This weaker zone is strengthened due to the higher bond developed between these two phases, improving the microstructure and properties. Therefore, the addition of nanoparticles to cement composite increases its mechanical strength and durability when compared to the blank paste.

Recently, carbon nanotubes (CNT) have shown a high potential to improve the properties of materials. Since discovery of CNT by Iijima in 1991 [4], it has been widely used for a variety of applications due to their excellent physical properties: high strength, and Young's modulus of individual CNT is about 1.8 TPa [5]. CNT exhibits great mechanical properties along with extremely high aspect ratios (length-to-diameter ratio) ranging from 30 to more than many thousands. They are expected to produce significantly stronger and tougher cement composites than traditional reinforcing materials (e.g. glass fibers or carbon fibers). In fact, because of their size (ranging from 1 nm to 10 nm) and aspect ratios, CNT can be distributed in a much finer scale, resulting more efficient crack bridging at the very preliminary stage of crack propagation within cement composites. However, properties and dimensions of

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 (HBRC).

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 Transform-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.

Hamdy A. Abdel GAWWAD

Researcher in Raw Building Materials Technology and Processing Research Institute, Housing and Building National Research Center (HBRC). Research interest: alkali activated geopolymers, carbon nano-tubes, supplementary cementing materials.

CNT strongly depend on the deposition parameters and the nature of the synthesis method, i.e., arc-discharge [6], laser ablation [7], or chemical vapor deposition (CVD) [8]. In view of a commercial application, the arc-discharge technique is the only one that can offer a path towards low-cost and large scale production [9, 10].

In fact, CNT obtained with a complete graphitization process achieved by heat-treatment at high temperature [11], either in vacuum or inert environment, show outstanding mechanical properties [12]. When fine aggregate particles are dispersed in the cement paste, they generate large number of nucleation sites causing the paste more homogeneous and dense as for the distribution of the fine pores. In addition, the physical effect of the fine grains allows denser packing within the cement and reduces the wall effect in the transition zone between the paste and aggregate. This weaker zone is strengthened due to the higher bond developed between these two phases, improving the microstructure and properties. Therefore, the addition of nanoparticles to cement composite increases its mechanical strength and durability when compared to the neat paste.

Geopolymer-based composites are a novel class of low-embodied carbon binders formed by a combination of low-calcium fly ash (FA) and alkaline solution. The curing process of geopolymers known as polymerization where the aluminosilicate oxides react with the alkali polysilicates to form a 3-dimensional polymeric Si–O–Al amorphous microstructure [13, 14]. Geopolymers are currently being considered as a replacement to ordinary Portland cement (OPC) and has received considerable attention for their cost efficiency, chemical stability, corrosion resistance, rapid strength gain rate,

low shrinkage and freeze-thaw resistance [15,16]. However, due to their cross-linked structure, geopolymers tend to be more brittle than OPC and therefore, they are unsuitable for structural applications when safety-based structural design is considered. Geopolymers were found to be more brittle than the OPC, and their fracture energy was about 40% of that of OPC [17]. Thus, improvement in fracture properties of geopolymers is deemed necessary. Previous research investigated the mechanical properties of geopolymer reinforced with different macro-fibers such as steel, polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC) and basalt fibers [18].

The addition of these fibers increased the flexural strength, fracture energy and controlled the crack propagation [18]. Carbon nanotubes are being considered as a potential reinforcement in composites because they have mechanical, electrical, chemical and thermal properties superior to traditional fibers [19]. Nanoscale reinforcement of OPC with CNTs has been the focus of intense study recently. *Chen et al.* [20] provided complete literature review of CNT-cement nanocomposites. Their review focused on the effect of CNTs on the properties of OPC including fabrication, hydration, mechanical properties, porosity and transport, conductivity and piezoresistivity. It was found that the dispersion of CNTs in cement remains one of the main challenges in improving the fabrication of CNT-OPC mixtures. Adequate dispersion of CNTs in cement is challenging since van der Waals forces are responsible for their bundling and agglomeration even at very low concentrations, thereby limiting their potential benefits [20–22].

The enhancement of mechanical and electrical properties depends on how well the CNTs are dispersed within the cement matrix. The literature review highlighted many inconsistent results on the effect of CNTs on the mechanical properties of OPC. However, it is well established that the current mechanical properties of CNT-OPC are not satisfactory for structural applications indicating further research is needed to find ways to uniformly disperse CNTs in cement [20]. In terms of durability, previous studies on the effect of CNTs on the pore structure of CNT-OPC composites suggested that CNTs can act as nucleating sites for the cement hydration and as a result, the overall porosity and pore continuity are reduced [20]. The addition of CNTs improves the multifunctional properties of OPC. Well dispersed CNTs increase the conductivity and piezoresistivity sensitivity of CNT-OPC composites. This is attributed to the formation of conductive network in the cement matrix. In this case, the CNT-OPC exhibits an enhanced ability to sense its own damage based on the change in the electrical change upon loading [20]. A few studies have focused on the fabrication of CNT-OPC composites in relation to dispersion of CNTs and workability of mixtures. *Collins et al.* [23] conducted a comprehensive study aimed at investigating the effect of different types of dispersion agents on the dispersion of CNTs and workability of CNT-OPC composites. Polycarboxylate-based superplasticizer and lignosulfonate dispersant agents provided adequate dispersion of CNTs (up to 0.5 m% CNTs) whereas styrene butadiene rubber and calcium naphthalene sulfonate dispersant agents promoted the agglomeration of CNTs. The addition of CNTs

reduced the consistency and strength of CNT-OPC mixtures. This reduction was significant for mixtures with CNT contents of 1 and 2 m%. This is consistent with the results from previous studies [24,25] where in order to achieve adequate dispersion of CNTs within the cement paste, a maximum content of 0.1 m% was recommended [24].

The mechanical and electrical properties of FA-based geopolymers containing carbon nanotubes have not been reported apart from similar potassium-based aluminosilicate (clay) geopolymer reinforced with single walled carbon nanotubes (SWCNTs) [26]. Their investigation showed that the conductivity increased with increasing SWNCT content, whereas the tensile strength results were inconsistent. The tensile strength slightly decreased at 0.2 m% SWCNTs and increased at 0.25 m% SWCNTs, and then sharply decreased at 0.35 m% SWCNTs. Although it has not previously been investigated, the alkaline solution used to process geopolymers has the potential to enhance the interaction of MWCNTs with the geopolymeric matrix by two positive effects, leading to improved mechanical and electrical properties. The first one is the effect of sodium hydroxide (NaOH) on the dispersion of MWCNTs within the geopolymeric matrix. Previous studies have shown that NaOH acts as a surfactant and removes the oxidation debris from the surface of CNTs and consequently allowing them to de-bundle and form well-dispersed nanotubes within the matrix [27]. The other is the effect of NaOH on the electrical conductivity of the geopolymer. The pores solution of NaOH in the form of electrolytes allow the electrons to easily move within the matrix, resulting in an improved conductivity which could be enhanced further by integrating CNTs into the matrix to develop self-sensing structural materials. With an electrical conductivity between 0.05 and 0.1 S/m, fly ash-based geopolymers are considered as semiconductor materials [28].

The object of this study is to examine the mechanical, mineralogical, geopolymer functionality using FTIR, water absorption and drying shrinkage of the resulted geopolymeric nanocomposites mortars reinforced with various ratios of MWCNTs as new multifunctional structural materials, also, the dispersion quality of MWCNT was evaluated and the improvement in mechanical properties of geopolymer nanocomposites was quantified.

2. Experimental procedures

2.1. Materials

The materials, which were used in this investigation, are ground granulated water cooled blast furnace slag (WCS), air cooled slag sourced from Iron and Steel Factory- Helwan, Egypt. The used sand dunes for mortar preparation sourced from fine sand (<1 mm) from Oases (Wahat)-Road, Egypt. The chemical compositions of the starting raw materials are given in *Table 1*. Sodium hydroxide was used as alkali activators. Sodium hydroxide (NaOH) produced by Fisher scientific company with 99% purity. The mineralogical composition represented in *Fig. 1*; where ground granulated blast furnace slag materials composed of amorphous materials and air cooled slag composed of crystalline minerals of quartz and gehlenite.

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
Air cooled Slag (ACS)	38.11	9.31	4.06	35.23	2.22	2.00	0.66	0.45	0.45	3.29	0.09	0.07	0.14	3.75	0.13	99.94
Water cooled Slag (WCS)	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
Fine Sand (Sand dunes)	89.91	2.00	1.45	1.56	1.91	0.87	0.37	0.06	0.03	0.04	0.03	0.12	-	-	1.65	99.98

Table 1. Chemical composition of starting materials (m%)

1. táblázat A kiindulási anyagok kémiai összetétele (m%)

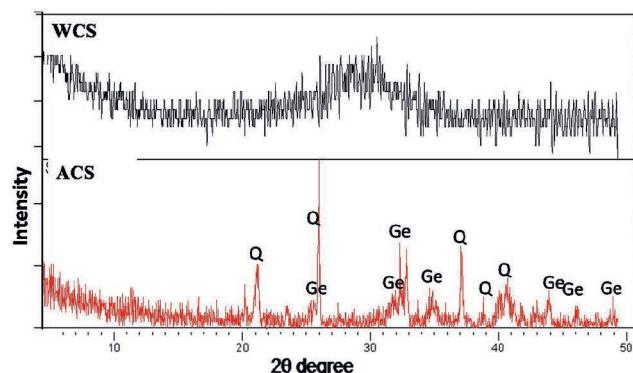


Fig. 1. Mineralogical composition of starting raw materials

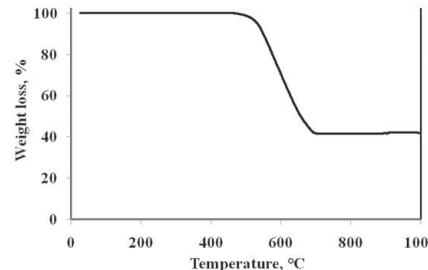
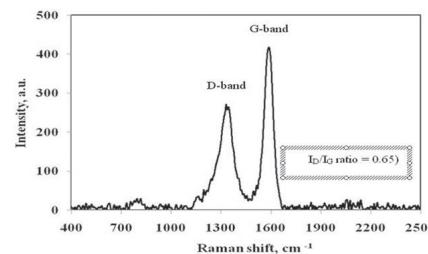
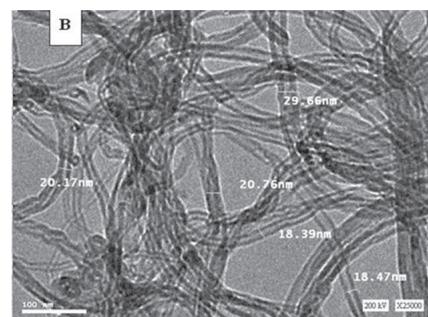
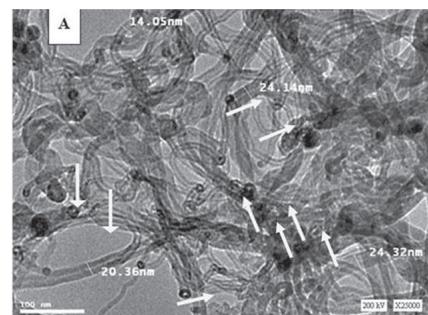
[Q: Quartz (SiO_4)₄, Ge: Gehlenite (Ca_2ASH_6)]

1. ábra A kiindulási alapanyagok ásványi összetétele

[Q: Kvarc (SiO_4), Ge: Gelenit (Ca_2ASH_6)]

Carbon nanotubes which used for enhancing of geopolymeric mortar are of multiwall type consisting of many nested cylinders whose successive radii differ by roughly the interlayer spacing of graphite. The morphologies and microstructures of the as-synthesized carbon nanomaterials were characterized by transmission microscope (TEM), as shown in Fig. 2, which depicts the representative TEM image of as-synthesized carbon nanotubes deposited on 50% Co/MgO by acetylene gas decomposition at 700 °C reaction temperature and ~4h time-on-stream. These images show that the morphologies have tubular structures, i.e. they are multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and the boundaries between MWCNT tubes are clear. The diameters of the MWCNTs are mostly in the range of 14–24 nm. It is obvious in Fig. 2.a and 2.b the dark object in the pictures is related to the Co - metal particles of the catalyst.

Raman spectroscopy was employed to analyze the degree of graphitization of the produced CNTs as represented in Fig. 2.c; where the two major bands were observed, representing D- and G-bands. The D-band, observed at 1250–1350 cm⁻¹, is known as either the disorder induced due to the wall disorder or the presence of amorphous carbon deposited on the outer surface of nanotubes. The G-band (observed at 1550–1600 cm⁻¹) can be attributed to the degree of graphitization of CNTs. The ratio of ID/IG of the D and G-band can be regarded as an index for the crystalline order of CNTs; the high ID/IG value (> 1) indicates that there is high structural disorder in the carbon nanotubes obtained on the catalysts. However the lower ID/IG value (< 1) suggests the enhancement in graphitization of deposited carbon. The high intensity of the G-band (417 cm⁻¹) relative to D-band (270.7 cm⁻¹) (ID/IG ratio ≈ 0.65) suggests that the CNTs synthesized under the optimum conditions were highly graphitized [29].

Fig. 2. Characterization of synthesized multiwall carbon nanotube
a, b) TEM pictures of catalysts after growth of CNTs using 50% Co/MgO catalyst, with high magnification

c) Raman spectroscopy of CNTs over 50% Co/MgO catalyst

2. ábra A szintetizált többfájlú szén nanocső jellemzői
a, b) TEM felvételkép nagy nagytájban, az 50% Co/MgO katalizátor mellet növelt nanocsövekről

c) Raman spektroszkópia az 50% Co/MgO katalizátor mellet növelt nanocsövekről

d) Termogravimetria az 50% Co/MgO katalizátor mellet növelt nanocsövekről

Thermo-gravimetric analysis (TGA) is very important tool for clarifying the yield, stability and quality of the as-grown MWCNTs, as indicated in *Fig. 2.d* where the catalyst presented a single oxidation inflection, which indicates that the amorphous carbon is extremely low and high purity MWCNTs are produced, also, TGA data determine the onset, and offset (end) temperatures represent the temperature at the initial weight loss, (496 °C) and the final weight loss, (692 °C) respectively. The large difference between the onset and end temperature (192 °C) is attained on the catalyst. This can be attributed to the formation of large diameters of CNTs, which are proved by TEM photos (*Fig. 2.a* and *2.b*). Based on these results, the formation of ideal graphitized carbon nanomaterials and the highest carbon yield are gained on it. The properties of the produced MWCNT are summarized in *Table 2*.

Item	Property	Results
1	Outer diameter (nm)	20-30
2	Inner diameter (nm)	4
3	Purity wt. (%)	97
4	Length (mm)	1-5
5	Ash (%)	3
6	Amorphous (%)	0
7	Field (%)	800

Table 2. Properties of CNTs synthesized by using CVD apparatus
2. táblázat CVD készülékkel szintetizált nanocsövek tulajdonságai

2.2. Dispersion of MWCNTs

Since the strong Van der Waals forces cause the agglomeration of the nanoparticles, a key issue in fabricating high-quality nanotubes composite is to homogeneous the nano carbon materials in cementitious materials. Poor dispersion will lead to the formation of defects in the matrix and limit the nano-enhancement/modification effect [30]. A lot of research work has been done to improve the dispersion of Nano carbon materials (NCM) in the cementitious composites. Commonly, there are two types of methods used to disperse NCMs. Mechanical separation of the NCMs by adopting ultrasonic is one of the effective methods for CNT dispersion [31-33]. Recently, researchers have proposed some novel approaches to solve the dispersion issue of NCMs. The primary approach is to adopt commonly used water reducing admixtures (including plasticizers and superplasticizer) as surfactants. The research at the National Research Council Canada has shown that a small amount of CNTs can be dispersed by ultrasonication in the water containing 5% superplasticizer [34]. Shah et al. also achieved an effective dispersion of MWCNTs with different lengths and concentrations in cementitious materials by applying polycarboxylate-based superplasticizer [35].

In the current work, MWCNTs were first mixed with Glenium Ace 30-polycarboxylate-based superplasticizer and 50% of the added water. This Polycarboxylate-based superplasticizer has been proven to be effective for CNTs dispersion [36]. The solution was sonicated using a Fritish 450 Sonifier Analog Cell Distributor for 15 min [37]. Solutions with concentration of

0.1, 0.2, 0.3, and 0.4 m% of the total weight of the matrix were used to identify the MWCNT concentrations for the evaluation of the threshold ratio of MWCNT.

2.3. Geopolymerization and curing

The alkaline activator was composed of 6 m% NaOH, which prepared 24 hrs prior to casting. Geopolymer mortar reinforced with MWCNT concentrations: 0.0 (control), 0.1, 0.2, 0.3, and 0.4 m% of the total weight.

Accordingly, mixing was performed by hand-mixing of raw materials for each mixture passing a sieve of 90 µm as represented in *Table 2* according to the following sequence:

1. The previously prepared MWCNT particles sonicated for 15 min with 50 % of the added water and the specified quantity of the superplasticizer for better dispersion of nanotubes materials under a temperature of 40 °C.
2. The geopolymers materials passing a sieve of 90 µm as represented in *Table 2* were hand mixed with the alkaline activator solution which dissolved in the remaining water content for 10 minute followed by a further 5 minute using rotary mixer and mixed at medium speed (80 rpm) for another 30 s.
3. The MWCNT and superplasticizer were added and stirred with mixture at high speed for additional 30 s.
4. The mixture was allowed to rest for 90 s and then mixed for 1 min at high speed.

The paste mixture was cast into 25×25×25 mm cubic-shaped moulds, vibrated for compaction and sealed with a lid to minimize any loss of evaporable water. All mixes were left to cure undisturbed under ambient temperature for 24 hrs, demolded and then subjected to curing at 40 °C with 100% relative humidity [38]. 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 [39, 40] to prevent further hydration and for further analysis followed by drying of the crushed specimens for 24 hrs at 80 °C, then preserved in a well tight container until the time of testing.

Mix no.	Water cooled slag, %	Air cooled slag, %	Sand dunes, %	MWCNT addition from the added binder, %	W/B ratio, %	Superplasticizer of the total wt., %
R	16.7	16.7	66.6	0.0	0.34	1.4
1	16.7	16.7	66.6	0.1	0.34	1.6
2	16.7	16.7	66.6	0.2	0.34	1.8
3	16.7	16.7	66.6	0.3	0.39	2.0
4	16.7	16.7	66.6	0.4	0.39	2.2

Table 3. Composition of the geopolymer mixes (m%)
3. táblázat A geopolimer keverékek összetétele (m%)

2.4. Methods of investigation

Chemical analysis was carried out using Axios (PW4400) WD-XRF Sequential Spectrometer (Panalytical, Netherland). Compressive strength tests were carried out using five tones German Brüf pressing machine with a loading rate of 100 kg/min determined according to [41]. XRD analysis was recorded on a Philips PW 1050/70 Diffractometer using a Cu-K α source with a post sample K α filter. XRD patterns were collected from 0° to 50° 2θ (step size 0.02° 2θ and speed 0.4°/min). Silica was used as an internal standard. Data were identified according to the XRD software (pdf-2: database on CD-Release 2005). Removal of free water was accomplished by using alcohol/acetone method as recommended by different investigators [39–40]. Drying shrinkage test was carried out on dried at 110 °C for 24 hours to ensure total water loss. The test specimens were then measured (in terms of dimension) and their values were noted as dry lengths and calculated for each test specimen using the following formula [42, 43]:

$$\% \text{ Average Drying Shrinkage} = (OL - DL) / OL * 100$$

where: OL means original length; DL stands for dry length

Water absorption measurements of the bricks were carried out according to ASTM C140-01 [44]. The percentage absorption was calculated using the equation:

$$\text{Absorption (\%)} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100$$

where W_1 = weight of specimen after complete drying at 105 °C, W_2 = final weight of surface dry sample after immersion in water for at least 24 hours.

Bonding characteristics of the alkali activated specimens were analyzed using a Jasco-6100 Fourier transformed infrared spectrometer FTIR. Test sample was ground and uniformly mixed with KBr at a weight ratio KBr: specimen=200:1. The mixture, 0.2 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 [45, 46].

3. Results and discussion

XRD pattern of alkali-activated geopolymers mortar mixes without MWCNT at different hydration ages is shown in Fig. 3. The patterns illustrate a hump in the region of 17° to 35° 2θ characterizing glassy phase of the geopolymers constituents, this region considered as vital key in geopolymers characterization, where any increase in this hump will be reflected on the performance and efficiency of the resulting geopolymers gel as the amorphous constituents increase with this hump. It can be noticed an increase in the broadness and intensity of CSH band up to 90 days, as indicated from the increased broadness at 29.4° where the identification of C-S-H type phases is consistent with the observations presented in other studies [47].

The formation of C-(N)-S-H type gels has been observed at about 33° (2θ) in NaOH-activated slags [48] as an inner binding product formed around partially reacted slag particles, and in silicate-activated slags after longer times of curing [48]. The formation of this gel might be associated with the increased availability of Na⁺ in the pores of the young C-S-H type gel formed at early age immediately surrounding the unreacted slag particles. Formation of Ca-containing-S-H type gels has also been identified during the addition of NaOH to fresh

synthetic C-S-H type gels [49] and in blends of synthetic N-A-S-H and C-S-H type gels [50].

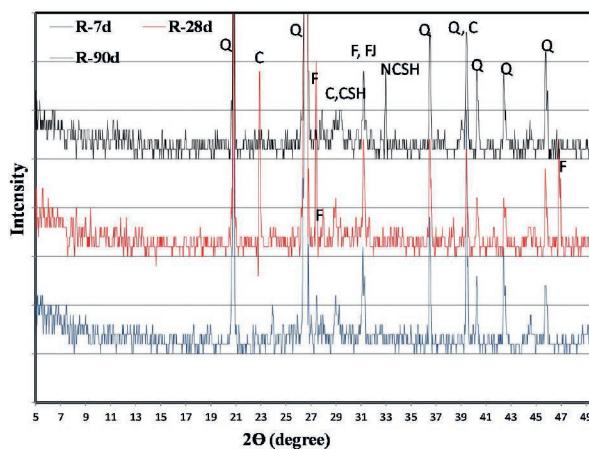


Fig. 3. XRD pattern of geopolymers mortar mix without MWCNT at different curing ages

[Q: Quartz, F: Feldspar, C: Calcite, CSH: Calcium-silicate-hydrate, NCSH: Sodium-calcium-silicate-hydrate, FJ: Faujasite of Zeolite $NAS_{2.4}H_{6.7}$]

3. ábra Geopolimer habarcos röntgendiffraktogramjai különböző korokban, szén nanocső adagolás nélkül

[Q: Kvarc, F: Földpárt, C: Kalcit, CSH: Kalcium-szilikát-hidrát, NCSH: Nátrium-kalcium-szilikát-hidrát, FJ: Faujasit – Zeolit módosulat $NAS_{2.4}H_{6.7}$]

However, the C-S-H structure formed in the presence of high concentrations of NaOH was less dense than the normal C-S-H structure resulting from hydration of Portland cement as reported Bakharev *et al.* [51]. It is also possible to form structures in which the sodium is incorporated into the structure of the hydrated silicate gel (N-C-S-H), as has been described by Malolepszy [52].

Crystalline Faujasite of zeolite was also observed at later ages of curing where the amorphous geopolymers transferred into crystalline one with little evidence of increased reactivity. It is likely that a significant proportion of the Na⁺ is consumed in the activation of slag mortar constituents to form a sodium aluminosilicate-type gel, reducing the availability of Na⁺ species in the pore solution [53] and therefore reducing the alkalinity from the high levels which would favor zeolite growth, even with the higher alkali dosage added to these samples, also the increased intensity of N-C-S-H results in the decrease in the available balancing cations for geopolymers structure and so favors the Faujasite formation. It can also be noticed a slight increase in calcite content with time which may be probably resulting from reactions involving atmospheric CO₂ [54].

On the other hand, XRD of 90 days nanocomposites with MWCNT concentrations of 0.1 and 0.4 m% (Fig. 4) displayed a good dispersion up to 0.1%, as the individual MWCNTs along with Polycarboxylate based superplasticizer are known to decrease the hydration speed in cementitious systems. The incorporated MWCNTs increase the hydration speed after addition to the same system, so the MWCNTs inhibit the retardation by the superplasticizer. This can also be explained by their ability to work as a nucleation-site in the system. The functionalized MWCNTs provide different reaction sites for the crystal growth. As known from literature hydration products grow on the surface of carbon nanotubes [55]. CSH-phases bind to the MWCNTs at the Carboxyl-sites by interaction

of the Ca^{2+} -ions of the pore solution. Therefore the carboxyl group-density on the surface of the MWCNTs can influence chain lengths of the grown CSH-phases. With this reaction the MWCNTs work as a kind of template during hydration. The increase in CSH-phases attributed to the effect of the NaOH alkaline solution during processing as discussed in [27].

The carboxylate based superplasticizer was ineffective in dispersing MWCNTs at 0.3 m% and more, where most of MWCNT were agglomerated in the alumino-silicate gel and hinder the propagation of the three dimensional network. This confirmed well by the increased Faujasite formation with the increased MWCNT, as the geopolymers network was terminated forming the crystalline Faujasite structure with lower reactive characteristics. A noticeable increase in carbonate with MWCNT addition beyond 0.1%, which related to the increased agglomeration of nanomaterials with increased MWCNT and so many points of defects are available for carbonation, however lower doses acts as a nucleating agents and accelerate geopolymers formation and accumulation which in turn reflects on decreasing the medium porosity.

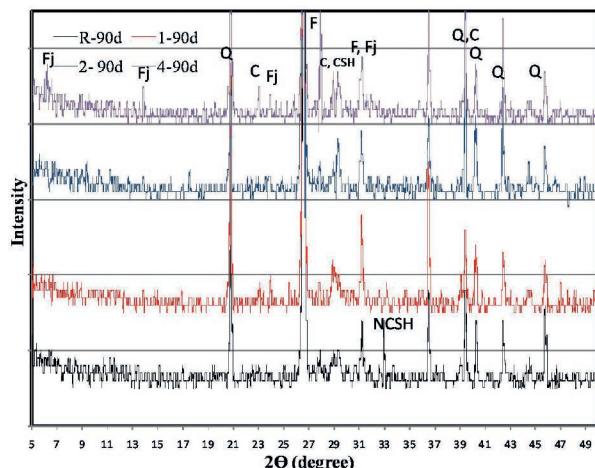


Fig. 4. XRD pattern of 90 days geopolymers with various MWCNT doses

[Q: Quartz, F: Feldspar, C: Calcite, CSH: Calcium-silicate-hydrate, NCSH:

Sodium-calcium-silicate-hydrate, Fj: Faujasite of Zeolite $\text{NAS}_{2.4}\text{H}_{6.7}$]

4. ábra Geopolimer habarcsok röntgendiffraktogramjai 90 napos korban, különböző szén nanocső adagolások esetén

[Q: Kvarc, F: Földpápt, C: Kalcit, CSH: Kalcium-szilikát-hidrát, NCSH:

Nátrium-kalcium-szilikát-hidrát, Fj: Faujazit – Zeolit módosulat $\text{NAS}_{2.4}\text{H}_{6.7}$]

FTIR spectra of alkali-activated geopolymers mixes have a bands description as follow: Stretching vibration of O-H bond at about 3430 , 1600 cm^{-1} , stretching vibration of CO_2 located at about 1410 cm^{-1} , asymmetric stretching vibration (Si-O-Si) related to non-solubilized particles at about 1100 cm^{-1} , asymmetric stretching vibration (T-O-Si) at about 975 cm^{-1} where T=Si or Al, symmetric stretching vibration of CO_2 at about 870 cm^{-1} , symmetric stretching vibration of (Si-O-Si) attributed to α -quartz at about 797 cm^{-1} , symmetric vibration at about 778 cm^{-1} for (Al-O-Si), 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} [46].

For FTIR spectra of alkali-activated geopolymers mortar mix without MWCNT cured at various ages Fig. 5 indicates broadness increase of the asymmetric band at 975 cm^{-1} up to 90

days, which accompanied with the decrease in the asymmetric band at about 1100 cm^{-1} for nonsolubilized slag particles giving an indication about increased dissolution of the unreacted materials with time and increased amorphous constituents. This is in coherent with the decrease in the symmetric vibration of α -quartz at about 797 cm^{-1} with time. An increased broadness and intensity of the hydration CSH band at about 3400 cm^{-1} is in agreement with the XRD data interpretation (Fig. 3).

An increase in the carbonation bands in the regions of 1430 cm^{-1} (ν C-O) as well as 867 cm^{-1} (δ C-O) [57] observed with MWCNT ratio more than 0.1%, where the carbonate constituents in slag materials lead to the growth of the carbonate band as discussed above, showing that the carbonates identified in this raw material do not react significantly under alkaline activation conditions [58].

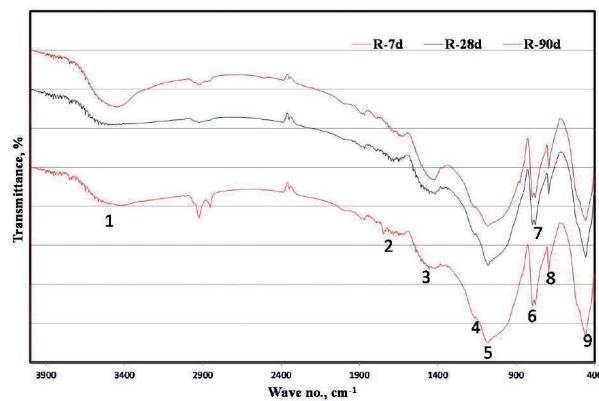


Fig. 5. FTIR spectra of geopolymers without MWCNT at different curing ages, cured at 40°C and 100% RH

[1: Stretching vibration of O-H bond, 2: Bending vibrations of (HOH), 3: Stretching vibration of CO_2 , 4: Asymmetric stretching vibration (Si-O-Si), 5: Asymmetric stretching vibration (T-O-Si), 6: Symmetric stretching vibration (Si-O-Si) attributed to α -quartz, 7: Symmetric stretching vibration (Al-O-Si), 8: Symmetric stretching vibration (Si-O-Si), 9: Bending vibration (Si-O-Si and O-Si-O)]

5. ábra Geopolimer habarcsok FTIR spektruma különböző korokban, szén nanocső adagolás nélküli, utókezelés 40°C and 100% RH

[1: Vegyértékrezgés O-H kötés, 2: Deformációs rezgés (HOH), 3: Vegyértékrezgés CO_2 , 4: Azszimmetrikus vegyértékrezgés (Si-O-Si), 5: Azszimmetrikus vegyértékrezgés (T-O-Si), 6: Szimmetrikus vegyértékrezgés (Si-O-Si) α -kvarc miatt, 7: Szimmetrikus vegyértékrezgés (Al-O-Si), 8: Szimmetrikus vegyértékrezgés (Si-O-Si), 9: Deformációs rezgés (Si-O-Si and O-Si-O)]

For FTIR spectra of 90 days alkali-activated geopolymers mortar mixes with various doses of MWCNT Fig. 6 illustrate increased dissolution of unreacted slag materials with MWCNT up to 0.1% as illustrated from the asymmetric band at about 1100 cm^{-1} for non-solubilized slag particles in addition to the symmetric vibration of α -quartz at about 797 cm^{-1} , this reflect nucleating efficiency increase of MWCNT up to 0.1 [59] and so increased the formation and propagation of the three dimensional structure. This is in addition to the increased broadness of the asymmetric band at 975 cm^{-1} for T-O-Si for the amorphous geopolymers structure.

The CO_3^{2-} vibration band decreases with MWCNT up to 0.1% and then increased with further increase, this attributed to the fact that the increased nucleation of MWCNT increase the formation of geopolymers structure and decrease the availability of free Na^+ which will be subjected to carbonation, however the

increased content of MWCNT leads to agglomeration and so more sodium cations are available for carbonation as illustrated clearly.

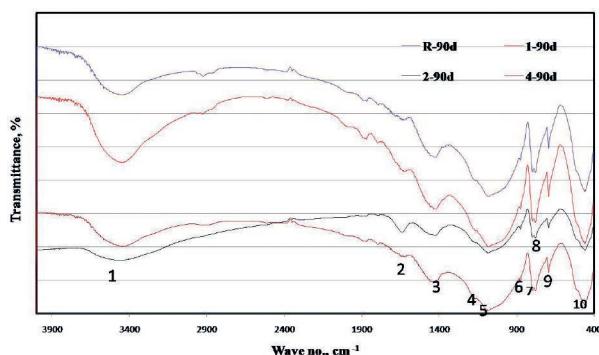


Fig. 6. FTIR spectra of 90 days cured (40°C and 100% RH) geopolymers having various MWCNT doses
 [1: Stretching vibration of O-H bond, 2: Bending vibrations of (HOH),
 3: Stretching vibration of CO_2 , 4: Asymmetric stretching vibration (Si-O-Si),
 5: Asymmetric stretching vibration (T-O-Si), 6: Symmetric stretching vibration of CO_2 , 7: Symmetric stretching vibration (Si-O-Si) attributed to α -quartz, 8: Symmetric stretching vibration (Al-O-Si), 9: Symmetric stretching vibration (Si-O-Si), 10: Bending vibration (Si-O-Si and O-Si-O)]

6. ábra Geopolimer habarcsok FTIR spektrum 90 napos korokban (utókezelés 40°C and 100% RH), különböző szén nanocső adagolások esetén
 [1: Vegyértékrezgés O-H kötés, 2: Deformációs rezgés (HOH),
 3: Vegyértékrezgés CO_2 , 4: Azszimmetrikus vegyértékrezgés (Si-O-Si),
 5: Azszimmetrikus vegyértékrezgés (T-O-Si), 6: Szimmetrikus vegyértékrezgés CO_2 , 7: Szimmetrikus vegyértékrezgés (Si-O-Si) α -kvarc miatt,
 8: Szimmetrikus vegyértékrezgés (Al-O-Si), 9: Szimmetrikus vegyértékrezgés (Si-O-Si), 10: Deformációs rezgés (Si-O-Si and O-Si-O)]

The water absorption pattern of the geopolymers with various MWCNT ratios cured at 7, 28 and 90 days is shown in Fig. 7, where noticeable decrease in absorption with time specially at later ages as a result of formation and precipitation of three dimensional geopolymers structure in the open pores and decrease the matrix porosity. However, the lower absorption values upon using MWCNT up to 0.1%, attributed to the enhanced geopolymers formation and accumulation by carbon Nanomaterials as confirmed well by XRD and FTIR evaluations; whilst further increase in MWCNT with its agglomeration upon using higher ratios hinder the propagation and precipitation of the geopolymers network and so increase the absorption values.

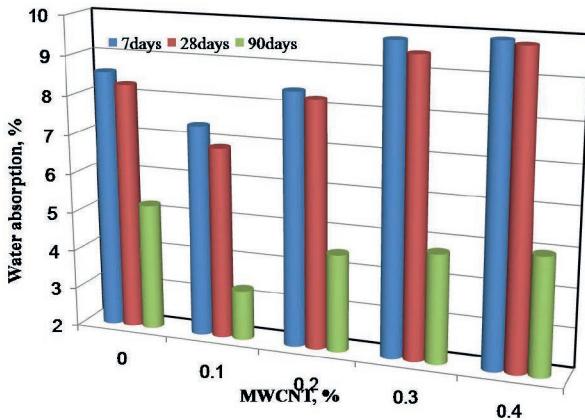


Fig. 7. Water adsorption of alkali activated geopolymers with various doses of MWCNT

7. ábra Alkáli aktivált geopolimer habarcsok vízfelvételre különböző szén nanocső adagolások esetén

The drying shrinkage pattern of the geopolymers with various MWCNT ratios cured at 28 and 90 days is shown in Fig. 8, where a decrease in shrinkage with time as well as with MWCNT up to 0.1%. The drying shrinkage indicates to some degree the plasticity of the mixture, as a large drying shrinkage means that mixture could absorb much water, which in turn indicates fine mixture particles [42, 43].

Most of the total drying and autogenous shrinkage take place during the early ages as illustrated from higher shrinkage values especially in the control mix, which attributed to the lower degree of geopolymerization and formation of zeolite structures with higher water content as emphasized by XRD data, this zeolite structures absorbs much water content and increase the shrinkage values. On the other hand, doping with MWCNT results in decreasing the shrinkage greatly up to 0.1% [59], where MWCNTs achieve the enhancement effect by nucleation site increase, increasing the amount of C-S-H gel of high hardness, improving pore structures, controlling nanoscale cracks and reducing autogenous shrinkage of the geopolymers [34, 60]. Also, the acceleration effect of nanotubes results in the formation of more compact geopolymers structure which possess low shrinkage values, however, increased content of MWCNT results in the agglomeration and bundling in spite of sonicated dispersion [20, 60], which can share in an increase in the shrinkage data but still a wide gap between control mix and MWCNTs geopolymers.

Drying shrinkage in composites with 0.1, 0.2 and 0.4 % MWCNTs reduced to about 92, 88, 74% after 28 days, respectively, compared with composites without CNTs (as shown in Fig. 8). Furthermore, the addition of CNTs fines the pore size distribution and decreases the porosity (or nanoporosity) of composites by filling the gaps (or pores) between the hydration products such as C-S-H gel geopolymers composite. Therefore, the composites become much more compacted [20, 60]. It can be observed an increase in the drying shrinkage values with MWCNT at later ages except the lower dose of CNT (0.1%), where the agglomeration participate greatly in the increase of the shrinkage values as stated before.

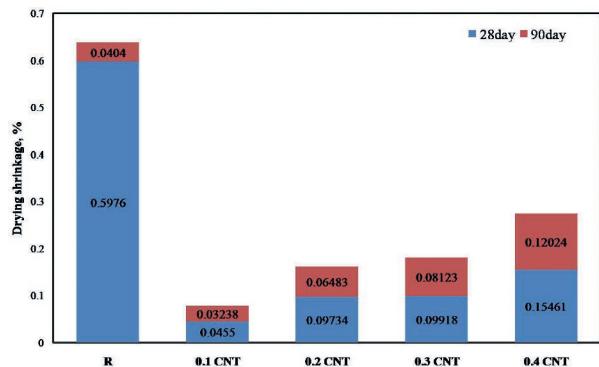


Fig. 8. Drying shrinkage of geopolymers with various ratios of MWCNT at different curing ages

8. ábra Geopolimer habarcsok száradási szugorodása eltérő érlelései korokban, különböző szén nanocső adagolások esetén

Fig. 9 shows the compressive strength of geopolymers with various ratios of MWCNT cured at 40°C and 100% relative humidity up to 90 days. The results illustrate the increase in the compressive strength with curing time as a

result of increased hydration and propagation of geopolymers chains, also, the strength enhanced with MWCNT up to 0.1% and decrease up to 0.4%.

The increase related to individual MWCNTs which spread throughout the geopolymers matrix with a uniform density. The good dispersion of MWCNTs was also attributed to the effect of the NaOH alkaline solution during processing as discussed [27] and hydrophilic groups (-COOH) in carboxylate based superplasticizer forming covalence-modified CNTs to improve interfacial interactions in composites, in which the -COOH groups form strong coordinate bonds with Ca²⁺ ions in matrix, thus enhancing the formation of three dimensional geopolymers in addition to CSH [56, 59]. Furthermore, the addition of CNTs fines pore size distribution and decreases the porosity (or nanoporosity) of composites by filling the gaps (or pores) between the hydration products such as C-S-H gel geopolymers composite. Therefore, the composites become much more compacted [20, 60]. However, the carboxylate based superplasticizer however, was ineffective in dispersing MWCNTs at 0.2 m% and more, where most of MWCNT were agglomerated in the alumino-silicate gel and hinder the propagation of the three dimensional network.

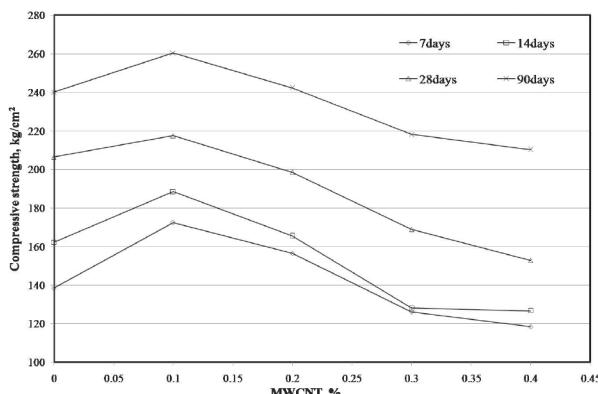


Fig. 9. Compressive strength of alkali activated geopolymers mortar specimens doped with various doses of MWCNT

9. ábra Alkáli aktivált geopolimer habarcsok nyomószírásága különböző szén nanocső adagolások esetén

The results illustrate the enhancement in mechanical strength giving an increased mechanical strength than the control mix that has not MWCNT by 24.6%, and 12.97%, upon 7 days curing, however, these ratios decrease with further increase in curing time giving 8.46 and 0.91% after 90 curing time when using 0.1 and 0.2 m% MWCNT, respectively. On the other hand, the strength decreases up on using 0.4 m% MWCNT by 14.53% and 12.45% after, 7 and 90 days, respectively. The compressive strength data confirmed well by the previously discussed XRD and FTIR patterns (Figs. 3 to 6).

4. Conclusions

- Adding MWCNT to alkali activated geopolymers mortar specimens increases and offers an extra nucleation sites for geopolymers formation and accumulation.
- The NaOH solution appeared to have a positive effect on the dispersion quality of MWCNTs up to 0.4 m%.

- XRD of mortar nanocomposites with MWCNT concentrations of 0.1 and 0.4 m% showed an increase in amorphous geopolymers as well as CSH up to 0.1% where the individual MWCNTs spread throughout the geopolymers matrix with uniform density.
- FTIR of mortar nanocomposites with MWCNT concentrations of 0.1 and 0.4 m% confirms an increased broadness of amorphous geopolymers band as well as CSH up to 0.1%.
- MWCNT addition decreasing the water absorption values up to 0.1% and then increases with further CNT increase.
- Drying shrinkage in mortar composites with 0.1, 0.2 and 0.4% MWCNTs reduced to about 92, 88, 74% after 28 days, respectively, compared with composites without CNTs, however an increase in the drying shrinkage values with MWCNT at later ages except the lower dose of CNT (0.1%), where the agglomeration participate greatly in the increase of the shrinkage values.
- The enhancement in mechanical strength with MWCNT giving an increased mechanical strength than the control mix which has not MWCNT by 24.6% and 12.97% upon 7 days curing, however, these ratios decrease with further increase in curing time giving 8.46 and 0.91% after 90 curing time when using 0.1 and 0.2 m% MWCNT, respectively. On the other hand, the strength decreases up on using 0.4 m% MWCNT by 14.53% and 12.45% after, 7 and 90 days, respectively.

References

- Morsy, M. S. – Aglan, H. A. (2007): Development and characterization of nanostructured– Perlite–Cementitious Surface Compounds, *Journal of Materials Science*, Vol. 42, No. 24, pp. 10188–10195. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-007-1981-3>
- Aglan, H. – Morsy, M. – Allie, A. – Fouad, F. (2009): Evaluation of fiber reinforced nanostructured Perlite–cementitious surface compound for building skin applications, *Construction and Building Materials*, Vol. 23, No. 1, pp. 138–145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.01.010>
- Shebl, S. S. – Allie, L. – Morsy, M. S. – Aglan, H. A. (2009): Mechanical behavior of activated nano silicate filled cement binders, *Journal of Materials Science*, Vol. 44, No. 6, pp. 1600–1606. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-008-3214-9>
- Lijima, S. (1991): Helical microtubes of graphitic carbon, *Nature*, Vol. 354, No. 7, pp. 56–58. <http://dx.doi.org/10.1038/354056a0>
- Rouainia, G. – Djeghaba, K. (2008): Evaluation of Young's modulus of single walled Carbon Nanotubes (SWNT) Reinforced Concrete Composite, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 3, No. 6, pp. 504–515. <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/jeasci/2008/504-515.pdf>
- Ando, Y. (1994): The preparation of carbon nanotubes, *Fullerene Science and Technology*, Vol. 2, No. 2, pp. 173–180. <http://dx.doi.org/10.1080/15363839408009542>
- Maser, W. K. – Martinez, M. T. (2002): Production of carbon nanotubes: the light approach, *Carbon*, Vol. 40, No. 10, pp. 1685–1695. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223\(02\)00009-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223(02)00009-X)
- Oncel, C., Yurum, Y. (2006) Carbon nanotubes synthesis via the catalytic CVD method: a review on the effect of reaction parameters, *Fullerenes, Nanotubes, Carbon Nanostructures*, Vol. 14, No. 1, pp. 17–37. <http://dx.doi.org/10.1080/15363830500538441>
- Li, X. – Cao, A. – Jung, Y. J. – Vajtai, R. – Ajayan, P. M. (2005): Bottom-Up Growth of Carbon Nanotube Multilayers: Unprecedented Growth, *Nanoletters*, Vol. 5, No. 10, pp. 1997–2000. <http://dx.doi.org/10.1021/nl051486q>

- [10] Musso, S. – Porro, S. – Giorcelli, M. – Chiodoni, A. – Ricciardi, C. – Tagliaferro, A. (2007): Macroscopic growth of carbon nanotubes mats and their mechanical properties, *Carbon*, Vol. 45, No. 5, pp. 1133–1136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2006.12.019>
- [11] Andrews, R. – Jacques, D. – Qian, D. – Dickey, E. C. (2001): Purification and structural annealing of multiwalled carbon nanotubes at graphitization temperatures, *Carbon*, Vol. 39, No. 11, pp. 1681–1687. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223\(00\)00301-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223(00)00301-8)
- [12] Musso, S. – Giorcelli, M. – Pavese, M. – Bavesi, M. – Bianco, S. – Rovere, M. – Tagliaferro, A. (2008): Improving macroscopic physical and mechanical properties of thick layers of aligned multiwall carbon nanotubes by annealing treatment, *Diamond and Related Materials*, Vol. 17, No. 4-5, pp. 542–547. <http://dx.doi.org/10.1016/j.diamond.2007.10.034>
- [13] Saafi, M. – Andrew, K. – Tang, P. L. – McGhon, D. – Taylor, S. – Rahman, M. – Yang, S. – Zhou, X. (2013): Multifunctional properties of carbon nanotube/fly ash geopolymeric nanocomposites, *Construction and Building Materials*, Vol. 49, pp. 46–55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.007>
- [14] Hardjito, D. – Rangan B. V. (2005): Development and properties of low-calcium fly ash based geopolymers concrete, *Research Report GC1*, Curtin University of Technology Perth, Australia
- [15] Kong, D. L. Y. – Sanjayan, J. G. (2008): Damage behaviour of geopolymers exposed to elevated temperatures, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 30, No. 10, pp. 986–991. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.08.001>
- [16] Bakharev, T. (2004): Resistance of geopolymers materials to acid attack, *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No. 4, pp. 658–670. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.005>
- [17] Pan, Z. – Sanjayan, J. G. – Rangan, V. (2011): Fracture properties of geopolymers paste and concrete, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 63, No. 10, pp. 763–771. <http://dx.doi.org/10.1680/macr.2011.63.10.763>
- [18] Uddin, F. – Shaik, A. (2013): Review of mechanical properties of short fibers reinforced geopolymers composites, *Construction and Building Materials*, Vol. 43, pp. 37–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.026>
- [19] Coleman, N. J. – Khan, U. – Blau, W. J. – Gun-ko, Y. K. (2006): Small but strong: a review of the mechanical properties of carbon nanotube-polymer composites, *Carbon*, Vol. 44, No. 9, pp. 1624–1652. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2006.02.038>
- [20] Chen, S. J. – Collins, F. G. – Macleod, A. J. N. – Pan, Z. – Duan, W. H. – Wang, C. M. (2011): Carbon nanotube-cement: a retrospect, *The IES Journal Part A: Civil and Structural Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 254–265. <http://dx.doi.org/10.1080/19373260.2011.615474>
- [21] Tyson, B. – Abu Al-Rub, R. – Yazdanbakhsh, A. – Grasley, Z. (2011): Carbon nanotubes and carbon nano fibers for enhancing the mechanical properties of nanocomposites cementitious materials, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 23, No. 7, pp. 1028–1035. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000266](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000266)
- [22] Gao, D. – Sturm, M. – Mo, Y. L. (2009): Electrical resistance of carbon-nanofibre concrete, *Smart Materials and Structures*, Vol. 18, No. 9, pp. 1–7. <http://dx.doi.org/10.1088/0964-1726/18/9/095039>
- [23] Collins, F. – Lambert, F. – Duan, W. H. (2012): The influence of admixtures on the dispersion, workability, and strength of carbon nanotube-OPC paste mixtures, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 34, No. 2, pp. 1067–1074. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.09.013>
- [24] Abu Al-Rub, R. K. – Tyson, B. M. – Yazdanbakhsh, A. – Grasley, Z. (2012): Mechanical properties of nanocomposite cement incorporating surface-treated and untreated carbon nanotubes and carbon nanofibres, *ASCE Journal of Nanomechanics and Micromechanics*, Vol. 2, No. 1, pp. 1–6. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)NM.2153-5477.0000041](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)NM.2153-5477.0000041)
- [25] Kumar, S. – Kolay, P. – Malla, S. – Mishra, S. (2012): Effect of multiwalled carbon nanotubes on mechanical strength of cement paste, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 24, No. 1, pp. 84–91. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000350](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000350)
- [26] Mackenzie, K. J. D. – Bolton, M. J. (2009): Electrical and mechanical properties of aluminosilicate inorganic polymer composites with carbon nanotubes, *Journal of Materials Science*, Vol. 44, pp. 2851–2857. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-009-3377-z>
- [27] Heister, E. – Lamprecht, C. – Neves, V. – Tilmaci, C. – Datas, L. – Flahaut, E. (2010): Higher dispersion efficacy of functionalized carbon nanotubes in chemical and biological environments, *ACS Nano*, Vol. 4, No. 5, pp. 2615–2626. <http://dx.doi.org/10.1021/nn100069k>
- [28] Hanjitsawan, S. – Chindaprasirt, P. – Pimraksa, K. (2011): Electrical conductivity and dielectric property of fly ash geopolymers pastes, *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, Vol. 18, No. 1, pp. 94–99. <http://dx.doi.org/10.1007/s12613-011-0406-0>
- [29] Reich, S. – Thomsen, C. – Maultzsch, J. (2004): Carbon Nanotubes: Basic Concepts and Physical Properties, *Germany Wiley-VCH*, 2004.
- [30] Ma, P. C. – Siddiqui, N. A. – Marom, G. (2010): Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: a review, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 41, No. 10, pp. 1345–1367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.07.003>
- [31] Xie, X. – Mai, Y. – Zhou, X. (2005): Dispersion and alignment of carbon nanotubes in polymer matrix: a review, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, Vol. 49, No. 4, pp. 89–112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mser.2005.04.002>
- [32] Fu, K. – Huang, W. – Lin, Y. (2001): Defunctionalization of functionalized carbon nanotubes, *Nano Letters*, Vol. 1, No. 8, pp. 439–441. <http://dx.doi.org/10.1021/nl010040g>
- [33] Hamon, M. A. – Hui, H. – Bhowmik, P. (2002): Ester-functionalized soluble single-walled carbon nanotubes, *Applied Physics A*, Vol. 74, No. 3, pp. 333–338. <http://dx.doi.org/10.1007/s003390201281>
- [34] Han, B. – Yu, X. – Ou, J. (2011): Multifunctional and smart carbon nanotube reinforced cement-based materials, *Nanotechnology in Civil Infrastructure*, Springer, pp. 1–47. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-16657-0_1
- [35] Shah, S. P. – Konsta-Gdoutos, M. S. – Metaxa, Z. S. (2011): Advanced cement based nanocomposites, *Recent Advances in Mechanics*, Springer, pp. 313–327. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-0557-9_16
- [36] Collins, F. – Lambert, F. – Duan, W. H. (2012): The influence of admixtures on the dispersion, workability, and strength of carbon nanotube-OPC paste mixtures, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 34, No. 2, pp. 1067–1074. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.09.013>
- [37] Weitzel, B. – Hansen, M. R. – Kowald, T. L. – Müller, T. – Spiess, H. W. – Trettin, H. F. R. (2011): Influence of Multiwalled Carbon Nanotubes on the Microstructure of CSH-Phases, *Proceedings of 13th congress on the Chemistry of Cement*, 3–8 July 2011, Madrid, Spain.
- [38] El-Sayed, H. A. – Abo El-Enein, S. A. – Khater, H. M. – Hasanein, S. A. (2011): Resistance of alkali activated water cooled slag geopolymers to sulfate attack, *Ceramics – Silikáty*, Vol. 55, No. 2, pp. 153–160. http://www.ceramics-silikaty.cz/2011/pdf/2011_02_153.pdf
- [39] Saikia, N. – Usami, A. – Kato, S. – Kojima, T. (2004): Hydration behavior of ecocement in presence of metakaolin, *Resource Progressing Journal*, Vol. 51, No. 1, pp. 35–41. https://www.jstage.jst.go.jp/article/rpsj/51/1/51_1_35/_pdf
- [40] 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.
- [41] ASTM C109M-13, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars http://dx.doi.org/10.1520/C0109_C0109M
- [42] Norsker, H. (1987): The Self-reliant potter: refractories and kilns, *Friedr. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg&Sohn*
- [43] Ugheo, B. I. – Onche, E. O. – Namessan, O. N. – Asikpo, G. A. (2006): Property Optimization of Kaolin - Rice Husk Insulating Fire - Bricks, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, Issue 9, July–December 2006, pp. 167–178.
- [44] ASTM C140-01, Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units <http://dx.doi.org/10.1520/C0140-01>
- [45] Panias, 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>
- [46] Vargas, A. S. – Dal Molin, D. C. C. – Masuero, A. B. – Vilela, A. C. F. – Castro-Gomes, J. – Gutierrez, R. M. (2014): Strength development of alkali-activated fly ash produced with combined NaOH and Ca(OH)₂ activators, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 53, pp. 341–349. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.06.012>

- [47] Ben Haha, M., Lothenbach, B., Le Saout, G. L., Winnefeld, F. (2011): Influence of Slag Chemistry on the Hydration of Alkali-Activated Blast-Furnace Slag – Part I: Effect of MgO, *Cement and Concrete Research*, Vol. 41, No. 9, pp. 955–963. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.05.002>
- [48] Ben Haha, M. – Le Saout, G. L. – Winnefeld, F. – Lothenbach, B. (2011): Influence of Activator Type on Hydration Kinetics, Hydrate Assemblage and Microstructural Development of Alkali Activated Blast-Furnace Slags, *Cement and Concrete Research*, Vol. 41, No. 3, pp. 301–310. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.016>
- [49] García Lodeiro, I. – Macphee, D. E. – Palomo, A. – Fernández-Jiménez, A. (2009): Effect of Alkalies on Fresh C-S-H Gels. FTIR Analysis, *Cement and Concrete Research*, Vol. 39, No. 3, pp. 147–153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.01.003>
- [50] García Lodeiro, I. – Palomo, A. – Fernández-Jiménez, A. – Macphee, D. E. (2011): Compatibility Studies Between N-A-S-H and C-A-S-H Gels. Study in the Ternary Diagram Na₂O-CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O, *Cement and Concrete Research*, Vol. 41, No. 9, pp. 923–931. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.05.006>
- [51] Bakharev, T. – Sanjayan, J. G. – Cheng, Y. B. (1999): Effect of elevated temperature curing on properties of alkali-activated slag concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, No. 10, pp. 1619–1625. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00143-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00143-X)
- [52] Malolepszy, J. (1993): Proceedings of 3rd International Symposium on Cement and Concrete. Beijing, China.
- [53] Duxson, P. – Provis, J. L. – Lukey, G. C. – van Deventer, J. S. J. – Separovic, F. – Gan, Z. H. (2006): ³⁹K NMR of Free Potassium in Geopolymers, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 45, No. 26, pp. 9208–9210. <http://dx.doi.org/10.1021/ie060838g>
- [54] Fernández-Díaz, L. – Fernández-González, Á. – Prieto, M. (2010): The role of sulfate groups in controlling CaCO₃ polymorphism, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 74, No. 21, pp. 6064–6076. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2010.08.010>
- [55] Li, Y. – Wang, P. – Zhao, X. (2006): Mechanical behaviour and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes, *Carbon*, Vol. 43, No. 6, pp. 1239–1245. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2004.12.017>
- [56] Peyvandi, A. – Soroushian, P. – Abdol, N. (2013): Surface-modified graphite nanomaterials for improved reinforcement efficiency in cementitious paste, *Carbon*, Vol. 63, No. , pp. 175–186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2013.06.069>
- [57] Garcia-Lodeiro, I. – Fernandez-Jimenez, A. – Palomo, A. – Macphee, D. E. (2010): Effect on fresh CS-H gels of the simultaneous addition of alkali and aluminum, *Cement and Concrete Research*, Vol. 40, No. 1, pp. 27–32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.004>
- [58] 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, pp. 99–108. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-011-9093-3>
- [59] Jiang, X. – Kowald, T. – Staedler, T. – Trettin, R. (2005): Carbon nanotubes as a new reinforcement material for modern cement-based binders, *RILEM Proceedings, 2nd International Symposium on Nanotechnology in Construction*, 2005, pp. 209–213.
- [60] Parveen, S. – Rana, S. – Fangueiro, R. (2013): A review on nanomaterial dispersion, microstructure and mechanical properties of carbon nanotube and nanofiber reinforced cementitious composites, *Journal of Nanomaterials*, Volume 2013, Article ID 710175, 19 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/710175>

Ref.:

Khater, Hisham M. M. – Gawwad, Hamdy A. Abdel: Characterization of alkali activated geopolymers doped with MWCNT
 Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 2 (2015), 38–47. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.7>

MWCNT adalékos alkáli aktivált geopolimer habarcsok tulajdonságai

A cikkben a szerzők azt tanulmányozzák, hogy milyen hatással van a szén nanocső adagolás az alkáli-aktivált geopolimer habarcsokra. Bizonyítják, hogy a szén nanocső adagolás kedvezően hat a geopolimer kristályképződésére, mert a szén nanocsövek kristályindító csírákként tudnak működni. A NaOH pozitív hatást gyakorol a szén nanocsövek diszpergálhatóságára 0,4 m% adagolásig. Röntgendiffrakciós és FTIR vizsgálatokkal igazolják, hogy a szén nanocső adagolás 0,1 és 0,4 m% mennyiségben növeli a geopolimer amorf fázisának és CSH fázisának mennyiségét és egyenletes eloszlását biztosít. A szén nanocső adagolás hatására a geopolimer habarcsok vízfelvételre megnő. A száradási zsigorodás, különösen késői korokban, megnő a szén nanocső adagolás hatására. A szén nanocső adagolás hatására az alkáli-aktivált geopolimer habarcsok nyomószilárdsága megnő.

Kulcsszavak: MWCNT, geopolimer, habarcs, vízzel lehűtött salak, levegővel lehűtött salak.

GP-Camp 2015

Keynote Conferences in video:
<http://www.geopolymer.org/conference/gpcamp/gp-camp-2015>

PROGRAMME

Keynote by Joseph Davidovits: State of the Geopolymer R&D 2015

Keynote by Henk Nugteren, TU Delft, The Netherlands:
 Geopolymer coating of bacteria-containing granules
 for use in self-healing concrete.

Session 1: Geopolymer molecular chemistry,
 scientific investigations, raw materials.

Session 2: industrial applications (foamed panels, ceramics,
 high temperature, binders, composites,
 toxic and radioactive waste containment)

Session 3: building applications, LTGS, bricks, cements,
 concretes, Eco-building, etc.



Mélyépítési szigetelések értékelmezése

ANDRISKA FANNI ▪ BME Építészmérnöki Kar ▪ andfanni@gmail.com

HEINCZ DÁNIEL ▪ BME Építészmérnöki Kar ▪ daniel.heincz@gmail.com

KOVÁCS KÁROLY ▪ BME Építészmérnöki Kar ▪ kovacs karoly91@gmail.com

DOBSZAY GERGELY ▪ BME Épületszerkezet Tanszék ▪ gdobszay@epsz.bme.hu

NEMES RITA ▪ BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék ▪ nemes.rita@epito.bme.hu

Érkezett: 2015. 04. 01. ▪ Received: 01. 04. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.8>

ANDRISKA Fanni

BME Építészmérnöki Kar, építész szak,
szerkezeti szakirány osztatlan 5 éves képzés
hallgatója

HEINCZ Dániel

BME Építészmérnöki Kar, építész szak,
tervezői szakirány osztatlan 5 éves képzés
hallgatója

KOVÁCS Károly

BME Építészmérnöki Kar, építész szak,
szerkezeti szakirány osztatlan 5 éves képzés
hallgatója

DOBSZAY Gergely PhD

egyetemi docens,

BME Épületszerkezet Tanszék.
Szakterületek: épületszerkezetek tervezése,
szigetelések, különböző terehatároló szerkezetek,
nyílászárók.

Dr. NEMES Rita

Okt. építőmérnök, adjunktus
a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén.

Fő érdeklődési területei: könnyűbeton
összetételének tervezése, könnyűbeton
szerkezetek tervezése, speciális betonok, könnyű
és újrahasznosított adalékanyagok, kerámiák,
szigetelések. A fib Magyar Tagozat tagja.
Az SZTE Beton Szakosztály tagja.

Value analysis of waterproof membranes

At the end of the 20th and the beginning of the 21st century new foundation waterproofing methods have been emerged. Good quality materials alone do not necessarily ensure good performance of structures, which led waterproofing manufacturers to develop new systems. As a result of the need of simplicity of installation, the decrease of special additives, the reduction of damage caused by structural components, the increase in safety requirements and the reduction of space demand during construction, manufacturers have developed such waterproofing systems that establish mechanical or chemical bond with load-bearing structures – in the studied case, with monolithic reinforced concrete. They differ significantly from the usual waterproofing systems, since they are not an independent layer of waterproofing, but perform as a fundamental part of the reinforced concrete foundation to exclude water.

In the present experiments these new kind of materials have been tested under laboratory conditions, to explore the new performance and provide a value analysis of them.

Keywords: waterproof membrane, bonded membrane, damage of membrane, lateral water movement, value analysis

Kulcsszavak: vízszigetelő lemez, visszatapadó szigetelés, szigetelés sérülése, laterális vízvándorlás, értékelémzés

1. Bevezető

Az épületszerkezettan egy folyamatosan változó tudományág, így az alapelvek, irányelvek is állandóan változnak. Az elmúlt évtizedek során felgyorsult a technológiai fejlődés és sokkal jobb anyagminőségek, egyszerűsödő alkalmazástechnikák érhetők el, valamint egyre magasabb igényű követelmények léptek fel a szerkezetekkel szemben. A rendelkezésre álló variációk száma és azok változatossága megkérdőjelezni a megszokott konstrukciós alapelvek hitelességét. A szakmában a mai napig viták vannak egyes szerkezetek megoldására irányuló kérdésekben, a megfelelő anyag kiválasztásában és a helyes szerkezetek kialakításában.

2. Témafelvetés

2.1. Kiindulási helyzet

A beépítés egyszerűsítése, a speciális segédanyagok mennyiségeinek csökkentése, a sérülésekkel adódó károsodások elkerülése, a biztonság növelése és a kivitelezés helyigényének csökkentése következtében az anyaggyártók olyan vízszigetelő rendszereket hoztak létre, amelyek a tartószerkezettel – jelen esetben a monolit vasbetonnal – mechanikai, vagy kémiai együtt dolgozást alakítanak ki. Technológiájuk jelentősen eltér a megszokott vízszigetelő rendszerekétől, hiszen nem önálló rétegként, hanem a mélyépítési vasbeton szerkezettel együtt vesznek részt a víz távoltartásában. Amíg a szerkezeti kialakítások tökéletesen működnek, minden szigetelés kifogástalan. A különbség akkor válik jelentőssé, amikor sérülés következik be, vagy a kivitelezés körülmenyei nem teszik lehetővé tetszőleges szerkezet alkalmazását.

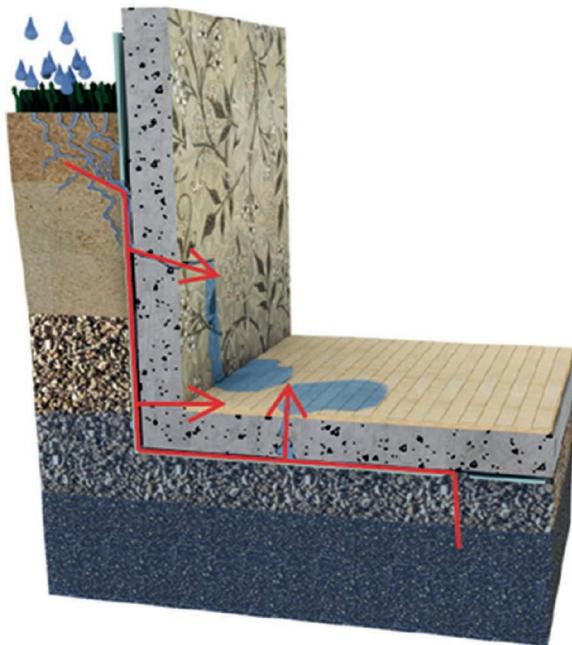
2.2. A laterális vízvándorlási ellenállás

A szerkezethez visszatapadó szigetelések esetén a mechanikai együtt dolgozás módja felveteti a laterális vízvándorlással szembeni ellenállás vizsgálatának igényét. Bizonyos esetekben előfordulhat, hogy a vízszigetelő lemezek és a szerkezet között elválások jönnek létre. Ezen szűk hézagok azt eredményezhetik, hogy az épületen belül a víz másolat tör be, mint ahol a szigetelés ténylegesen megsérült. A szigetelés sérülése esetén a vízréteg szétterül, majd a hátszerkezet legyengébb pontján keresztül jelenik meg a védett térből, így a beázás helye nem minden azonos a szigetelés sérülésének helyével (1. ábra). Ezt a jelenséget nevezzük laterális – oldalirányú – vízvándorlásnak. Erre a vízvándorlási ellenállásra a gyártói adatlapok nem határoznak meg értékeket, az alkalmazástechnikák nem használják ki az ebben rejlı lehetőségeket. A vízvándorlás jelensége szabványos mérési eljárásokkal még nem vizsgált tulajdonság. Kutatóunknak kiemelt célja volt a jelenség kísérleti bizonyítása és az ezt befolyásoló paraméterek meghatározása.

2.3. Célok

A közelmúltban kifejlesztett új anyagokat még nem használtották össze az oldalirányú vízvándorlással szembeni ellenállásuk alapján, illetve az ezekből adódó új felhasználási lehetőségeket sem elemeztek. Tanulmányunk a holisztaikus teljesítményelvű tervezési szemlélet alapján [2] a hatásokból származó igénybevételeket és a használatból következő követelményeket számszerűsített paraméterekké bontja le és ezeket súlyozza egy konkrét példa bemutatásán keresztül. Ezen felül ismertetjük a mélyépítési szigetelések kiválasztását befolyásoló

föbb paramétereket és az eltérő technológiák alkalmazási lehetőségeit a tervezők későbbi munkáját segítve.



1. ábra Laterális vízvándorlás kialakulása a szigetelés sérülése során [1]
Fig. 1. Lateral water movement at local damage of membrane [1]

3. Szerkezzel együtdolgozó vízszigetelések laterális vízvándorlási ellenállásának kísérleti bizonyítása

3.1. Szerkezzel együtdolgozó vízszigetelések

Kísérletünk előkészítése a mechanikai együtdolgozással rendelkező anyagok felkutatásával kezdődött. Jelenleg a piacra három, szerkezzel együtdolgozó vízszigetelés kapható: Grace Preprufe, Sikaproof-A és Voltex bentonit paplan szigetelés. Ezen kívül alkalmunk volt kísérleteket folytatni egy fejlesztés alatt álló új anyaggal is, az Expert Proof eco visszatapadó bevonatszigetéssel. A négy anyag rendszertanilag különböző kategóriákba sorolható, mégis a szerkezethez való visszatapadásuk által önálló csoportot alkotnak.

3.1.1. Grace Preprufe [3]

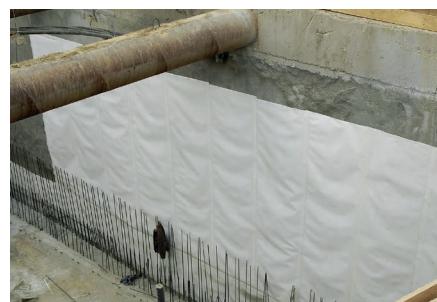
A Preprufe vízszigetelő lemezek hidegen felhelyezhető, lemezszélein öntapadó vízszigetelő membránok, melyek több rétegből állnak: tartalmaznak egy robusztus HDPE réteget, egy könnyen aktiválódó nyomásérzékeny ragasztóréteget, és egy időjárási ártalmak ellen védelmet nyújtó járható réteget, melyet betonozás előtt eltávolítanak. A műanyag lemezen található reagens anyag adott nyomás, a víz és a beton pH értékének együttes hatására aktiválódik. A membrán a ráöntött betonnal folyamatos kötést alkot molekuláris szinten, és visszatapad a vasbeton szerkezetre (2., 3. és 4. ábra), ezzel - a gyártói adatlapok szerint - megakadályozza a víz vándorlását a beton és a szigetelés között, és nem engedi a nedvesség és víz beszivárgását a védett térré.



2. ábra A Preprufe 300R vízszigetelő lemez tapadása
Fig. 2. Bond of the Preprufe 300R membrane



3. ábra A Preprufe 300R vízszigetelő lemez felépítése [4]
Fig. 3. Structure of the Preprufe 300R membrane [4]



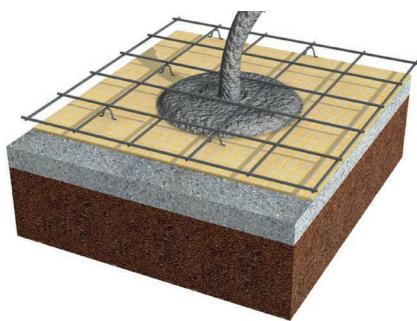
4. ábra A Preprufe 300R vízszigetelő lemez alkalmazása [4]
Fig. 4. Application of the Preprufe 300R membrane [4]

3.1.2. Sikaproof-A [5]

A Sikaproof-A teljes felületen ágyazott mélyépítési vízszigetelő anyagrendszer, egy új innováció a lemezes szigetelések területén. Teljes felületen tapadó, összetett vízszigetelő lemez, mely tömítőrácsból és nem szövött filccel rétegelt dombornyomott FPO – rugalmas poliolefín – rétegből áll, speciális laminált tömítőanyag háló és polipropilén ágyazó szövet kasírozással. Az ágyazó szövet összeragad a friss betonnal, így erős mechanikus kapcsolat alakul ki (5., 6. és 7. ábra), amely tartós gátat biztosít a szivárgással szemben. A szigetelő lemez megakadályozza a víz behatolását, csökkenti a szerkezet vegyi terhelését és e mellett gázrást is biztosít. A lemez esetleges sérülése során a víz bejut a szigetelés rétegei közé, ennek hatására a kereszträcsökben lévő anyag duzzadásnak indul, és eltömíti, elzárja a víz útját. Ennek köszönhetően a sérülés és a víz helye lokális, így könnyen megtalálható és javítható. Ebből következik, hogy a szigetelés és a beton- vasbeton szerkezet között nincs laterális vízvándorlás, vízszivárgás.



5. ábra A Sikaproof-A szigetelőlemez tapadása
Fig. 5. Bond of the Sikaproof-A membrane



6. ábra A Sikaproof-A szigetelőlemez felépítése [6]
Fig. 6. Structure of the Sikaproof-A membrane [6]



7. ábra A Sikaproof-A szigetelőlemez alkalmazása [6]
Fig. 7. Application of the Sikaproof-A membrane [6]

3.1.3. Voltex [7]

A Voltex egy öninjektáló bentonit alapú szigetelőrendszer talajnedvesség és talajvíznyomás ellen. Szerkezete két rétegű geotextilia közé túnemezeléssel felület-folytonosan bezárt nátriumbentonit réteg (8. ábra), amely nedvesség hatására azonnal duzzadásnak indul, ezáltal rendkívül tömör szigetelő réteget alkot. A paplan környezetbarát anyagokból és környezetbarát technológiával készül. A bentonit agyagásványai réteglemezeket képeznek, mely rétegek a nedvességet és a vizet az agyagásványok közé felveszik és megköti, ezáltal vízzel történő érintkezéskor a lemezek azonnal duzzadni kezdenek, és a rendelkezésre álló teret kitölítve tömörré, vízzáróvá válnak. A duzzadás következtében a kristályrétegek az eredeti méretüknek 8-szorosára is képesek megnövekedni és a lemezekben lévő bentonit a térfogatának 15-szörösére (1500%) is képes megduzzadni. A bentonit anyagú szigetelések, fugaképzések a duzzadó nyomás jelenségét hasznosítják.



8. ábra Voltex bentonitos paplanszigetelés szerkezete [8]
Fig. 8. Structure of the Voltex bentonite sheet [8]

3.1.4. Expert Proof eco

Az Expert Proof eco egy gyors kötésű, rugalmas, bitumenmentes, kétkomponensű reaktív bevonatszigetelés. A folyadék-komponenst és porkomponenst alacsony fordulatszámú keverővel összekeverve minden típusú ásványi alapfelületre fel lehet szórni és kenni. A ráontott betonnal képes együtt dolgozni, a visszatapadást a lemez felületén található szilikátkristályok biztosítják (9. és 10. ábra). Felületi struktúrája és vegyi összetevői által felület-folytonosan tud összetapadni a betonnal. A rendszer további részeivel még folyanak a kísérletek, ilyen például egy megfelelő mechanikai tulajdonságokkal rendelkező hordozóréteg meghatározása. Mivel az anyag visszatapad a betonhoz, ezáltal besorolható a szerkezettel együtt dolgozó vízszigetelések közé.



9. ábra Expert Proof eco szigetelő anyag a próbakockán
Fig. 9. Expert Proof eco waterproofing layer on a concrete specimen



10. ábra Expert Proof eco szigetelő anyag elkészítése
Fig. 10. Preparation of the Expert Proof eco waterproofing layer

3.2. Tudományos környezet

A szerkezettel együtt dolgozó vízszigetelések téma jában a szakirodalom minimális. A legtöbb publikáció főként egy-egy anyaggal foglalkozik, amely annak köszönhető, hogy még kevés hasonló építési termék van a piacon és a szerkezettel történő együtt dolgozáson kívül többféleképpen is csoporthosztatók a termékek. A külföldi és magyar folyóiratok között sok különbség lelhető fel, hiszen Magyarországon ezek az anyagok – korábbi kifejlesztések ellenére – csak az elmúlt évtizedben

jelentek meg. Így átfogó mű ebben a témaban, ezekkel az anyagokkal nincs, ezért választottuk ezt kutatási témának.

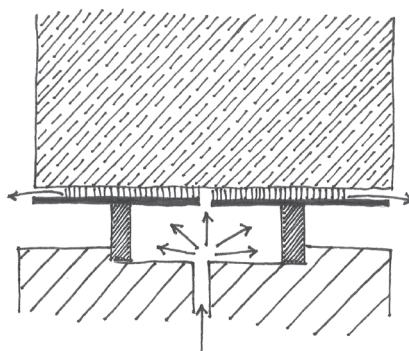
A szabványok és irányelvek nem adnak támpontot a laterális vízvándorlási ellenállás mérésére; az anyagokat hidrosztatikai nyomásra (pl. ASTM D 5385), valamint különböző mechanikai igénybevételekre (húzó- ill. szakítószilárdság, nyúlás, stb.) vizsgálják. Ezeket az értékeket tüntetik fel a teljesítmény nyilatkozatokon. Felkutattuk a témahez kapcsolódó szabványokat (pl. ASTM D 5295), de a tapadásra és a betonnal való kötésre nem találtunk használható szabványosított eljárást. Fontos még megjegyezni, hogy a Voltex bentonit paplanszigetelés a többi lemezszigetelés szabványaihoz képest sok tekintetben eltérő.

3.3. Kísérletek

Mielőtt a vízvándorlási ellenállás mérése megkezdődött, különböző, azt befolyásoló peremfeltételeket és paramétereket határoztunk meg. Legfőbb kérdésünk az volt, hogy a laterális vízvándorlási ellenállást mely tényezők befolyásolják. Lehetséges paraméterek: betonminőség, leterhelés módja, mértéke, hidrosztatikai nyomás mértéke, időtartama, stb. Továbbá kérdéses a vízvándorlás síkja, mely a betonban vagy a két anyag között jön létre. További kérdés, hogy tönkremenek-e az anyagok, és ha igen, hogyan. Lehetséges-e az anyagok szakaszos, foltszerű alkalmazása?

3.3.1. Mérés módszere

A mérést hosszas tervezés előzte meg, mert szerettük volna a vízvándorlás jelenségét befolyásoló valamennyi tényezőt mérni. A BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék laboratóriumiában rendelkezésünkre állt a beton vízzáróságának (MSZ EN 12390-8) vizsgálatához használható eszköz, melyhez adaptálni tudtuk a kísérletünket (11. ábra).



11. ábra A szabványos eszközzel végzett kísérlet vázlata
Fig. 11. Sketch of the standard test

Az eredeti szabványos vizsgálat lényege, hogy legalább 28 napos korú beton próbatestet, 75 mm átmérőjű körfelületen 72 órán keresztül 5 bar állandó víznyomáson kell vizsgálni (12. ábra). Mivel a szerkezet nyomásmérő berendezéssel és nyomásszabályozó szeleppel van ellátva, így szabadon változtatható a próbatestre ható hidrosztatikai nyomás mértéke. Ez a vizsgálat a beton anyagának vízzáróságát vizsgálja. Ha a beton felületére vízszigetelést helyezünk, az már vízhatlanságot biztosít. Viszont mi a kísérleteink során mesterségesen sérülést alakítottunk ki a szigetelés felületén és így helyeztük a próbatesteket a vízzáróságot vizsgáló berendezésbe.

A kísérletet a mind a négy visszatapadó szigetelésen elvégeztük, és kontroll anyagnak egy elasztomer üvegszövet hordozórétegű bitumenes lemezt választottunk. A bitumenes lemez a teknőszigeteléseknel alkalmazandó; ennek lángolvásztott felületén feltételeztük a vízvándorlási ellenállást.



12. ábra A vizsgálat a szabványos vízzárósági padon
Fig. 12. Standard water penetration test

3.3.2. Próbatestek

Az azonos betonminőségű próbatesteket egy betonkeverésből öntöttük ki, először C 16/20 majd C30/37 nyomószilárdsági jellel. Szigetelőanyagonként 2-2 próbatest készült. Mindkét sorozatban 4 szigeteletlen kockát öntöttünk, 2-2-t az utólag készülő bitumenes szigetelések számára, 2-2 beton kockát pedig a 28 napos nyomószilárdság vizsgálat céljából. Mivel 5 fele szigetelő anyagunk volt: Voltex, Sikaproof A, Preprufe 300 R, bitumenes lemezszigetelés és MC Expert Proof eco, és minden anyagot mind a két minőségű betonnal 2 sorozatban vizsgáltuk, emellett minden minőségből 2-2 szigetelés nélküli kockát is öntöttünk, így összesen 24 darab próbatest készült. A próbatesteket 1 nap után zsaluztuk ki. Mindegyik vízszigetelés megfelelően visszatapadt a betonhoz, így a kísérleteket az előzetesen megtervezett módon el tudtuk végezni.

3.4. A kísérletek eredménye

A visszatapadó szigetelések mindegyikéről megállapítható, hogy a Magyarországon általában előforduló, ill. azt jóval meghaladó víznyomások hatására sem lép fel a laterális vízvándorlás. A helyi sérülések kizárolag helyi nedvességehatolást okoznak, a beton vízzáróságától függően.

A betonminőség nem befolyásolja az együtdolgozás mértékét, a vízvándorlási ellenállást, illetve a víz vándorlásának helyét. A beton átnedvesedését elsősorban a betonminőség befolyásolja.

A vízbehatolás több eltérő módon jelentkezett a különböző szigeteléseknel. Egyes esetekben egyáltalán nem indult meg a víz oldalirányú mozgása (13. ábra), ahol pedig megindult, ott a betonba is mélyen behatolt a nedvesség (14. ábra). A nedvesedés különböző alakzatokban jelentkezett, melyek a próbatestek törése után szemmel láthatóak voltak. Ezeket az adatokat grafikusan dokumentáltunk [9].

A kísérletek során bizonyítást nyert, hogy a laterális vízvándorlás jelensége létezik, és a visszatapadó szigetelőanyagok ténylegesen ellenállnak a víz oldalirányú mozgásának. Így azokban az esetekben, ahol nem indult meg a víz mozgása, a

jellegábrából adódóan a betonban sem találtunk vizet az átszúrás ellenére sem. A bitumenes kontrollanyag esetében a víz be-szivárgott, majd a szigetelés és a beton között szétterült a teljes felületen. Ezáltal tapasztalhattuk, hogy mekkora kárt tud okozni a szetterülő és a betonban felszívódó víz.

A Voltex bentonitos paplanszigetelés esetében a gélesedéshez bizonyos idő eltelte szükséges, így kis mennyiségen víz került a beton és a szigetelés közé. Miután a bentonit megduzzadt, a szerkezet elérte a vízzáróság követelményét és ellenállt a víz oldalirányú mozgásának. A 15 cm élhosszúságú próbatesteken 5 bar víznyomás mellett sem történt vízvándorlás. Ez a jelen-ség felvetti, és egyben bizonyítja a lemezek foltszerű alkalmazásának lehetőségét. Az ilyen jellegű alkalmazás előnye, hogy a lemezek különböző segédszerkezetei (toldásokban, élekben, hajlatokban) helyezett részletképző elemek) is elhagyhatóak.



13. ábra A sérült szigetelésen átjutó víz képe a hasított próbatesten amikor nincs vízvándorlás

Fig. 13. Water penetration in concrete through damaged membrane – no lateral water movement



14. ábra A sérült szigetelésen átjutó víz képe a hasított próbatesten laterális vízvándorlás esetén

Fig. 14. Water penetration in concrete through damaged membrane – presence of lateral water movement

4. Eredmények alkalmazása a tervezői gyakorlatban

Kutatásunk és kísérleteink eredményei alapján érdemes a szerkezettel együtdolgozó, laterális vízvándorlási ellenállással rendelkező szigeteléseket, hagyományos lemezszigetelések és

vízzáró vasbeton szigetelés mellett önálló csoportként kezelni. Kutatásunk felveti az anyagok foltszerű alkalmazásának lehetőségét a munkahézagokban és részletek kialakításában. Ez valószínűsíti az új rétegrendek illetve részletek széles körű alkalmazásának a lehetőségét. Ahhoz, hogy megfelelő rétegrendi javaslatokat tudjunk adni, az összes variációt figyelembe kell vennünk. A mélyépítési szerkezetek és a rendszerezési lehetőségek szakirodalma jelentősen kiterjedt, így ahhoz, hogy el tudjuk helyezni a legújabb kialakítási lehetőségeket, össze kell hasonlítanunk a már gyakorlatban használt variációkkal, majd értékelnünk kell azokat.

4.1. Mélyépítési szigetelések

4.1.1. Szigetelőanyagok csoportosítása

Jelenleg a szigetelőanyagok többféleképpen csoportosíthatók: anyag, felhasználás helye, nedvesség jellege, stb. A nemzetközi gyakorlat a szigetelőanyagokat elsősorban két csoportba sorolja: vízzáró - csak annyi nedvesség hatol át, amennyi a belső felületeken, elváltozást nem okozva elpárologni képes -, és vízhatlan, azaz nem engedi át a vizet. Ezen fogalmak meghatározása nem pontos, hiszen a vízzáróság jelentősen függ a védett oldal levegőjének páratartalmától, hőmérsékletétől, légozgásától. Német területeken a szigetelés viselkedésének jellege alapján különböztetnek meg tömegszigeteléseket (WeißeWanne; pl. vízzáró betonból készült szerkezetek), hártyaszerűen viselkedő szigeteléseket (SchwarzeWanne; pl. bitumenes vagy műanyag lemezes és szort/kent rendszerek) és a kettő vegyítése, mely tömegszigetelés, azonban hártyaszerűen felhelyezhető (BrauneWanne; pl. a bentonitos lemezek) [10].

4.1.2. Vízzáró vasbeton tömegszigetelés

A beton a használati élettartama alatt akkor tekinthető tar-tósnak, ha a környezeti hatásokból származó leromlás ellenére megfelelő szerkezeti biztonsággal rendelkezik. A betonkeverékek rendeltetésük szerint akkor illeszkednek a környezeti hatásokat leíró környezeti osztályokhoz, ha összetételük megfelel az x_{max} megengedett legnagyobb víz-cement tényező, a c_{min} előírt legkisebb cementtartalom, a legkisebb $Cf_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$ előírt beton nyomószilárdsági osztály, $V_{L,max}$ megengedett legnagyobb friss-beton levegőtartalom határértéknek. A vízzáró vasbeton szerkezetek teljesítménye elsősorban két tényezőtől függ: a beton anyagának (felületi) vízzáróságától és a munkahézagoknak a vízzáróságától [11].

A felületi vízzáróság függ az adott szerkezeti vastagságtól, a méretezett vasalástól (repedéstágasság korlátozása), a beton összetételétől, illetve a megfelelő bedolgozástól és utókezeléstől. A munkahézagok és a különböző részletképzések vízzárósága függ a munkahézag profilok meglététől, azok folytonosságától, a megfelelő bedolgozástól, illetve hogy a részletek minden pontjában azonos minőségű és teljesítményű legyen a kialakítás.

A javítási lehetőségek lehetnek külső oldaliak a pinceszint kiásásával, hagyományos technológiákkal (pl.: lemezes- vagy bevonat szigetelések). A belső oldal javítása utólagos szigetelési technológiákkal lehetséges, mint például az injektálás, kristályos tömítőhabarcsok, szigetelő iszap bevonatok vagy ragasz-tott fugasztalagok [12].

4.1.2.1 Előnyök

A vízzáró vasbetonszerkezet önmagában általános esetben jól működik. Viszonylag kevés technológiai lépés, kevés élőmunka igény. A tömegbeton szigetelés a kivitelezés közbeni sérülésekre csaknem érzéketlen. A hiba, beázás helye jól lokalizálható. Maga a szerkezet homogén – ha eltekintünk az előre betervezett munkahézagok szigeteléseitől – és a vízzáróságnak köszönhetően nincs vízvándorlás.

4.1.2.2 Hátrányok

A szerkezet gyenge pontját elsősorban a munkahézagok és dilatációk jelentik. A dilatációs szalagok elhelyezése, térbeli folytonossága sokszor pontatlant. A szerkezet ezen részei a betonozás közben és után nem hozzáérhetők. Mivel a vízzáró vasbetonszerkezet nem egy önmagában megvásárolható termék, így tulajdonságait minden befolyásolja az összetevők minősége, a kivitelezés. A szerkezet csak vízzáró teljesítményigényt elégít ki.

4.1.3. Lemez-, és bevonatszigetelés teknőszigetelés esetén

A hagyományos szigetelések lehetnek műanyag lemez szigetelések, bitumenes lemez szigetelések vagy szort, illetve kent bevonat szigetelések.

A bevonat és a lemezes szigetelés önmagában a talajvíz hidrosztatikai nyomását nem képes felvenni, így a szigetelés száraz, belső oldalán ellenszerkezeteket alakítanak ki. A szigetelés így egy hártya jellegű réteg, amely teknőszerűen helyezkedik el. A szigetelés aljzata vízszintes felületeken szerelőbeton, függőleges helyzetben szigetelést tartó fal. A védelem érdekében 5-10 cm vastag védőbeton készül. Függőleges felületeken az utólag elkészített tartószerkezet és a szigetelést tartó fal közé habarcs háttámaszt képznek pl. bitumenes lemezszigetelések esetében, vagy különálló védőréteggel borítják pl. műanyaglemez szigetelések esetében.

A bevonat- és lemez szigetelések meghibásodásainak fő oka, a vékony, hártyaszerű jelleg és az a tény, hogy a szigetelés aljzata az épülettől különálló szerkezet. A szigetelést tartó fal és a szigetelést védő beton elkészítése időigényes, költséges, körülmenyes. Szomszéd épület melletti építkezés esetén, épületbővítéskor a segédszerkezetek helyigénye, a szigetelés aljzatának elkészítése problémákat okozhat. Az aljzatnak egyenletes felületűnek, szennyeződés- és pormentesnek kell lennie. Amennyiben a szigetelőanyag megsérül és nincs további gátja a beázásnak, a vízréteg a hátszerkezet és a szigetelő réteg között szétterül, így a beázás helye nem lokalizálható.

A hagyományos technológiák esetében a talajvíz ellen egy épülettől független teknőszerkezet oldja meg a szigetelést, viszont e rendszerek alkalmazása esetén a szigetelés az épületburok szerves része. A vízszigetelő hártya és az épület külön-választása súlyos logikai hiba, amely a gyakorlatban számos kérdést vet fel, például a két szerkezet elmozdulását egymáshoz képest vagy a szigetelés folytonosságának kérdését.

4.1.3.1 Előnyök

Hagyományos technológia. A kivitelezők jól ismerik. A szerkezet külön, még a tartószerkezet betonozása előtt ellenőrizhető. Vízhatlan, így porszárazsági igényt is kielégít. Rendelkezésre állnak különböző szabványok és irányelvek. A szigetelés teljesítménye nem függ más technológiától (pl. a beton tartószerkezet minőségtől).

4.1.3.2 Hátrányok

Sok technológiai lépés (aljzat, szigetelés, védőbeton, vasszerelés, betonozás stb.), különböző brigádok végzik a különböző szerkezetek elkészítését. A szigetelés egy különálló szerkezetben helyezkedik el, nem magán a védendő szerkezeteken. A rétegek elmozdulása (elsősorban a szigetelés aljzata), mechanikai sérülése kockázatot hordoz. A szigetelés pontszerű sérülése a teljes szerkezet tönkremenetelét, beázását okozza. A vízvándorlás miatt a sérülés helye nem lokalizálható, így utólagos javítása rendkívül költséges, esetenként kivitelezhetetlen.

4.1.4. Szerkezettel együtt dolgozó szigetelések

Ebben az esetben a szigetelés nem önmagában, hanem a vasbeton tartószerkezettel közösen vesz részt a nedvesség kiszorításában. Az anyagok közvetlenül szerelőbetonra fektetve vagy függőleges síkok esetében a zsaluzatban elhelyezve elkészíthetők, ez jelentősen csökkenti a szerkezet kivitelezéséhez szükséges időtartamot, helyigényt és a segédszerkezetek költségét. A betonozás során a szigetelőanyagok kötést létesítenek a beton hártszerkezettel. Mivel a szigetelés aljzatát a vasbeton tartószerkezet képzi, így a szigetelést tartó fal, illetve a védőbeton elhagyható.

4.1.4.1 Előnyök

A védendő szerkezet a szigetelés aljzata. Egyszerű, rendszerben elérhető részletképzések. Mivel nincsenek kiegészítő szerkezetek (szigetelést tartó fal, védőbeton) a kivitelezés időtartama jelentősen rövidül. Nagy ellenálló képesség a mechanikai igénybevételeknek (a vasszerelés a szigetelő anyag felületén történik).

4.1.4.2 Hátrányok

Használatukra nincsenek elterjedt szabványok, irányelvek. Nincs megfelelő mennyiségű gyakorlati tapasztalat. A szerkezetek fajlagos költsége nagyon nagy.

4.2. Rendszerezési lehetőségek

Idézzük Dr. Petró Bálintot Az épületszerkezettan és az épületek tervezése [13] című művéből: „Napjaink szerkezettervezése nem algoritmizált, csupán intuitív folyamat... Csupán algoritmusok alkalmazására felépített szerkezettervezési folyamat teszi lehetővé a funkció igényelte összes hatótényező együttes, egyidejű figyelembe vételét, mind műszaki, mind gazdaságossági vonatkozásban.” Mivel az építési gyakorlatban számos különböző követelmény, igénybevétel fordul elő, ezért ezek összehasonlítása és egymáshoz viszonyítása rendkívül sokrétű lehet. A problémákra így önmagában nem lehet egyértelmű választ adni, emiatt a felsorolt rendszereket jól bevált algoritmusok alapján vizsgálhatjuk meg:

- holistikus szemlélet (a jelenségeket, mint az egész és részei közötti kapcsolatokat, ezek kölcsönös összefüggéseit vizsgáló, átfogó szemlélet),
- morfológiai szekrény (lényege az összes lehetséges megvalósulás figyelembe vétele a munkavégzés során; minden ható tényezőt és azok peremfeltételeit felsorolja, ezeket rendszerezi és funkcionálisan vizsgálja),
- teljesítményelvű tervezés (a módszer alapja a szerkezetkialakítás műszaki tényezőinek pl. hatások, igénybevételek, követelmények, teljesítmények elemzése).

A vizsgálati módszer alkalmazását egy tényleges példán keresztül mutatjuk be.

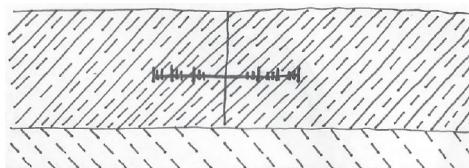
4.3. Rétegrendek

Ahhoz, hogy egy példát ki tudjunk emelni a mélyépítési szigetelések téma köréből, a különböző peremfeltételeket már a feladat elején le kellett határolnunk. A legkényesebb szerkezetek kivitelezése általában magas mértékű talajvízszint és nagy hidrosztatikai nyomás jelenléte mellett folyik. A példa bemutatásához a mélyépítés során leggyakrabban előforduló funkciót, egy mélygarázst vettünk alapul, amely magas talajvízszint mellett, hőszigetelés és porszárazsági igény nélkül készül el. Ennek a szerkezetnek kiemeltük egy köztes födém-oldalfal csatlakozását és egy általános helyen felvett lemezalap részletét.

A leggyakrabban alkalmazott, legegyszerűbb, legolcsóbb technológia a hézagos cölöpfal, amellyel a munkagödör oldalfalát megtámasztják. Az épület pincéje egy monolit vasbeton fallal határolt pillérvázas szerkezet, amelynek alapozása lemezalap. Ez egy olyan valós mintafeladat, ahol a rétegrendet, mint szigetelési alrendszert önmagában vizsgálhatjuk (pl. akusztika, energetika, speciális használati követelmények nélkül). Fontos szempont, hogy a minta épületet valamennyi mélyépítésben alkalmazott szigetelő rendszerrel meg lehessen valósítani.

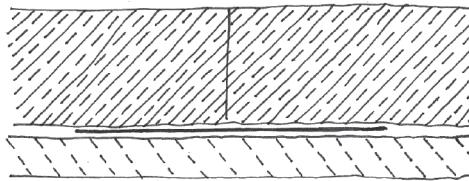
4.3.1. Munkahézag megoldása vízzáró beton esetén

A – a részletképzések, munkahézagok labirint (külső/belső), duzzadó vagy fugaszalagokkal készülnek (15. ábra). A rétegrend a tömegszigetelés elvén működik, tehát valamennyi vasbeton tartószerkezet vízzáró minőségeben épül meg (lemezalap, pincefal, közbenső födém).



15. ábra Munkahézag duzzadó vagy fugaszalagokkal
Fig. 15. Working joint with swellable waterstop profile

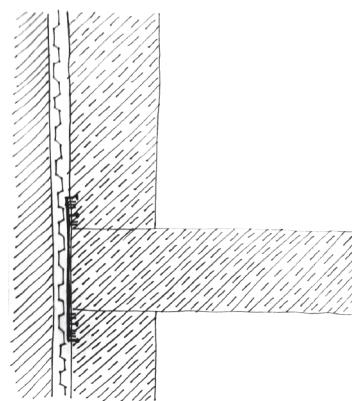
B – visszatapadó szigetelések kerülnek a szerkezetre foltszerű alkalmazásban (16. ábra). Ebben az esetben a munkahézagok védelmét nem a dilatációs szalagok, hanem a foltszerűen elhelyezett visszatapadó szigetelések oldják meg.



16. ábra Visszatapadó szigetelések foltszerű használata
Fig. 16. Application of bonded sealing in patch

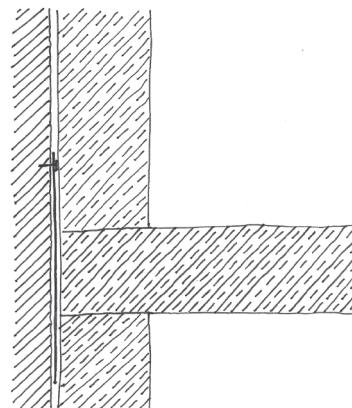
4.3.2. Vízzáró betonhoz csatlakozó nem vízzáró szerkezet

A – az áthidalás egy külső speciális labirintsalaggal történik (17. ábra). A labirintsalag akadályozza meg a födémén keresztül a nedvesség bejutását a védett térbe. Nincs szükség plusz hátszerkezetek kialakítására.



17. ábra Labirintsalagos áthidalás
17. ábra Bridging with labyrinth profile

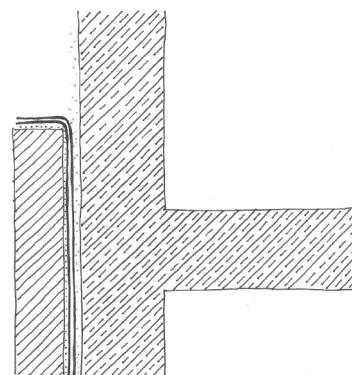
B – foltszerűen alkalmazott visszatapadó szigetelés (18. ábra). A foltszerűen elhelyezett szerkezettel együtt dolgozó szigetelés hatására a födémnél elhagyható a vízzáró kialakítás, amely költségsökkenést eredményez. A cölöpfal a munkaterület lehatárolása mellett a szigetelés ideiglenes felfektetésére szolgál.



18. ábra Visszatapadó szigetelések foltszerű használata vízzáró
és nem vízzáró beton határán
18. ábra Patch application of bonded sealing at the boundary of watertight
and non-watertight concrete

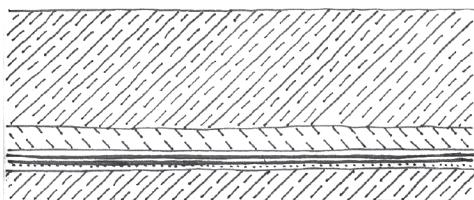
4.3.3. Nem vízzáró beton és szigetelés kapcsolata

A/1 – Hagyományos fal csatlakozás (19. ábra). A lemez a szigetelést tartó falra fekszik, a tartószerkezet és a szigetelés közé habarcskitöltést helyeznek.



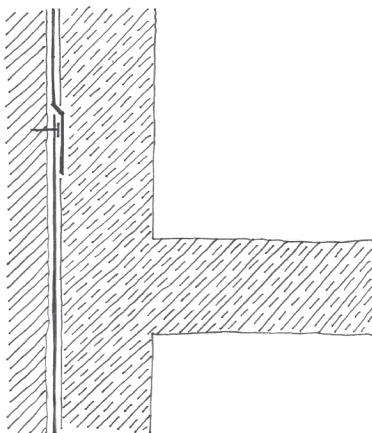
19. ábra Szigetelést tartó fal alkalmazása
19. ábra Application of membrane supporting wall

A/2- Hagyományos vízszintes csatlakozás (20. ábra). A szigetelést felhordják az aljzatbetonra, majd erre kerül egy védőbeton réteg. A vasszerelési munkálatok csak a védőbeton megszilárdulása után kezdődhetnek el.



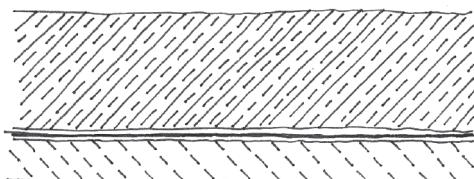
20. ábra Hagyományos vízszintes csatlakozás
Fig. 20. Conventional horizontal splicing

B/1 – Függőleges falcsatlakozás visszatapadó szigeteléssel (21. ábra). A visszatapadó szigetelések lehetővé teszik a szigetelést tartó fal elhagyását, a cölöpfal a munkaterület lehatárolása mellett csak a lemez ideiglenes felfektetésére szolgál a betonozás előtt.



21. ábra Függőleges csatlakozás visszatapadó szigeteléssel
Fig. 21. Vertical splicing of bonded sealing

B/2– Vízszintes lemezalap-csatlakozás visszatapadó szigeteléssel (22. ábra). A szigetelést védő beton elhagyható, a vasszerelési munkálatok elvégezhetőek a lemez felületén is. Az aljzatbeton a szigetelés fektetése miatt szükséges.



22. ábra Vízszintes alaplemez visszatapadó szigeteléssel
Fig. 22. Horizontal foundation floor with bonded sealing

5. Értékelemzés

Az alkalmazott értékelemzés [13] a technikai megoldások és költségtényezők együttes figyelembevételével – a funkció igényeinek megfelelő – optimális szerkezeti megoldásokat szolgáltatja. A módszer [13] kidolgozása több mint húsz éve történt, így a szempontrendszer már sok helyen elavultnak mondható. A használói, gazdasági, műszaki és kivitelezési követelmények

nem választhatók el élesen, minden paraméter hatással van egy másikra. Így a szempontokhoz csak egy skálán való értékelést vezetünk be. minden szemponthoz súlyozási szám kerül, melyet a változó igényekre a tervező szabhat meg, ezáltal is segítve a legjobb megoldás megkeresését egy adott problémára, kérdezésre.

5.1. Az elemzés szempontjai

- Érték
- Költségteljesítés
- Fajlagos bekerülési költség
- Felújítás – karbantartás
- Egyszerű kivitelezhetőség
- Meghibásodás gyors lokalizálása
- Időállóság – tartósság
- Szakmák/szakipar együtt dolgozása
- Munkaközö ellenőrzés lehetősége
- Kivitelezés időtartama
- Egyszerűség, kevés élőmunka igény
- Szerkezet anyagainak vizsgálhatósága
 - beépíthetőség
 - anyagcseré, szabatosság
- Szigetelés aljzata
 - Függetlenség
 - Anyagigény
- Felhasznált anyagigény
 - Mennyiség
 - Rétegszám
 - Segédanyagok száma
- Porszárazsági igény
- Egyéb talajban található szennyezőanyagokkal szembeni ellenállás
- Mechanikai együtt dolgozás
- Vízelvezetés, vízvándorlás
- Hiba esélye, valószínűség
- Kockázati elemek
 - Száma
 - Súlya
- Időjárás függőség

6. Összegzés

Kutatásaink eredménye, hogy a vizsgált anyagok sok szempontból eltérők és csak egyes kiragadott tulajdonságaik alapján sorolhatók csoportokba. A hatásokból generált igénybevételek és a funkcióból adódó követelmények felsorolása, számbavétele a tervezés legalapvetőbb folyamata. Az ebből kialakított összehasonlítási szempontok súlyozása a tervezői döntés-előkészítésnek az egyik legfontosabb lépése. A súlyszámok feldatfüggők, így akár egy-egy tulajdonság meglété is meghatározhatja a szerkezetválasztást. A kiemelt paraméterek mellett mégis lényegesek az apróbb, a későbbieken esetleg jelentős problémává váló szempontok is.

Tanulmányunk azt emeli ki, hogy a piacra jelen lévő termékek, rendszerek kategorizálása szélmalomharc, mivel a technológiai fejlődés jelentősen felgyorsult és eltérő felépítésű anyagok mutatnak hasonló tulajdonságokat. A tervezési algoritmust a probléma és a megoldás fogalmai köré kell szervez-

ni. Kutatásunk a 2013-ban bevezetett Építési Termék Rendelt CPR rendszer alkalmazásához illusztrál egy döntés-előkészítési és értékelési módszert. A súlyszámok feladatfüggők, minden egyes esetben bármelyik felsorolt tényező lehet a legfontosabb egy adott problémára. A témafelvetés, mint jelenség azért fontos, mert bizonyos anyagoknak, amelyek nem esnek egy kategóriába, mégis összehasonlíthatók valamelyen tulajdonság alapján, amely adott esetben lehet annyira fontos, hogy felülírja a jelenlegi rendszert.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk kifejezni legnagyobb hálánkat és elismerésünket mindenazonknak, akik lehetővé tették kutatásaink létrejöttét. Megköszönjük név szerint az összes gyártó vagy forgalmazó cég képviselőinek, akik választottak megkeresésünkre és a tőlük kapott anyagokon kívül tapasztalataikkal, tudásukkal valamint kérdéseikkel előrevitték kísérletünket. Ezúton köszönjük Keszler Andrásnak, Szabó-Turák Dávidnak, Víg Csabának (Bau-haus Kft. – Voltex), Baksy Lászlónak, Bors Lászlónak, Pethő Csabának (MC-Bauchemie – Expert Proof eco), Piri Antalnak, Vajnáné Zonda Júliának (Isoprof – Grace Preprufe), Mihályi Istvánnak, Tóth Lászlónak (Sika – Sikaproof A) és Máriáss Lászlónak (Icopal-Villas - Elastovill SBS mod. bitumenes lemez).

Felhasznált irodalom

- [1] Reisch, R. (2014): Fokozott biztonságú megoldások a mélyépítési szigetelésekben, Építész Szakmai Napok -2014. szeptember 18.
- [2] Fülop, Zs. (2007): Épületszerkezetek teljesítmény elvű holisztkus szemléletű tervezése, Ph.D. értekezés, BME Építésmérnöki Kar, Budapest, 2007
- [3] GraceConstruction Products: Termékkatalógus, 2011.04.11.

- [4] <http://www.remodeling.hw.net/products/foundations-framing/concrete-seal-wr-grace-preprufe-plus>
- [5] Berecz, A. (2012): Építményeink védelme 2012 konferencia, Sika Hungária Kft., Ráckeve, 2012.03.27-28.
- [6] http://www.bft-international.com/imgs/40178794_c00e02de3c.jpg
- [7] Bau-Haus: Voltex vízzáró membrán szigetelés- termékkatalógus
- [8] <http://epitesimegoldasok.hu/index.php?id=ongyogyulo-vizszigeteles-melyepitesi-feladatokra>
- [9] Andriska, F. – Heincz, D. – Kovács K. (2014): Szerkezettel együtt dolgozó vízszigetelések laterális vízvándorlási ellenállása BME Tudományos Diákköri dolgozat, Budapest, 2014
- [10] Horváth, S. – Vladár, P. (2008): Talajnedvesség és talajvíz elleni szigetelések tervezési és kivitelezési irányelv, Épületszigetelők Tetőfedők és Bádogosok Magyarországi Szövetsége, 1. kiadás
- [11] Balázs, L. Gy. – Kausay, T.: Vízzáró beton és vizsgálata, 2007 december
- [12] Reisch, R. (2011): Vízzáró beton szerkezetek hibái és azok elhárítása, II. Épületszerkezeti Konferencia, 2011.11.22.
- [13] Petrő, B. (1991): Az épületszerkezettan és az épületszerkezetek tervezés, ÉTK Budapest, 1991

Hivatkozott szabványok és irányelvök

- ASTM D 5385 – Standard Test Method for Hydrostatic Pressure Resistance of Waterproofing Membranes
 ASTM D 5295 – Standard Guide for Preparation of Concrete Surfaces for Adhered (Bonded) Membrane Waterproofing Systems
 MSZ EN 12390 8:2001 A megszilárdult beton vizsgálata. 8. rész: A víz nyomás alatti behatolás mélysége

Ref.:

Andriska, Fanni – Heincz, Dániel – Kovács, Károly – Dobszay, Gergely – Nemes, Rita: Mélyépítési szigetelések értékelése
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 2 (2015), 48–56. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jbcm.2015.8>



**International Council
for Research and Innovation
in Building and Construction**



CIB is the acronym of the abbreviated French (former) name: "Conseil International du Bâtiment" (in English this is: International Council for Building). In the course of 1998, the abbreviation has been kept but the full name changed into:

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION

CIB was established in 1953 as an Association whose objectives were to stimulate and facilitate international cooperation and information exchange between governmental research institutes in the building and construction sector, with an emphasis on those institutes engaged in technical fields of research.

CIB has since developed into a world wide network of over 5000 experts from about 500 member organisations with a research, university, industry or government background, who collectively are active in all aspects of research and innovation for building and construction.

www.cibworld.nl



MISSIONS AND OBJECTIVES

Promoting Architecture in Europe

To enhance the appreciation of Architecture as a matter of public interest and as an essential element in the creation of quality in the built environment so that it becomes a matter of primary concern for European citizens.

Advancing Architectural Quality in the Built Environment

To encourage, develop and promote quality in architecture, as a driver for prosperity and greater well being for all, as well as a supporting element of social cohesion.

Supporting Sustainable Development of the Built Environment

To foster the use of sustainable principles in architectural design and planning, encouraging the adoption of holistic approaches to the complex issues and interactions that characterise the built environment, thereby ensuring a valuable and balanced legacy for the future.

Ensuring High Standards of Qualification for Architects

To promote and maintain the highest standards of architectural education and training consistent with the Professional Qualifications Directive and consumer interest, in order to ensure the highest levels of lifelong skill and competence within the profession.

Advocating Quality in Architectural Practice

To give guidance to architects on how to provide high quality architectural services to clients whilst working to ensure that the regulatory environment for architectural practice facilitates the achievement of this aim. To affirm the role of the architect in the project team as an expert in the responsible development of integrated approaches to design and construction.

Fostering Cross-Border Cooperation and Facilitating European Practice

To support the free movement of architects and architectural services throughout the European Union in the context of relevant EU Directives and Policies.

Acting as the Single Voice for Architects in Europe

To stimulate effective cooperation between the Member Organisations of the ACE within the context and spirit of the European Treaty, thus giving the profession a single voice in EU affairs while respecting its rich diversity and cultural identity.

www.ace-cae.eu



Effect of saturation degree of recycled aggregates on concrete properties

ABDULKADER EL MIR ▪ Ph.D. student, BME Department of Construction Materials and Technologies

▪ abdelkader.elmir@hotmail.com

GÁSPÁR BALCZÓ ▪ BSc student, BME Department of Construction Materials and Technologies

▪ balczog@gmail.com

SALEM GEORGES NEHME ▪ Associate professor, head of laboratory, BME Department of Construction Materials and Technologies ▪ sgnehme@yahoo.com

Érkezett: 2015. 04. 10. ▪ Received: 10. 04. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.9>

Abstract

Concrete imposes a significant effect on the environment due to the production of its components. Hence the direction today is targeted towards construction demolition waste and the methodology of enhancing the quality and quantity of recycled aggregates. This paper evaluates the implementation of crushed brick as coarse and fine aggregate for the replacement of natural aggregate in two separate water absorption conditions (7% air-dry and fully moist aggregates). The waste of crushed bricks was sieved and re-mixed in order to obtain the required gradation fractions (0-4; 4-8; 8-16; 16-32 mm). In different percentages, natural coarse and fine aggregates were substituted by crushed bricks aggregates (0, 55 and 75%). Laboratory tests were performed at the BME, Department of Construction Materials and Technologies. Aim of the study is to examine some concrete properties (compressive strength, surface hardness and watertightness) for both natural and recycled aggregates implementation. Results indicate a maximum reduction in compressive strength for fully saturated cases, higher reliability in case of 7% saturation for rebound values and a higher level of water penetration for maximum recycled aggregate application for fully saturated cases.

Keywords: concrete, compressive strength, recycled aggregate, degree of saturation, surface hardness.

1. Introduction

Nowadays the evolution of the construction industry demands higher amount of raw materials and results more demolition waste. According to *Eurostat*, the construction demolition waste produced in Europe is estimated to be app. 970 million tons/year (Sonigo et al, 2010). Hence, the building demolition market is increasing gradually to meet mainly economic requirements. Waste contamination and density is the starting point of the estimation of cost for waste operators. For instance, the delivered price to the waste operators for clean aggregate starts from 5.5 euro/ton up to 129 euro/ton for contaminated aggregate based on bulk loose densities of 200 kg/m³. Thus, the cost stimulates more the recycling industry and challenges more the deconstruction techniques (Lourenço, 2007). Concrete is the most common material used in construction industry, but it is not considered environmentally friendly due to the use of naturally produced aggregates and high volume of primary energy by producing of cement as binder material. Since aggregates cover almost 75 V% of concrete constituents (Pekár, 2013a; 2013b; 2013c), the focus today is to standardize and provide reliable recommendations for the application of recycled aggregates (RA). Also, limitations and reliability of crushed bricks must be considered in terms of impurities, water absorption and other properties (Nemes, Török, 2014; Nemes, 2015). An investigation regarding physical and mechanical properties of concrete made with and without RA and natural aggregate (NA) is the target of this paper. Compressive strength, surface hardness and watertightness were studied during the experiments.

2. Experimental procedure

2.1. Materials

Danube aggregates, crushed bricks aggregates, natural sand, slag cement, tap water and polycarboxylate-based high range water reducing admixtures were applied as raw materials to produce concrete mixtures. Local natural sand and recycled bricks powder is used as fine aggregates with a fraction between (0-4 mm). A fixed proportion of particle size distribution is divided as 45% (0-4 mm), 12% (4-8 mm), 30% (8-16 mm), and 13% (16-32 mm) by weight, respectively. Crushed bricks were used as coarse aggregates with a maximum particle size of $D_{max} = 32$ mm. Regarding physical properties, specific gravity of NA and RA are 2.65 and 1.95 g/cm³, respectively.

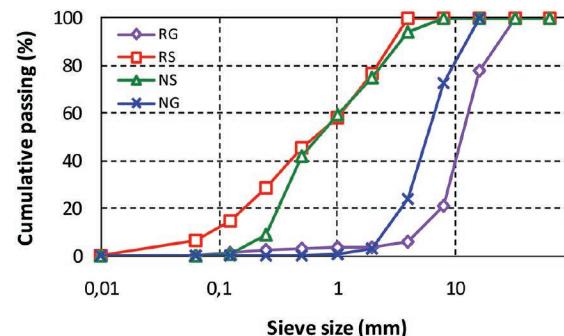


Fig. 1. Grading of natural and recycled aggregates.

1. ábra Természetes és újrahasznosított adalékanyagok szemeloszlása.

Abdulkader El MIR

Civil engineer (MSc, University of Balamand), PhD candidate at Department of Construction Materials and Technologies. Main fields of interest: Concrete technology, Self-compacting concrete, durability properties, non-destructive testing, recycling of building materials

Gáspár BALCZÓ

Civil engineer (BSc) student at Department of Construction Materials and Technologies (BME). Main fields of interest: Physical properties and production technologies of recycled concrete, self-compacting concrete.

Salem G. NEHME

Assoc. Prof., BME, Department of Construction Materials and Technologies. MSc Civil Engineer, PhD, Associate Professor at the Department of Construction Materials and Technologies, 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.

Lafarge CEM III/B 32,5 N – LH/SR was used in the concrete mixtures. It has a special characteristic of low heat of hydration and sulphate resistance. New generation high range water reducing admixture (Sika ViscoCrete) was applied. It is an aqueous solution of modified polycarboxylates. In this study, a total of ten concrete mixtures were prepared with various conditions. Grading curves are represented by *Fig. 1* and the water-to-cement ratio was constant ($w/c = 0.5$). For the aggregate types the following nomenclature is used: natural gravel (NG), recycled gravel (RG), natural sand (NS), recycled sand (RS). The aggregate content and saturation degree were variable parameters. For more details, mixture proportions are shown in *Table 1*.

Mix	NG (%)	RG (%)	NS (%)	RS (%)	Agg. volume (l/m ³)
C1A*	0	100	100	0	72.2
C2A*	0	100	100	0	68.2
C3A*	0	100	55.55	44.44	72.2
C4A*	0	100	55.55	44.44	68.2
C1B**	0	100	100	0	72.2
C2B**	0	100	100	0	68.2
C3B**	0	100	55.55	44.44	72.2
C4B**	0	100	55.55	44.44	68.2
C1	100	0	100	0	72.2
C2	100	0	100	0	68.2

*: 7% water saturation

**: 100% water saturation

Table 1. Concrete mixture composition
1. táblázat. Betonösszetételek

2.2. Testing procedure

Several techniques of evaluation were executed in order to understand the behavior of the material properties. Nondestructive tests assessment in which N-type Schmidt rebound hammer was applied to record the rebound value. The rebound hammer test was carried out in horizontal direction on 11 different points located at the tested area while surfaces perpendicular to the direction of the test were fixed from both sides. It was directly followed by the compressive strength test using Form-Test Alpha 3000 universal testing machine with a load capacity of 3000 kN. The rate of loading was fixed to 11.25 kN/s. According to referred protocol (EN 12504-2), specimens corresponding to 150 mm size cubes were evaluated at the ages 7 and 28 days. Watertightness test was performed based on EN 12390-8 standard. At 28 days, 150 mm size cubes were tested under water pressure (5 bar) for 72 hours. After the test, specimens were split in half and the maximum depth of water penetration was recorded to the nearest mm.

2.3. Fresh concrete properties

In overall, almost all the tested mixes show an efficient workability, no segregation or bleeding were noticed while performing the slump test. The slump of the fresh concrete was measured according to EN 12350-2 standard. Based on the results recorded in *Fig. 2*, a variety of 52-59 cm slump values are obtained where it has been planned earlier to keep

a range of (50-60 cm). However, regarding C2B mixture which is considered fully saturated, a peak of 70 cm slump was observed. Concrete mixtures where RA was applied, a moderate reduction in weight of 11% was found for the fresh wet density with respect to the NA concrete mixtures. For more observation, *Fig. 2* illustrates all the cases.

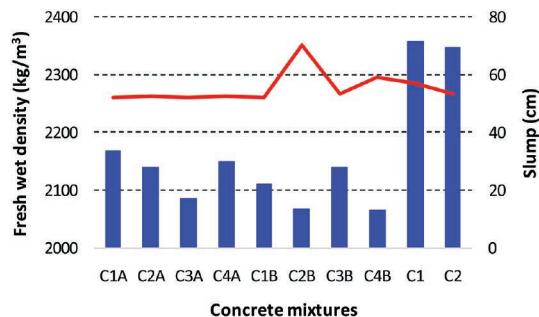


Fig. 2. Fresh wet density and slump measurements for different mixtures
2. ábra. Frissbeton testsűrűség és roskadás eredmények

2.4. Hardened state

2.4.1. Compressive strength

The compressive strength values with respect to recycled aggregate content of all concrete mixtures are presented in *Fig. 3*. Obviously, the higher the amount of recycled aggregate used, the lower the compressive strength of concrete.

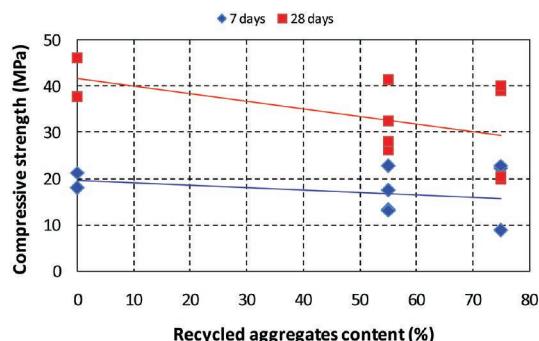


Fig. 3. Concrete compressive strength variation with recycled aggregate substitution
3. ábra. Ujrahasznosított adalékanyaggal készített betonok nyomószilárdsága

At the age of 7 days, concrete mixtures with RA exhibit an average decrease of 22% in compressive strength with respect to normal concrete mixtures. On the other hand, an average decrease of 35% in compressive strength is corresponding to the age of 28 days. In order to understand the behavior for each case, partially and fully saturated cases were separated as shown in *Fig. 4*. At the age of 7 days, fully saturated mixtures indicate a significant descending branch to reach 122% drop in compressive strength at the maximum rate of RA substitution. However, in case of 7% degree of saturation, a slight increase of 14.2% in compressive strength is reached at maximum rate of RA substitution. The explanation of the latter behavior is mainly related to hydration and effect of the water content to the curing process and water-to-cement ratio. Yet, due to the excess amount of water in fully saturated case, the bond between the recycled aggregate and cement matrix is weakened, creating a high local w/c in the vicinity of the particles (Poon et al, 2004). At the age

of 28 days, fully saturated mixtures show a noticeable variation in strength, reaching 107% drop in compressive strength at the maximum rate of RA substitution. In case of 7% degree of saturation, insignificant decrease of 13% in compressive strength is reached at maximum rate of RA substitution. To justify the behavior of 7% partially saturated condition, the cement content from mortar residue of crushed bricks already applied as sand material played an important role in increasing the cement content. The absorption of RA enhances the decrease in the water-to-cement ratios yet obtaining a relatively high strength with high amount of RA substitution.

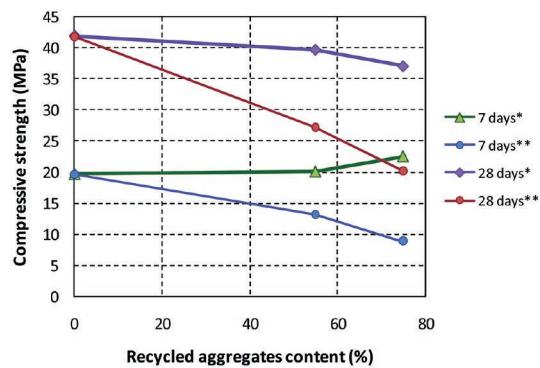


Fig. 4 Concrete compressive strength variation with recycled aggregate substitution for separate saturation conditions

4. ábra Beton nyomásilárdás változása az újrahasznosított adalékanyag mennyiségeknek és telítettségének függvényében

*: 7% water saturation

**: 100% water saturation

2.4.2. Surface hardness

Many factors directly affect the rebound hardness such as mixtures components (aggregate type and content, cement type), or the member characteristics (density, surface texture, age, mass and others). In this study mainly the aggregate type and condition is taken into consideration (Bungey, 1982; Szilágyi, Borosnyói, 2009; Szilágyi et al, 2011). Fig. 5 shows that 7% saturated mixtures are more reliable toward the linear function by Hobbs and Kebir (proposed for NA concretes with w/c = 0.5 and 350 kg/m³ CEM 42.5 N cement content) with respect to fully saturated cases (Hobbs, Kebir, 2006). This is due to water reduction in concrete mix that results an improvement of the resistance of concrete surface.

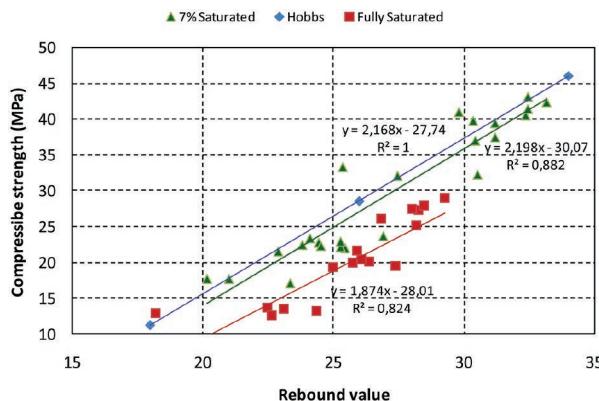


Fig. 5. Rebound value vs. compressive strength of all concrete mixtures
5. ábra Schmidt kalapácsos visszapattanási értékek és nyomásilárság összefüggések

2.4.3. Water penetration under pressure

Compared to those of the control mixture C1 and C2, depth of water penetration under pressure of RA mixtures increased with increasing replacement level of RA up to 136% in average. This effect is due to the higher porosity of the RA than that of the NA (Pankhardt, 2001; Pankhardt, Nehme, 2002; Jani et al 2010). However, in the comparison between fully saturated and 7% saturated concrete mixtures, the latter perform a higher average penetration depth by 108%. For more information, Fig. 6 illustrates average penetration depth of each case separately.

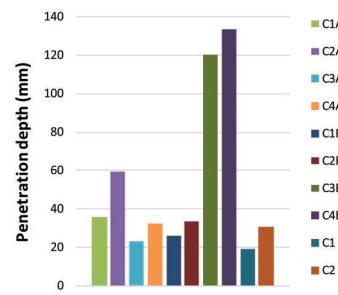


Fig. 6. Penetration of water under pressure for all concrete mixtures
6. ábra Nyomás alatti vízbehatolás mértéke a vizsgált betonokon

3. Conclusions

Based on the present investigation concerning the effect of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete mixtures in different levels of saturation, the following conclusions can be drawn:

- In comparison with natural aggregates, recycled brick aggregates hold a lower bulk density value and a higher water absorption.
- Fresh wet densities of crushed bricks concretes show lower value of an average of 11 % with respect to natural aggregate concrete.
- Compressive strength of crushed bricks concretes in case of fully saturated aggregates exhibits a noticeable decrease of 107% with respect to natural aggregate mixtures at 28 days.
- Relationship between compressive strength and rebound value for both fully saturated and 7% saturated aggregates was found to be linear in the tested range.
- Watertightness test confirms that higher penetration depth occurs due to the higher porosity, mainly in fully saturated case.

References

- Bungey, T. H. (1982): Testing of Concrete Structures, Surrey University Press.
EN 12350-2. Testing fresh concrete – part 2: Slump-test.
EN 12390-8. Testing hardened concrete – depth of penetration of water under pressure.
EN 12504-2. Testing concrete in structures. Non-destructive testing. Determination of rebound number.
Hobbs, B. – Kebir, M. T. (2006): Non-destructive testing techniques for the forensic engineering investigation of reinforced concrete buildings, *Forensic Science International*, Vol. 167, No. 2-3, pp. 167-172.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.06.065>
Jani, S. G. – Serestyén, T. – Pankhardt, K. – Kovács, J. (2010): Újrahasznosított adalékanyagú betonok In: Pokorádi L. (ed.) *MTEKMR 2010 Conference*, Nyíregyháza, Hungary, 2010.05.19, 2010. pp. 325-332.

- Lourenço, C. (2007): Optimizing demolition systems, deconstruction, *MSc Thesis*, Lisbon, Portugal, Instituto Superior Técnico. (in Portuguese)
- Nemes, R. (2015): Könnyűbetonok fagyasztásvizsgálatainak érdekkességei, Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67. No. 1, pp. 24-27. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.5>
- Nemes, R. – Török, B. (2014): Betonacél tapadása különböző könnyű adalékanyagok alkalmazására esetén, Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 66. No. 1, pp. 7-12. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.2>
- Pankhardt, K. (2001): Recycling of concrete, In: Végh L. (ed.) *Environmentally Compatible Structures. Conference*: Prague, Czech Republic, 2001.05.24 -2001.05.25. pp. 35-41.
- Pankhardt, K. – Nehme, S. G. (2002): Strength and deformation of recycled concrete. In: *Proceedings of fib Congress Osaka*, pp. 59-68.
- Pekár, G. (2013a): Simple basic model for concrete and its application. 1. Content indicators of concrete mixtures and mixing plant observations, Építőanyag, Vol. 65. No. 2, pp. 52-60. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.12>
- Pekár, G. (2013b): Simple basic model for concrete and its application. 2. Factors that influence compressive strength and drying shrinkage, Építőanyag, Vol. 65. No. 3, pp. 76-84. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.15>
- Pekár, G. (2013c): Simple basic model for concrete and its application. 3. Factors affecting consistency, material balance equations and mix design, Építőanyag, Vol. 65. No. 4, pp. 118-126. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.22>
- Poon, C. S. – Shui, Z. H. – Lam, L. – Fok, H. – Kou, S. C. (2004): Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 1, pp. 31-36. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00186-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00186-8)
- Sonigo, P. – Hestin, M. – Mimid, S. (2010): Management of Construction and Demolition Waste in Europe, Brussels, *Stakeholders Workshop*.
- Szilágyi, K. – Borosnyói, A. (2009): 50 years of experience with the Schmidt rebound hammer, *Concrete Structures*, Vol. 10, pp. 46-56.

Szilágyi, K. – Borosnyói, A. – Zsigovics, I. (2011): Rebound surface hardness of concrete: Introduction of an empirical constitutive model, *Construction and Building Materials*, Vol. 25, No. 5, pp. 2480-2487. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.070>

Ref.:

El Mir, Abdulkader – Balczó, Gáspár – Nehme, Salem Georges: Effect of saturation degree of recycled aggregates on concrete properties
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 2 (2015), 58–61. p. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.9>

Újrahasznosított adalékanyagok telítettségi fokának hatása a betontulajdonságokra

A cikkben a szerzők azt vizsgálják, hogy milyen hatást gyakorol az újrahasznosított, tört téglá adalékanyag a betonok jellemzőire, illetve, hogy az újrahasznosított adalékanyag víztartalma hogyan befolyásolja az alkalmazhatóságot. Két eltérő víztartalmi állapotot tanulmányoznak: a légszáraz állapotot (amely 7 m% víztartalmat jelent), illetve a víztelített állapotot. Az újrahasznosított adalékanyag szítlással szűk frakciókban került adagolásra: 0/4 mm, 4/8 mm, 8/16 mm és 16/32 mm frakciók készültek. A természetes finom és durva adalékanyag 55 és 75 V%-át helyettesítették újrahasznosított adalékanyaggal. Vizsgált betontulajdonságok: nyomószilárdság, felületi keménység, vízzáróság. A vizsgálatok eredményei szerint a legnagyobb szilárdságcsökkenést a víztelített adalékanyag alkalmazása eredményezi. A Schmidt-kalapácos visszapattanási érték és a nyomószilárdság között lineáris összefüggés kapható a vizsgált tartományokban. Az újrahasznosított adalékanyag nagyobb porozitása miatt a nyomás alatti vízbehatolás mértéke nő, a vízzáróság ezzel romlik. Kulcsszavak: beton, nyomószilárdság, újrahasznosított adalékanyag, telítettségi fok, felületi keménység.



International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)

September 15 - 17, 2015, Berlin, Germany

www.ndt-ce2015.net



The International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering returns to Berlin. It brings together experts from all areas in this fast developing area of research and application. Researchers, manufacturers, service providers, owners of structures and those active in training, validation and standardization are welcome to share latest research and developments.

The symposium provides an open space for exchange of ideas, new developments, testing needs from owners, asset management and from research.

Sessions Topics

- High speed deflection devices used for pavement evaluation
- Nonlinear Ultrasonics
- NDT of concrete properties, On site concrete evaluation
- Nuclear Structures
- Chemical Analysis and LIBS
- Corrosion
- Tendons and Defects in Prestressed Elements
- Moisture
- Foundations, Pile Testing
- Ultrasonics
- Ground Penetrating Radar
- Data Analysis: Coda Wave Interferometry, Data Fusion, Reverse Time Migration
- Bridge Inspection on novel and non-traffic-invasive inspection of bridge decks
- Impact Echo and related Methods
- Regulation, Training, Guidelines
- Validation
- Thermography
- Structural Monitoring for Condition Assessment of Existing and New Structures
- Modelling, Simulation, Inverse Solutions
- Automation, Robotic Inspection
- Teaching in NDT in Civil Engineering

Laboratory experiments of point fixed glasses

MÁTÉ RÉNES ▪ BSc student, BME Department of Construction Materials and Technologies

▪ renesmate@gmail.com

ANDRÁS JAKAB ▪ Ph.D. student, BME Department of Construction Materials and Technologies

▪ jakab.andras@epito.bme.hu

KINGA NEHME ▪ associate professor, University of Debrecen, Department of Civil Engineering

▪ kpankhardt@yahoo.com

SALEM GEORGES NEHME ▪ associate professor, head of laboratory, BME Department of Construction Materials and Technologies ▪ sgnehme@yahoo.com

Érkezett: 2015. 03. 03. ▪ Received: 03. 03. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.10>

Abstract

The appearing of modern point fixed glass façade system was a big step in the development of the façade planning industry. However the application of steel surfaces has been constantly reducing in the last decades. Nowadays the façades consist of fast glass material including a small part of steel material. Safety is a primary requirement in every building material especially for glass materials. Laboratory experiments were carried out in the BME, Department of Construction Materials and Technologies to analyse the behaviour of point fixed glasses with pull-out test under quasi-static load. Strain, applied force and vertical displacement of the specimens were recorded. Single and laminated glasses were analysed with two different lengths. Based on the laboratory results, the authors recommend the most appropriate glass type for the point fixed glass façades.

Keywords: glass, point fixing, pull-out test, glass façade

1. Glass façades

Glass is considered not only a household material but it is also applied in façades or in load bearing elements like columns, floors or even bridges. The application of this material started to be more popular in design, however, there is no Hungarian standards for design. Only examples, technical directives and unofficial methods are available. Engineers have to take into account the specific properties of glass during the design [1,2].

This article focuses on the glass façades, especially on the mechanical connection between the glass and point fix connectors. The point fixed glass behaviour was studied under quasi-static load which characterises the wind pressure. Authors aim to develop an accurate and safe calculation method for the point fixed glass façade structures.

2. Experimental procedure

Laboratory experiments were carried out on point fixed glasses at the BME Department of Construction Materials and Technologies. Glass types and sizes are introduced in *Table 1*. Point fix connector was pulled out from the glass hence in the middle of the glass was located a bore hole with 20 mm diameter. The load bearing capacity (displacements, strain, loading force) was recorded during the loading. Strain gauges were applied near to the bore hole on the tensile side of the specimen in two different directions which were perpendicular to each other.

The test parameters of glass specimens were the followings:

- Constant parameters
 - Rate of loading: 0.5 mm/min
 - Width of the glasses 360 mm
 - Point fix connector: R50SSS
 - Interlayer material: EVA, 0.38 mm
 - Test arrangement.

Máté RÉNES

BSc student at the BME, Field of interests: point fixed glasses, self-compacting concrete.

András JAKAB

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.

Kinga NEHME

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 G. NEHME

MSc Civil Engineer, PhD, Associate Professor at the Department of Construction Materials and Technologies, 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.

▪ Variable parameters

- Type of the glasses: Float, TVG (heat strengthened), ESG (tempered)
- Nominal thickness: single layer: 6 mm, 12 mm, laminated: 2×6 mm
- Length of the glasses: 460 mm, 860 mm.

	Float	TVG	ESG
360×460	6	2	3
	12	2	-
	6.6	1	2
360×860	6	-	2
	12	1	-
	6.6	2	4

Table 1 Amount and type of the glass specimens
1. táblázat Üveg próbatestek tulajdonságai

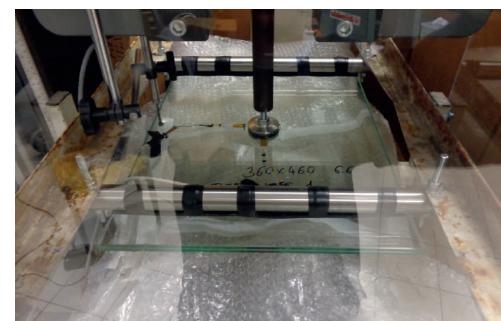


Fig. 1 Experimental test set-up
1. ábra Kísérleti elrendezés

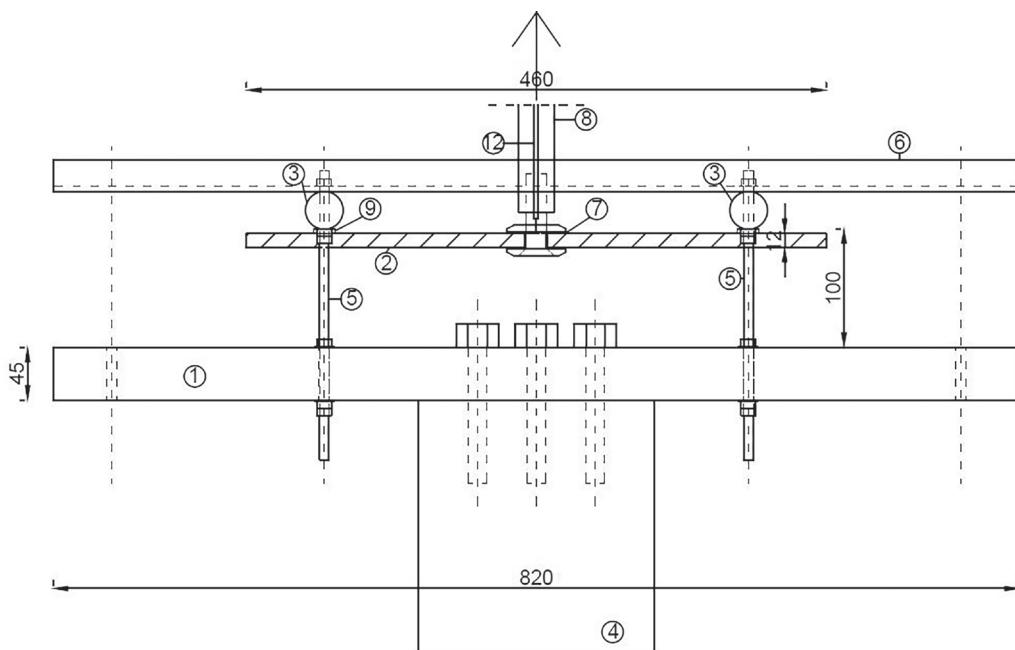


Fig. 2. Experimental test set-up. 1- Steel plate; 2- Glass specimen; 3- Steel cylinder supports; 4- Instron bottom cross-head, 5- Threaded rod; 6- Angle steelbar; 7. Point fix connector; 8- Threaded cylinder steel, 9- Rubber, 12- Displacement transducer
2. ábra Kisérlet elrendezés: 1- Acéllemez; 2- Üveglap; 3- Acélhenger megtámasztás; 4- Instron alsó keresztfjej, 5- Menetes szár; 6- Szögacél; 7- Pontmegfogó szerelvény; 8- Menetes acélhenger, 9- Gumi, 12- Utád

2.1. The experimental test set-up

The specimens were loaded with the use of Instron 5989 universal testing machine until fracture. In case of laminated glasses, the loading was sustained after the first fracture until the fracture of the second layer. The loading force and the displacement of the bore hole / point fix connector were recorded by Bluehill software. Vertical displacement transducer is shown in the right side of Fig. 1 which measured the edge deflections. It is located 10 mm offset from the edge of the specimen.

Fig. 1 and Fig. 2 show the experimental test set-up. Obviously the test set-up is a simply supported structure. A 5 cm thick steel plate was screwed to the bottom cross-head which had enough bending resistance. The cylinder steel supports were fixed to the steel plate in which they were adjustable into two different distances (360 and 720 mm). The point fix connector was fixed into a stiff steel plate which was pulled by the Instron upper cross-head. The bore hole was positioned in the middle of the specimens. Hardness of Shore A 80 rubber was used for damping between the glass and steel. Beside this test set-up, the upper surface of a single layer glass was tensioned and the bottom surface was compressed.

Angle steel bar was applied in longitudinal direction to avoid the horizontal displacement of the supports. The ends of specimens are consoles (without loading) and the supports are perfectly hinged, hence the glass has free angular displacement around of the supports. The rate of loading was 0.5 mm/min and the pull force was directed vertically and upwards.

Silicone rings separated the glasses from steel at the point fix connector, and plastic ring was applied around the screw in the bore hole, hence the glass was protected everywhere in the test set-up from the direct contact with the steel (Fig. 3). Displacements were recorded during the loading including the

displacement due to the elastic rubber. Before starting test, a calibration measurement was performed and a stiff steel plate was applied instead of the glass specimen. After the loading of the glass specimens, the difference was extracted from the measured displacements. This method resulted the real displacements.

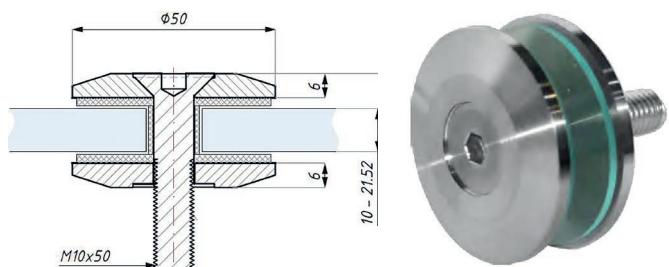


Fig. 3 Pont fix connector head - R50SSS, CDA [3]
3. ábra Pontmegfogó szerelvény - R50SSS, CDA [3]

3. Experimental results and calculation

3.1. Edge work defects

Cracks are formed in glass where the volume of edge defects and the level of tensile stress are higher [4]. Fig. 4 illustrates microscopic observations of 50x magnified regions in which the edge works and defects were analysed. Glass defects were obtained by the digital software of DinoCapture at the bore holes and edges.

The cracks were propagated from the defects of the bore holes until the glass edges. The load bearing capacity depends significantly from the type of glass failures (the depth of scratch, the amount, the density) [4]. It results even hundreds of Newton differences between the tested glass specimens.



Fig. 4 Bore holes and edge defects at 50x magnification.

4. ábra Furatlyuk és él megmunkálási hiba 50 szeres nagyításban

3.2. Results of load – displacement relationship

The measured vertical displacements (at the bore holes and at the edge) are quite similar in case of 360×860 mm single layer fully tempered glasses (large ones) with 6 mm thickness. There is no significant variation of that and even it is 0.26 mm at the fracture moment. However, this difference is significantly higher (74 %) in case of 360×460 mm single layer fully tempered glasses (smaller ones). This decrease can be obtained in case of 12 mm and laminated glasses consisted of 2×6 mm fully tempered glass layers. This difference of the examined glasses is similar. In conclusion, the edge displacements of glasses decreased if the length of glass specimen are reduced comparing it to the displacements measured in bore hole regions (Fig. 5).

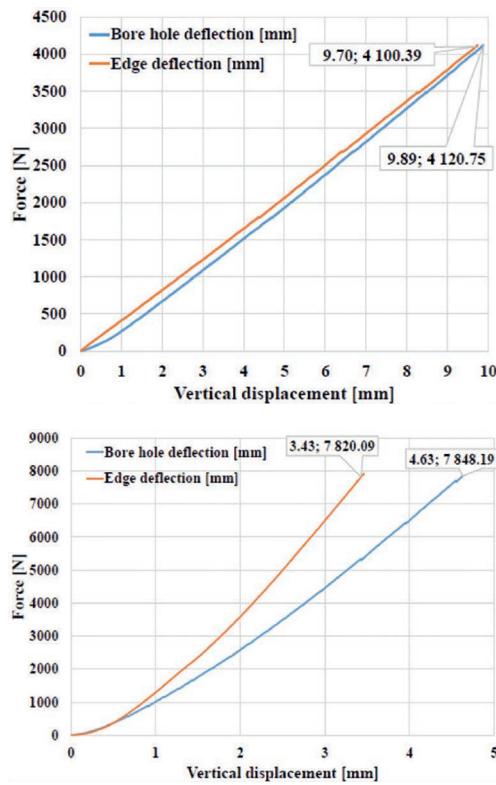


Fig. 5 Bore holes and edge displacements in case of 360×860 (left), 360×460 (right) sized fully tempered glasses, 12 mm

5. ábra Pontmegfogó szerelvény (furatlyuk) és él menti elmozdulások összehasonlítása
Edzett 12 mm vastag üvegek esetén bal: 360×860, jobb: 360×460

Fig. 6 introduces force and vertical displacements in case of fully tempered glasses with respect to different thicknesses and sizes of specimens. The highest displacements occurred in case of 6 mm thick single layer fully tempered glasses (5.59 mm). In case of float glasses the maximal displacement was

1.64 mm and it is 4.58 mm at TVG. The heat strengthening procedure can improve the load bearing capacity of the glass. The slope of the curve of 360×460 mm laminated glasses after the fracture of the first glass layer is similar to that of same sized single layer glass consisted 6 mm glass. That of can be obtained in case of larger sized glasses as well. It means that the fractured glass layer has no significant load bearing function in the laminated glass.

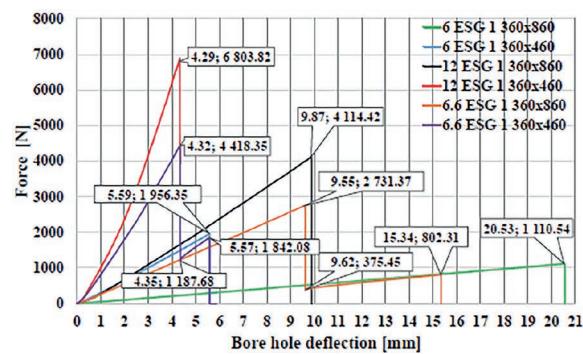


Fig. 6 Load and vertical displacements in case of fully tempered glasses
6. ábra Edzett üveglapok terhelő erő és függőleges elmozdulás diagramon

3.3. Finite element model

A finite element model was created to analyse the laboratory results. In the future studies, the authors plan to formulate a more accurate model where the influence of damping materials (rubbers, silicon) is going to be taken into account as well.

The vertical displacements of the bore hole and the edge point were different based on the finite element results of small specimen (360×460 mm). However, this difference was not obtained in case of the larger size specimens (360×860 mm) (Fig. 7). The mean displacement differences of the model and experimental values are introduced in the Table 2.

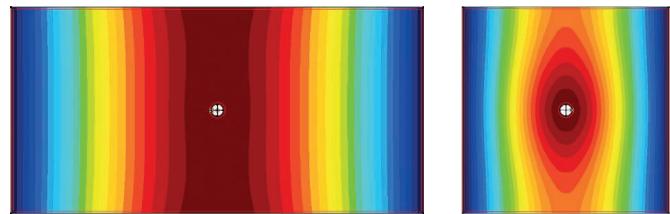


Fig. 7 Left: 6 mm, 360×860 mm glass table deformation. Right: 6 mm, 360×460 mm glass table deformation

7. ábra Bal kép: 6 mm-es nagyméretű tábla elmozdulása, jobb kép: 6 mm-es kisméretű tábla elmozdulása

360×460 mm, 6 mm thick ESG		
	Model values [mm]	Experimental values [mm]
Deflection at bore hole	5.64	5.6
Edge deflection	4.54	4.6
360×860 mm, 6 mm thick ESG		
	Model values [mm]	Experimental values [mm]
Deflection at bore hole	20.33	20.34
Edge deflection	20.27	20.29

Table 2 Comparing the model and the laboratory results
2. táblázat FEM és laboratóriumi eredmények összehasonlítása

4. Conclusions

Laboratory experiments were carried out on point fixed glasses. The behaviour of glasses was examined by pull-out test. Cracks are formed from the bore holes based on the laboratory experiments. The edge deflection of the glass depends on the length of specimen based on the force – vertical displacement diagrams. The difference between the edge and bore holes displacements were influenced by the sizes of the glass specimen.

In conclusion, if the glass plates were loaded in a larger area (of 360×860 mm), than two or three times higher displacements occurred and the load bearing capacity decreased by 50 % like in the case of smaller 360×460 mm glass plates. The load bearing capacity of the tested glasses depends on the level of heat strengthening (TVG/ESG).

A finite element model was created to analyse the laboratory results. The differences between displacements measured in edge and bore holes regions decreased with the increase of size of glasses from 360×460 mm up to size of 360×860 mm.

The fully tempered and heat strengthened glasses are the most applicable glasses for use in glass façade according to the results in aspect of the safety and load bearing capacity. It should be mentioned that in case of using only tempered glass layers the glass panes do not have residual load bearing capacity. The Young's modulus of glasses is not affected by heat treatment based on the laboratory results.

5. Acknowledgements

Authors express their gratitude to Rákossy Glass Ltd. for providing the glass specimens. Authors are thankful to the laboratory of BME Department of Construction Materials and Technologies for the experiments and personally to Struktúra

Ltd. András Eipl, Abdulkader El Mir and István Vági for their technical support and advices.

References

- [1] Pankhardt, K. (2012): Load Bearing Glasses. Testing of Construction Glasses. *Lap Lambert*, ISBN 978 3 8473 2191 0
- [2] Jakab, A. – Nehme, K. – Nehme, S. G. (2014): Centrally Loading of Glass Columns, *Proceedings of ÉPKO 2014 Conference*, pp. 118-121.
- [3] CDA Products Catalogue 2014-2015, 171 p.
- [4] Pankhardt, K. – Baláz, G. L. (2010): Study of Edge Strength of Load Bearing Glasses, *Építőanyag* Vol. 62, No. 1, pp. 15-22.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2010.4>

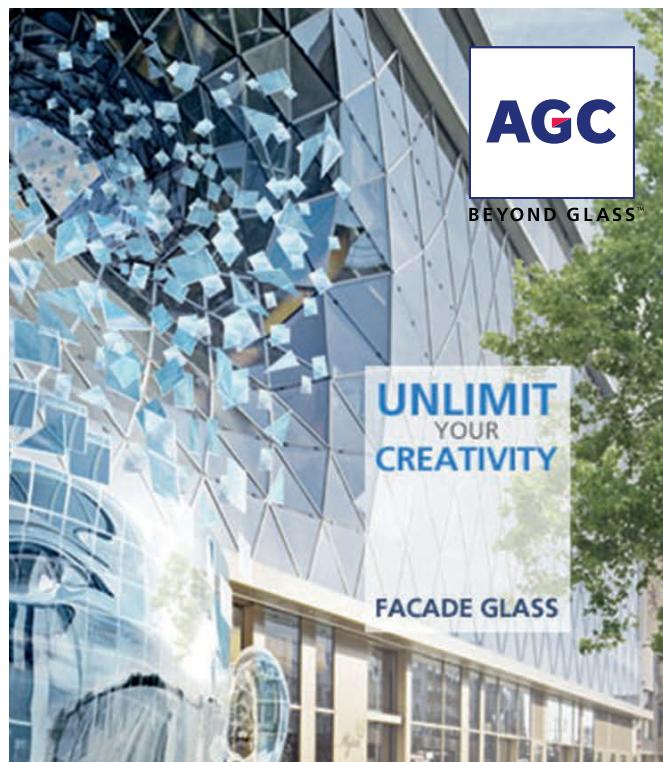
Ref:

Rényes, Máté – Jakab, András – Nehme, Kinga – Nehme, Salem Georges: *Laboratory experiments of point fixed glasses*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 2 (2015), 62–65. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.10>

Pontmegfogású üvegek laboratóriumi vizsgálata

A modern pontmegfogású üveghomlokzati rendszerek megjelenése nagy újítás volt a korábbi strukturális homlokzatképzésekhez képest. A homlokzati szerkezetekhez felhasznált acél felületek mennyisége jelentősen lecsökkent az elmúlt évtizedekben. A BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék laboratóriumában kísérleteket végeztünk, ahol pontmegfogású üveghomlokzatok pontmegfogó szerelvény kiszakítását vizsgáltuk a felületre merőlegesen, reprezentálva egy pontmegfogó környezetében az üveg viselkedését. Kísérleteinkben mértük az üveglapok elmozdulását, alakváltozását és a felvett erőt. A kísérleti eredményeket monolitikus és többrétegű üvegek esetében is kiértékelük. Az eredmények alapján megállapításokat tettünk, milyen típusú üvegek alkalmazása a legmegfelelőbb a homlokzatot erő igénybevételek elviselésére.

Kulcsszavak: üveg, pontmegfogás, kihúzó vizsgálat, üveg homlokzat



Solutions for architects and facade builders

AGC solutions have been developed to meet every conceivable need of facade builders and architects managing large-scale glass projects.

AGC has a wide range of products to meet the needs of building professionals with regard to vision glasses, spandrels and fitting solutions.

Glassiled

Glassiled-Facades is a laminated glass with embedded light-emitting diodes (LEDs)...

Thermobel Store

Thanks to its integrated blinds, Thermobel Store gives you constant, optimal control over light levels...

Structural duo +

Thanks to its new composite materials, Structura Duo+ is an ecological and economical solution...

Thermobel SunEwat

SunEwat is laminated safety glass with photovoltaic cells encapsulated between two panes of glass...

www.yourglass.com

Opportunities in recycling AAC waste as aggregate for lightweight concrete

OLIVÉR FENYVESI ▪ BME Department of Construction Materials and Technologies

▪ fenyvesi.oliver@epito.bme.hu

BENCE JANKUS ▪ BME Faculty of Architecture ▪ bence.jankus@gmail.com

Erkezett: 2015. 04. 08. ▪ Received: 08. 04. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.11>

Abstract

The conscious waste handling is getting more important world-wide. In the past fifteen years several detailed decrees and regulations were issued, dealing with this topic. The independent category of industrial waste of the construction industry is about 15-years old as well. In our research, the opportunities in recycling autoclaved aerated concrete (AAC) waste were investigated. AAC is a rather young building material, compared to the ancient ones, e.g. concrete, wood, or natural stone. The first factory, producing this material, was founded in 1929, in Sweden, and the first one in Hungary in 1963 (at Kazincbarcika). The following question has been raised: What is going to happen with the large amount of AAC building elements (mainly in family houses) when they reach their design lifetime, and are to be demolished, creating AAC waste? In our research, different ways for recycling this material were investigated. Our theories were confirmed by laboratory tests. Our ultimate task was to develop some new, useful concrete products, made from AAC waste. In the past 3 years, two research phases were finalized, both for different purposes of use. In the first phase, load bearing and insulating lightweight concrete mixtures with crushed AAC aggregate have been made. In the second phase, the mixtures were designed for vertical covering applications. Laboratory tests were made according to European and Hungarian standards.

Keywords: Autoclaved aerated concrete (AAC), cellular concrete, building industrial waste, recycling, lightweight aggregate concrete (LWAC)

1. Introduction

Waste-handling is a term, which has higher and higher importance in both jurisprudence and technical science. The first EU regulation, which has dealt with the topic in-detail, was published in 2000 [1]. The Hungarian government took this EC decision as a base to issue the first detailed national decree about building industrial waste, after joining the European Union in 2004 [2]. The operative regulation [3] contains both compulsions and concessions. Today it is compulsory to use recycled building materials above a limited investment value (defined in the regulation). However, many extra terms and financial support can be received in procurement processes, according to *green* considerations. Due to this, several research were targeted to study the recycling of communal and industrial wastes in Hungary as well [4,5,6]. About lightweight aggregate concrete (LWAC) made with crushed autoclaved aerated concrete (AAC) there have been few researches published yet, but there were some successful e.g. for clinker production [7], and in testing of traditional screed for floorings [8], or stabilized sand insulating concrete [9].

Our research was started at the Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and Technologies in 2012. When looking for a topic for our research, our main aim was to choose some building material that is well-known world-wide, however, only few researches are dealing with its recycling opportunities. AAC perfectly met these requirements. This young building material is produced since less than a hundred years. The first buildings, made of its earlier version (aerated concrete, AC) are about to reach their design lifetime, therefore, large amount of AC

Olivér FENYVESI, PhD

Civil engineer (MSc), monument protection engineer, PhD, Assistant Professor at BME Dept. of Construction Materials and Technologies.

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

Bence JANKUS

5th-year architecture student in the Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Architecture. Main fields of interest:

Lightweight aggregate concretes, recycling building industrial waste as concrete aggregate, especially AAC.

waste can be expected to appear in the next decade. Recycling options should to be developed, supported by laboratory tests and results. This is the first step to give a new product that can be applied in the construction industry.

2. Experimental studies

In the last three years two different research phases were completed in our laboratory - both for different purposes of use. In the first phase, load bearing and insulation LWAC mixtures were made. In the second phase, the mixtures were designed for vertical covering applications. Detailed information about the design parameters, and the test results are given in *Table 1*.

The mixtures, made in the first research phase (load bearing and insulation purpose), were tested according to European standards for apparent (body) density, compressive strength (EN 12390-3), watertightness (EN 12390-8) and thermal conductivity (ISO 8302). The mixtures, designed for vertical covering purpose (second research phase) were treated and tested as artificial stone. Apparent (body) density, compressive strength (EN 14617-15), flexural-tensile strength (EN 14617-2), impact resistance (EN 14617-9), freeze-thaw resistance (EN 14617-5) and thermal conductivity (ISO 8302) were studied.

The type and the dosage of the used cement were chosen depending on the planned application. For the load bearing mixtures, a CEM III was chosen – our primary target was cost and ecological effectiveness. The mix design of LWAC targeted to provide paste saturated mix [10]. In the second research phase, when the mixtures were designed for covering purpose, the top priority was aesthetical appearance. For this purpose CEM I type was chosen and coloring pigments were added

to the mixtures as well. The dosage was planned according to reference recommendations [11] [12] [13].

We prepared the AAC waste for suitable aggregate to lightweight concrete by a jaw crusher. After one crushing period, particle size distribution was tested. The results showed that the produced particle size distribution is in the II. quality class according the recent Hungarian regulations (MSZ 4798) (Fig. 1), therefore it is suitable for concrete aggregate without any addition of conventional aggregate. In the first research phase we used this one-phase-crushed bulk as lightweight aggregate. The maximum particle size was 16 mm. In the second research phase, to reach the highest compressive strength possible with the selected cement dosage, the bulk was sieved into six, sharp graded fractions (0/0,25 mm; 0,25/1,0 mm; 1/2 mm; 2/4 mm; 4/8 mm; 8/16 mm – Fig. 2). The fractions were added into the mixtures according to limit grading curve B according the recent Hungarian regulations (MSZ 4798).

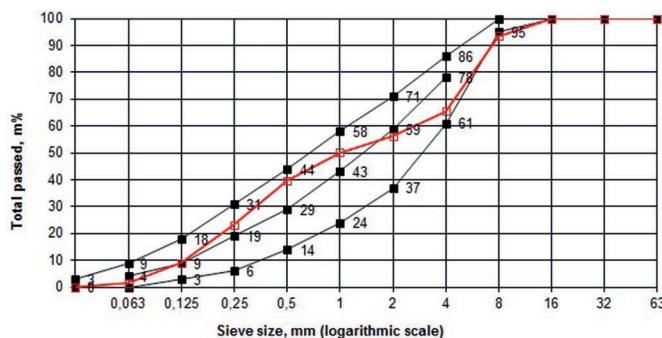


Fig. 1. Particle size distribution curve
1. ábra Szemeloszlási görbe

After a half year of storage, map surface cracking of the specimens was observed, made in the first research phase. For

this reason, we decided to add PP fiber addition to the mixtures in the second phase, to prevent the formation of shrinkage cracks on the surface of the specimens [11] [12] [13].

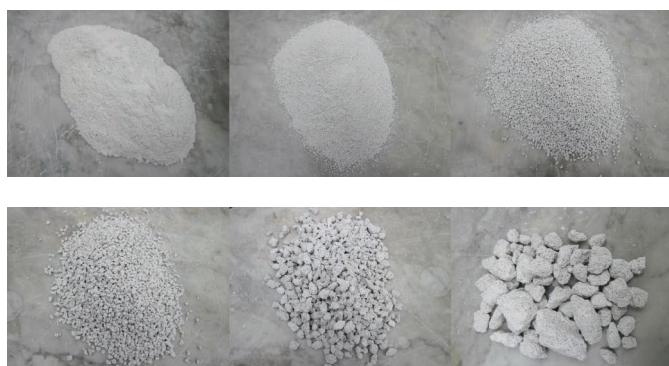


Fig. 2. Sieved aggregate fractions
2. ábra Szitált adalékanyag frakciók

3. Discussion

3.1. First research phase – general

According to the test results of the first research phase, it can be postulated that the tested mixtures can be applied as vertical load bearing structures of a multi-level building. Based on the compressive strength results, we recommend using the designed mixtures in building blocks (Table 1). The masonry mortar, necessary for walling, can be manufactured from the AAC waste (with fractions under grain size of 1 mm) as well. According to our watertightness test results, the mixtures can be applied to subsoil parts of such buildings as well – this is an advantage to other common blocks, which are available on the market.

	1 st research phase		2 nd research phase	
			1 st mixing stage	2 nd mixing stage
Grain size distribution (MSZ 4798)	Class II (MSZ 4798)		Curve B (MSZ 4798)	Curve B (MSZ 4798)
Cement type	CEM II B-S 42.5 N (V)		CEM I 52.5 N (grey)	CEM I 52.5 N (white)
Cement dosage	500-650 kg/m ³		350-450 kg/m ³	350-450 kg/m ³
Water-to-cement ratio	0.55		0.4	0.4
PP fibers	-		1.5 kg/m ³	1.5 kg/m ³
Coloring	-		5 m% (to cement)	5 m% (to cement)
Apparent (body) density	1380-1450 kg/m ³		1250-1350 kg/m ³	1250-1350 kg/m ³
Compressive strength (EN 12390-3, EN 14617-15)	12-16 N/mm ²		6-9 N/mm ²	2.5 N/mm ²
Thermal conductivity (ISO 8302)	0.39-0.45 W/mK		0.28-0.36 W/mK	0.28-0.36 W/mK
Watertightness (EN 12390-8)	XV1(H) - XV2(H) (MSZ 4798)		n.t.	n.t.
Flexural-tensile strength (EN 14617-2)	n.t.		1.5- 2.5 N/mm ²	0.6- 0.8 N/mm ²
Impact resistance (EN 14617-9)	n.t.		45-55 mm	25-30 mm
Freeze-thaw resistance (EN 14617-5)	n.t.		not resistant	not resistant

Table 1. Design parameters and test results (n.t.: not tested property)
1. táblázat Tervezési paraméterek és vizsgálati eredmények (n.t.: nem vizsgált jellemző)

3.2. Second research phase – general

According to the test results of the second research phase, it can be postulated that the designed mixtures are suitable for indoor vertical covering applications – as mounted panels or as monolithic concrete wall. Freeze-thaw resistance tests showed that the mixtures are not resistant against frost effect, despite of the standard level of only 25 freeze-thaw cycles. Our specimens suffered visible damage after 10 cycles (Fig. 3). After 25 cycles they became inappropriate for any more testing (Fig. 4) (the standard defines frost resistance based on residual flexural-tensile strength). The significant open porosity of the specimens causes excessive water-absorption that makes the mixtures unable to resist against numerous freeze-thaw cycles [14]. The apparent (body) density of the AAC waste based mixtures is about half of that of natural stones, which are commonly applied in wall coverings (e.g. travertine 2000-2400 kg/m³, granite 2500-2800 kg/m³). It results much smaller scale of mounting assemblies. According to thermal conductivity test results, the designed artificial stone mixtures are hand warm to touch. Moreover, considering their moisture absorption capacity, the panels are able to store 15-20 m% moisture from the air. These two attributions make the panels ideal to maintain comfortable indoor air condition. According to flexural tensile strength and impact resistance [15], it is ideal for covering panels. In the moment of failure, the intersection does not crack through, the panel remains in one piece. It is advantageous, because there is no falling debris, which may cause collateral damage, or personal injuries.



Fig. 3. Damaged specimen after 10 freeze-thaw cycles
3. ábra Próbatest károsodása 10 fagyasztás-olvasztás ciklust követően



Fig. 4. Damaged specimen after 25 freeze-thaw cycles
4. ábra Próbatest károsodása 25 fagyasztás-olvasztás ciklust követően

3.3. Chemical reactions in white cement mixtures – second research stage

In the second research phase, two mixing stages were performed. After preparing the mixtures for the first stage, the specimens made with white cement became unsuitable for testing. At the age of 28 days (all specimens were stored under water from the day of demolding) it was visible that the hardening has not been completed. The specimens were peeling in touching by hand (Fig. 5). It was generally assumed that the used white cement was too old, therefore, unsuitable for concrete mixing (the specimens, made with fresh grey cement were appropriate, and were tested without problems). Therefore, the mixtures with fresh white cement were mixed again in the second mixing stage. The new specimens became suitable for mechanical testing, except one mix (with the highest cement dosage). That one showed the same look and damage than the ones in the first mixing stage. The test result of suitable specimens showed significantly lower values in all tests than the Portland cement (grey) mixtures. The results suggested that some unexplored chemical transformation occurs inside the specimens.



Fig. 5. White cement mixtures peeling in hand
5. ábra Fehér cementtel készült próbatest kézben mállik

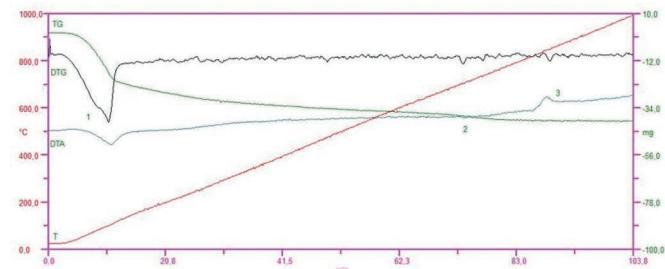
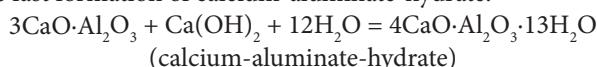


Fig. 6. Differential thermal analysis of AAC
6. ábra Pórusbeton derivatogramja

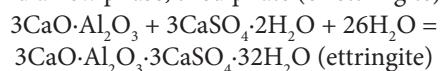


Fig. 7. Map-like cracks
7. ábra Térképszerű felületi repedések

To explore this reaction, differential thermal analyses (derivatography) have been made on the AAC waste, on the coloring pigments, and on the hardened concrete as well. The TG-DTG-DTA curves of the AAC showed that the raw material contains approximately 10–12 m% gypsum (Fig. 6). The map-like cracks on the surface of the specimens (Fig. 7) indicated that some kind of swelling reaction occurs connected to the gypsum content. The permissible maximum acid-soluble sulphate content of recycled concrete aggregates according to the DIN 4226-100:2002 standard and the DAfStb-Richtlinie (2010) technical specification is 0.8 m% [16]. In the aggregate tested in our experiments this value was higher, due to the gypsum content. The aluminate modulus (AM) of the used cement was AM > 17. AM is one indicator for the predisposition of the cement to sulfate corrosion. The AM of normal Portland cements is AM = 1.0 – 2.5. The AM of sulfate resistant Portland cements is AM < 0.64, for moderate sulfate resistant Portland cements is AM < 1.0. If AM is above 1.0, it increases the intensity of formation of a clinker mineral, called tricalcium-aluminate. Tricalcium-aluminate ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, commonly known as *felite*; silicate chemical nomenclature: C₃A) is a fast set clinker mineral, with high heat of hydration, and may result a concrete mixture unsuitable for placing due to the fast formation of calcium-aluminate-hydrate:



Moreover, the calcium-aluminate-hydrate formed has very low strength, so this reaction may completely ruins microstructure of concrete. This is the reason why cement factories add gypsum to the clinker, since C₃A reacts with the gypsum, and a new phase, trisulphate (or ettringite) is formed:



Ettringite is a mineral of relatively large in size due to the 32 moles crystallization water in its structure, and the crystallization pressure during formation can reach 100 N/mm². This is not a problem, if the genesis of the crystals occurs while the concrete mixture is still plastic, and is able to be deformed. It is assumed that in our case, the production of ettringite was shifted in time, and still formed, when the strength holding tricalcium-silicate ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, commonly known as *alite*; silicate chemical nomenclature: C₃S) minerals started to generate the calcium-silicate-hydrate products in the hydration process. If our presumption is correct, then the crystallization pressure of ettringite crystals destroys the bonding between the C₃S hydration products, and this way the hardening process of the concrete is damaged. In order to verify our assumption, X-ray diffraction analysis was carried out. On the XRD images of the 1-day-old samples both anhydrite (Fig. 8) and ettringite (Fig. 9) were detected. Comparing the XRD images of ettringite, made on 1-day-old and 7-day-old samples, it was proved that the amount of ettringite has been increased (Fig. 10 – solid line is the 1-day-old sample, dotted line is the 7-day-old sample). For further proofing, swelling has also been measured on fresh samples from 1 to 7 days of age (Fig. 11). Samples JT1, JT2, JT3 were cured on air under permanent climatic conditions. Samples JT4, JT5 were cured under water. Another finding is that under water the samples

have swollen almost the double that of the samples cured on air. This is due to the curing water supply for hydrate genesis (from anhydrite), which maintains the formation of ettringite.

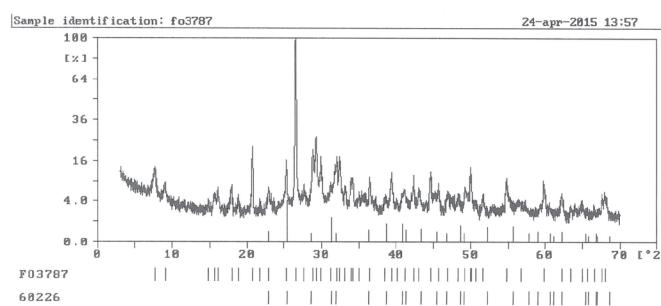


Fig. 8. XRD images with the lines of anhydrite
8. ábra Röntgendiffraktogram anhidrit csúcsokkal

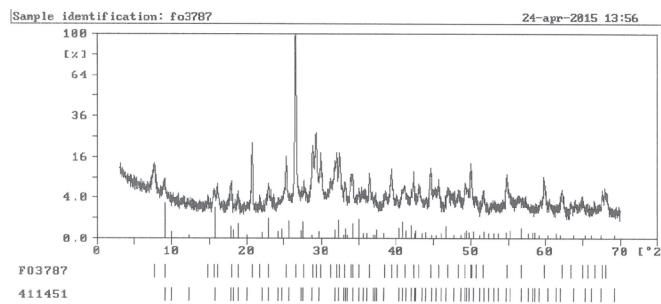


Fig. 9. XRD images diffraktogramm with the lines of ettringite
9. ábra Röntgendiffraktogram ettringit csúcsokkal

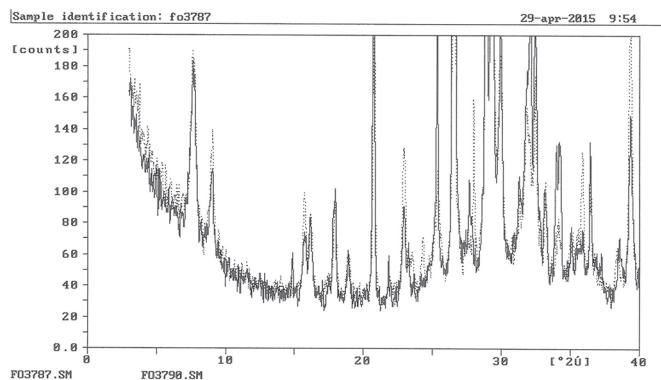


Fig. 10. XRD images with the lines of andydrate at the age of 1 and 7 days
10. ábra Röntgendiffraktogram anhidrit csúcsokkal 1 és 7 napos korban

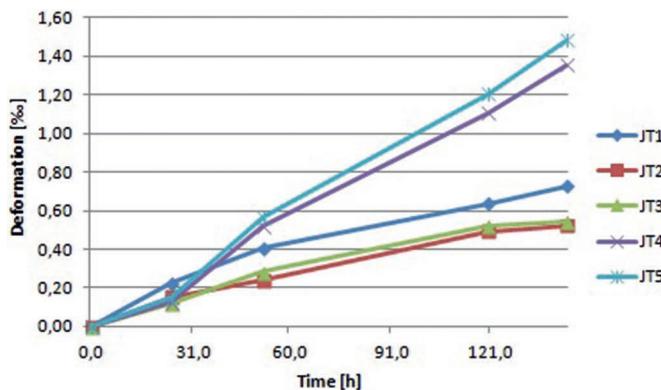


Fig. 11. Swelling on fresh samples
11. ábra Friss minták duzzadása

4. Conclusions

During our research, lightweight aggregate concrete with crushed autoclaved aerated concrete (AAC) waste aggregate was prepared. The mixtures were tested in two different research phases, both for different purposes of use. Their suitability for the planned use was confirmed by laboratory tests according to the Hungarian and European standards.

In the first research phase, mixtures were designed for vertical load bearing and insulation purpose. Our test results confirmed the suitability for this application. We recommend using the mixtures for the preparation of building blocks. Required mortar for masonry work can be produced from fine-grained crushed AAC waste as well. The advantage to reinforced concrete is the low apparent (body) density and low thermal conductivity. Unlike other building blocks on the market, the watertightness of the mixtures tested is beneficial. Therefore, the tested LWAC mixtures can be applied in subsoil parts of buildings, while none of the commercially available building block families are suggested for this.

In the second research phase, the mixtures were designed for vertical covering purpose. The test results confirmed the suitability only for indoor application. They can be used as covering panels, or as monolithic concrete walls. The designed mixtures showed many advantages. If used as panels, their low apparent (body) density generates savings in the costs of the mounting equipments, and generates less load on the structures – compared to the commonly used natural covering stones. Low thermal conductivity and excessive moisture absorption capacity makes it ideal to maintain comfortable indoor air condition. According to flexural tensile strength and impact resistance, it is ideal for the preparation of covering panels. A chemical reaction between AAC aggregate and white cement was revealed. Considerable swelling is observed due to delayed ettringite formation damaging the solid mineral phases, with a strong effect of curing on the reaction. Specimens cured underwater swollen double in magnitude than specimens cured on air in climate chamber.

5. Acknowledgement

Authors acknowledge that specific materials were provided for the laboratory tests by the support of the OTKA K 109223 research project (Hungarian Scientific Research Fund, OTKA).

References

- [1] 2000/532/EC commission decision on waste list
- [2] 45/2004. (VII. 26.) BM-KvVM együttes rendelet az építési és bontási hulladék kezelésének részletes szabályairól (decree about the detailed rules of handling building industrial waste; *in Hungarian*)
- [3] 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról (law about waste; *in Hungarian*)
- [4] Hoffmann L. – Józsa, Zs. – Nemes R. (2003): Üveghulladékból könnyűbeton adalékanyag, *Építőanyag*, Vol. 55, No 1, pp. 13-17. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jbcm.2003.3>
- [5] Nemes, R. (2015): Surface properties of lightweight aggregate concrete and its correlation with durability, *Materials Science Forum* Vol. 812, pp. 207-212. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.812.207>
- [6] Józsa, Zs. – Nemes, R. (2002): Recycled Glass Aggregate for Lightweight Concrete, *Concrete Structures* Vol. 3, pp. 41-46.
- [7] Schoon, J. – De Buysser, K. – Van Driessche, I. – De Belie, N. (2013): Feasibility study on the use of cellular concrete as alternative raw material for Portland clinker production, *Construction and Building Materials* Vol. 48, pp. 725–733. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.083>
- [8] Boehme, L. (2013): Recycled Aerated Concrete Aggregates, *Proceedings of Traditional Screed for Floorings in Central Europe towards Sustainable Building 2013 Low-tech and high-tech materials and technologies for Sustainable Buildings*. pp. 1-8.
- [9] Bergmans, J. – Nielsen, P. – Jacobs, K. – Broos, K. (2012): Recycling of cellular concrete: turning a weakness into a strength, *Innovative Strategies for High-Grade Material Recovery from Construction and Demolition Waste Conference (oral presentation)* VITO, Flemish Institute for Technological Research, Mol, Belgium
- [10] Ujhelyi, J.(1960): A könnyűadálos beton fajtái, összetételének tervezése és a beton készítése; *Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat*, Budapest, 2 p. (Types, design of composition, and mixing of lightweight aggregate concrete; *in Hungarian*)
- [11] Kozák, J. – Magyari B.(2013): A budapesti négyes metróvonal építése 4: FRC burkolatok a négyes metró három állomásán, Budapesten, *Vasbetonépítés*, Vol 15, No. 2, pp. 53-56 (Building Budapest Metro line four, Part 4: FRC coverage, applied at three stations; *in Hungarian*)
- [12] Magyari, B. (2005): Fibre reinforced concrete elements applied on facades, *Proceedings of the Keep concrete attractive– fib Symposium*, Vol. 1, pp. 86-91.
- [13] Kozák, J. – Magyari, B. – Tassi G. (2011): PPFRC cornice and wall covering, *Proceedings of the Innovative Materials and Technologies for Concrete Structures – Central European Congress on Concrete Engineering*, pp. 393-396.
- [14] Nemes, R. (2015): Könnyűbetonok fagyasztavizsgálatának érdekességei, *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 67. No. 1 <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jbcm.2015.6>
- [15] Nemes, R. (2013): Könnyűbetonok koptatóhatással szembeni ellenállása, *Építőanyag*, Vol. 65. No. 2, pp. 44-47. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jbcm.2013.10>
- [16] Kausay, T. (2013): Beton (Concrete) Mérnöki Kamara Nonprofit Kft., Budapest, ISBN: 978-963-88358-4-0

Ref:

- Fenyvesi, Olivér – Jankus, Bence: Opportunities in recycling AAC waste as aggregate for lightweight concrete**
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 2 (2015), 66–70. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jbcm.2015.11>

Újrahasznosított pórusbeton alkalmazási lehetőségei könnyűbeton adalékanyagaként

A tudatos hulladék-gázdálkodás, és ezen belül az építési hulladékok lerakott mennyiségének csökkentése, újrafelhasználása, illetve újrahasznosítása egyre fontosabbá válik világszerte. Önálló kategóriáként kb. 15 éve jelent meg az építési-bontási hulladék jogszabályainkban, mely szintén a kutatási téma fontosságát jelzi. Kutatásunk során a pórusbeton és gázbeton hulladékok újrahasznosításával foglalkozunk. A mai napig két kutatási fázist fejeztünk be ebben a témaban, de további kísérletek végzését tervezük a jövőben. Fő célunk az építőiparban is használható könnyűbeton keverékek előállítása pórusbeton hulladék felhasználásával. Az első kutatási fázis során teherviselő és hőszigetelő funkciójú betonkeverékeket vizsgáltunk. Második kutatási fázisunkban pedig függőleges burkolathoz készítettünk könnyűbetont, zúzott pórusbeton adalékanyaggal. Laboratóriumi vizsgálatainkat a hatállyos európai és Magyar szabványok szerint végeztük.

Kulcsszavak: Pórusbeton, gázbeton, építési-bontási hulladék, újrahasznosítás, könnyűbeton

Sustainable Construction

Autoclaved Aerated Concrete



→ Autoclaved Aerated Concrete

AAC is a very strong but lightweight and easy to use construction material for exterior and interior environments alike. The production process involves curing aerated concrete in a pressurised steam chamber, known as an autoclave, to give AAC its strength.

Members of the European Autoclaved Aerated Concrete Association operate more than 100 production sites in 17 countries producing around 20 million m³ of AAC per year. From this quantity about 400.000 residences can be built.

→ High energy efficiency:

Greater use of AAC in new construction and in renovation of old buildings represents a major way to reduce the energy consumption of residential and non-residential buildings across Europe.

→ Inherent thermal insulation properties:

The use of AAC reduces the need for space heating and cooling. Furthermore, it makes the use of additional materials unnecessary.

→ Energy-efficient over its whole life cycle:

The production of AAC requires less energy than other construction materials and its light weight saves energy in transportation. AAC is extremely cost-effective.

→ High fire resistance:

AAC can be used as internal as well as external fire walls, resisting even intense heat and easily fulfilling all fire safety standards.

→ Outstanding structural performance:

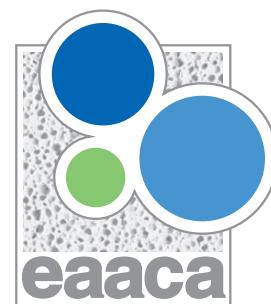
AAC is extremely strong and durable. It retains its properties for the entire life of a building and can resist wind, earthquake, rain (also acidrain), storm and a wide range of external temperatures.

→ High resource efficiency, low environmental impact:

Autoclaved aerated concrete's high resource efficiency gives it low environmental impact in all phases of its life cycle, from processing of raw materials to the disposal of AAC waste.

→ Reuse, recovery and disposal:

Potential AAC waste is reused or recycled to minimize final disposal in landfill. Where AAC waste is sent to landfill, its environmental impact is minor since it contains no toxic substances.



Kiegészítőanyagok hatása a szokványos és az öntömörödő betonokra

2. rész. Laboratóriumi vizsgálatok

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

▪ sgnehme@yahoo.com

Érkezett: 2015. 02. 22. ▪ Received: 22. 02. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jbcm.2015.12>

Salem Georges NEHME
Okleveles építőmérnök, PhD, egyetemi docens a
BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén.
A Magyar Szabványügyi Testület MSZT/MB 112
Építési üveg nemzeti szabványositó műszaki
bizottság tagja; a fib Magyar Tagozat tagja;
a Magyar Mérnöki Kamara tagja (MMK: 01-
9159). Érdeklődési területei: betontechnológia,
tömegbetonok, öntömörödő betonok,
szálerősítésű betonok, minőségellenőrzés,
roncsolásmentes anyagvizsgálatok, vasbeton
szerkezetek, építőanyagok újrahasznosítása.

Influence of supplementary cementing materials on conventional and self compacting concretes

Part. 2. Laboratory tests

The use of supplementary cementing materials in concrete technology may help reducing the large carbon-dioxide emission that is resulted from the production of Portland cements. The supplementary cementing materials can be classified as hydraulic additives, pozzolanic additives and inert additives. The supplementary cementing materials form calcium-silicate-hydrates and calcium-aluminate-hydrates with the calcium hydroxide available due to Portland cement hydration. Most active supplementary cementing materials are the silica fume and the metakaolin. The literature indicates that the application of silica fume or metakaolin improves the durability of concrete due to the finer pore microstructure that results lower porosity, lower permeability, higher strength, higher resistance against water penetration and higher resistance to acidic solutions. The present paper is the first part of a series of papers dealing with conventional and self compacting concretes containing silica fume or the metakaolin supplementary cementing materials. The first part gives a literature review of the supplementary cementing materials tested. The second part summarizes own experimental results.

Keywords: concrete, self compacting concrete, supplementary cementing materials, metakaolin, silica fume

Kulcsszavak: beton, öntömörödő beton, kiegészítőanyagok, metakaolin, szilikápor

1. Előzmények

Cikksorozatunk első részében összefoglaltuk a kapcsolódó szakirodalmi adatokat. Jelen cikk a saját kísérleti eredményeket ismerteti.

2. Kísérleti terv

A kísérlet célja a szilikápor, a metakaolin és a mészkőliszt adagolás hatásának elemzése a szokványos és öntömörödő betonokra, mind a frissbetonra, mind a megszilárdult betonra.

A kísérletek során 39 különböző receptúrát használtunk, ezeket az 1. táblázatban foglaljuk össze. A keverések fele szokványos, fele öntömörödő beton volt. A 18-18 keverést hármas csoportokra bontva készültek etalonok, szilikáport és metakaolint tartalmazó próbatestek.

A vizsgálatok során a következő állandó paramétereket alkalmaztuk:

- az adalékanyag szemmegoszlása,
- az adagolt víz mennyisége (180 l/m³),
- a cement típusa,
- 10 m % szilikápor és metakaolin.

A kísérletek változó paraméterei:

- a cement mennyisége (300, 320, 340, 360, 380, 400 és 420 kg/m³),
- az adagolt szilikápor és metakaolin mennyisége (a cementtartalom tömegének függvényében 30, 32, 36, 38, 40 és 42 kg/m³),
- a víz-cement tényező (0,60 - 0,56 - 0,53 - 0,50 - 0,47 - 0,45 - 0,429).

A kísérletekhez hét eltérő cementtartalmú receptúrát vettünk alapul. A kísérletek célja:

- A különböző cementtartalmú, de állandó víztartalmú szokványos és öntömörödő betonok esetén, hogyan változnak a friss és a megszilárdult betonok tulajdonságai metakaolin és szilikápor adagolása esetén a nagy fajlagos felületük miatt.
- Összehasonlítanai a metakaolin hatását a szilikápor hatásához.

Az irodalom alapján a cement tömegére vonatkoztatott 10%-os adagolás mellett vizsgáltuk a szilikápor és a metakaolin hatását.

3. Kísérleti paraméterek

3.1 A kísérlet során felhasznált anyagok

3.1.1 Adalékanyag

Az alkalmazott adalékanyag homokos kavics volt (TBG, Basa utcai telep). A keverési arányokat a 2. táblázat tartalmazza.

A maximális szemnagyság d_{max} = 16 mm volt. Felhasználás előtt a kavicsot levegőn, a homokot pedig száritószekrényben szárítottuk.

3.1.2 Kiegészítőanyagok

3.1.2.1 Szilikápor

Sika Silicoll P gyártmányú szilikáport használtunk a keverésekhez. A gyártótól származó adatokat a 3. táblázat tartalmazza (Sika, 2015).

Jele	Cement	Szi-likapor	Meta-kaolin	Mészkő-liszt	Finom-rész-tartalom	Víz	v/c
------	--------	-------------	-------------	--------------	---------------------	-----	-----

	[kg/m ³]				[-]		
1	300	-	-	-	300	180	0,60
2	320	-	-	-	320	180	0,56
3	340	-	-	-	340	180	0,53
4	360	-	-	-	360	180	0,50
5	380	-	-	-	380	180	0,47
6	400	-	-	-	400	180	0,45
7	420	-	-	-	420	180	0,43
8	300	-	30	-	330	180	0,60
9	320	32	-	-	352	180	0,56
10	340	-	34	-	374	180	0,53
11	360	36	-	-	396	180	0,50
12	380	-	38	-	418	180	0,47
13	400	40	-	-	440	180	0,45
14	420	-	42	-	462	180	0,43
15	320	-	32	-	362	180	0,56
16	360	-	36	-	396	180	0,50
17	400	-	40	-	440	180	0,45
ÖNT 1	300	-	-	300	600	180	0,60
ÖNT 2	320	-	-	260	580	180	0,56
ÖNT 3	340	-	-	260	600	180	0,53
ÖNT 4	360	-	-	220	580	180	0,50
ÖNT 5	380	-	-	220	600	180	0,47
ÖNT 6	400	-	-	180	580	180	0,45
ÖNT 7	420	-	-	180	600	180	0,429
ÖNT 8	300	-	30	270	600	180	0,60
ÖNT 9	320	32	-	228	580	180	0,56
ÖNT 10	340	-	34	226	600	180	0,53
ÖNT 11	360	36	-	184	580	180	0,50
ÖNT 12	380	-	38	182	600	180	0,47
ÖNT 13	400	40	-	140	580	180	0,45
ÖNT 14	420	-	42	138	600	180	0,429
ÖNT 15	300	-	32	228	560	180	0,60
ÖNT 16	320	-	32	228	580	180	0,56
ÖNT 17	340	-	34	186	560	180	0,53
ÖNT 18	360	-	36	184	580	180	0,50
ÖNT 19	400	-	40	140	580	180	0,45
ÖNT 20	420	-	42	98	560	180	0,429
ÖNT 21	300	-	-	260	560	180	0,60
ÖNT 22	420	-	-	140	560	180	0,429

1. táblázat A beton összetételek
Table 1. Concrete compositions

Frakció mm	Keverési arány %
0/4	45
4/8	25
8/16	30

2. táblázat Adalékanyagok keverési arányai
Table 2. Mixing ratio of aggregatefractions

3.1.2.2 Metakaolin

Metaver® N típusú metakaolint használtunk a keverések során. A gyártó által megadott jellemzőket a 4. táblázat tartalmazza (Newchem, 2015).

3.1.3 Mészkőliszt

A öntömörödő betonhoz a Carmeuse által előállított mészkőlisztet használtunk. A mészkőliszt fajlagos felületét és sűrűségét az 5. táblázatban foglaltuk össze.

3.1.4 Adalékszer

A BASF által gyártott polikarboxilát éter bázisú Glenium® 51 jelű szuperfolyósítót használtuk a keverések során.

4. Vizsgálatok és eredmények

4.1 A frissbeton tulajdonságai

A konzisztencia meghatározását elsősorban terülestméréssel hajtottuk végre (6. táblázat).

A hagyományos betonok esetében a mérést az MSZ EN 12350-5:2009 szabvány alapján végeztük. minden esetben két, egymásra merőleges mérés átlaga adta a mért értéket. A méreteket 0,5 cm pontossággal állapítottuk meg.

Az öntömörödő betonok roskadási terülését a kifolyási időt vizsgáltuk és az eredményeket a 6. táblázatban foglaltuk össze. Ellenőriztük a friss beton testsűrűségét is.

4.2 Nyomószilárdsági vizsgálatok

Az MSZ EN 12390-3:2009 szabványnak megfelelően a vizsgálat elvégzéséhez FORM+TEST gyártmányú ALPHA-3-3000 S jelű, 3000 kN maximális terhelésű, erővezérelt berendezést használtunk.

Keverésenként 3-3 darab 150 mm élhosszúságú próbakockát 1, 2, 7 és 28 napos korban törtünk el. A törőerőkből számított nyomószilárdságot a 7. táblázat tartalmazza.

Sika Silicoll P		
SiO ₂ tartalom	96 ± 1,5	%
Elsődleges szemmagaság	0,1 - 0,3	µm
Másodlagos részecskék (> 1 mm)	30	%

3. táblázat A szilikátor tulajdonságai
Table 3. Properties of silicafume

Fő kémiai összetevők		
SiO ₂	52-53	%
Al ₂ O ₃	43-44	%
Tipikus szemcseeloszlás (lézergranulometér)		
< 1mm	7 - 9	✓%
d ₅₀	3,4 - 4,5	µm
d ₉₅	12 - 18	µm

4. táblázat Metakaolin tulajdonságai
Table 4. Properties of metakaolin

Mészkőliszt tulajdonságai	
Sűrűség, g/cm ³	Fajlagos felület, m ² /kg

5. táblázat Mészkőliszt sűrűsége és fajlagos felülete
Table 5. Density and specificsurfacearea of limestonepowder

Jele	Cement	Szilikápor	Meta-kaolin	Mészkarbonát-liszt	Finomrézszerű tartalom	Víz	v/c	Terülés	Friss beton testsűrűség
				kg/m ³			[-]	mm	kg/m ³
1	300	-	-	-	300	180	0,60	575	2326
2	320	-	-	-	320	180	0,56	570	2363
3	340	-	-	-	340	180	0,53	505	2283
4	360	-	-	-	360	180	0,50	570	2371
5	380	-	-	-	380	180	0,47	565	2359
6	400	-	-	-	400	180	0,45	540	2362
7	420	-	-	-	420	180	0,43	570	2321
8	300	-	30	-	330	180	0,60	580	2344
9	320	32	-	-	352	180	0,56	525	2355
10	340	-	34	-	374	180	0,53	525	2291
11	360	36	-	-	396	180	0,50	540	2345
12	380	-	38	-	418	180	0,47	510	2282
13	400	40	-	-	440	180	0,45	520	2351
14	420	-	42	-	462	180	0,43	590	2323
15	320	-	32	-	362	180	0,56	550	2365
16	360	-	36	-	396	180	0,50	545	2357
17	400	-	40	-	440	180	0,45	530	2376
ÖNT 1	300	-	-	300	600	180	0,60	750	2310
ÖNT 2	320	-	-	260	580	180	0,56	710	2374
ÖNT 3	340	-	-	260	600	180	0,53	705	2383
ÖNT 4	360	-	-	220	580	180	0,50	750	2383
ÖNT 5	380	-	-	220	600	180	0,47	670	2354
ÖNT 6	400	-	-	180	580	180	0,45	760	2397
ÖNT 7	420	-	-	180	600	180	0,429	780	2321
ÖNT 8	300	-	30	270	600	180	0,60	745	2316
ÖNT 9	320	32	-	228	580	180	0,56	600	2365
ÖNT 10	340	-	34	226	600	180	0,53	705	2437
ÖNT 11	360	36	-	184	580	180	0,50	740	2376
ÖNT 12	380	-	38	182	600	180	0,47	750	2335
ÖNT 13	400	40	-	140	580	180	0,45	715	2390
ÖNT 14	420	-	42	138	600	180	0,429	740	2349
ÖNT 15	300	-	32	228	560	180	0,60	620	2337
ÖNT 16	320	-	32	228	580	180	0,56	675	2370
ÖNT 17	340	-	34	186	560	180	0,53	760	2334
ÖNT 18	360	-	36	184	580	180	0,50	745	2397
ÖNT 19	400	-	40	140	580	180	0,45	770	2356
ÖNT 20	420	-	42	98	560	180	0,429	700	2339
ÖNT 21	300	-	-	260	560	180	0,60	770	2326
ÖNT 22	420	-	-	140	560	180	0,429	755	2317

6. táblázat A területmérés eredményei

Table 6. Results of flow table tests

Jele	v/c	Nyomószilárdság, N/mm ²			
		[·]	1	2	7
1	0,60	4,34	-	28,1	44,8
2	0,56	-	14,6	28,1	45,4
3	0,53	6,67	-	28,7	47,8
4	0,50	-	19,5	36,6	48,9
5	0,47	7,21	-	37,9	52,6
6	0,45	-	22,2	41,4	53,5
7	0,43	10,53	-	42,1	65,1
8	0,60	6,71	-	34,1	57,7
9	0,56	-	17,3	40,4	60,8
10	0,53	6,71	-	35,9	66,7
11	0,50	-	23,8	47,7	70,2
12	0,47	7,68	-	49,7	70,1
13	0,45	-	25,2	50,0	71,9
14	0,43	8,96	-	51,9	77,2
15	0,56	-	16,1	34,3	56,5
16	0,50	-	25,8	46,2	68,4
17	0,45	-	29,9	51,2	73,3
ÖNT 1	0,60	7,01	-	31,3	51,8
ÖNT 2	0,56	6,3	20,4	36,9	49,7
ÖNT 3	0,53	7,8	-	37,4	56,5
ÖNT 4	0,50	7,2	26,8	45,9	59,4
ÖNT 5	0,47	9,3	-	44,6	67,2
ÖNT 6	0,45	5,4	29,8	47,5	67,7
ÖNT 7	0,429	14,71	-	49,7	75,7
ÖNT 8	0,60	10,61	-	40,1	64,0
ÖNT 9	0,56	5,6	23,9	43,2	66,5
ÖNT 10	0,53	13,93	-	43,0	70,5
ÖNT 11	0,50	5,4	28,3	51,0	77,3
ÖNT 12	0,47	16,47	-	46,6	78,1
ÖNT 13	0,45	5,5	34,3	57,0	83,3
ÖNT 14	0,429	16,86	-	52,4	81,0
ÖNT 15	0,60	11,36	-	47,3	63,0
ÖNT 16	0,56	7,6	26,0	44,9	69,0
ÖNT 17	0,53	11,64	-	53,1	71,1
ÖNT 18	0,50	6,4	31,8	53,9	78,4
ÖNT 19	0,45	6,2	27,4	54,2	79,2
ÖNT 20	0,429	15,96	-	62,2	84,5
ÖNT 21	0,60	11,93	-	39,3	53,6
ÖNT 22	0,429	14,9	-	53,8	69,6

7. táblázat Nyomószilárdsági eredmények
Table 7. Compressive strength results

Jele	Cement	v/c	Friss-beton testsúrűsége [kg/m ³]	Beton test-sűrűsége 28 napos korban [kg/m ³]	Átlagos vízbehatolási mélység [mm]	Környezeti osztály
[·]	[kg/m ³]	[mm]				
1	300	0,60	2326	2284	28,4	XV2 (H)
2	320	0,56	2363	2324	24,2	XV2 (H)
3	340	0,53	2283	2294	21,9	XV2 (H)
4	360	0,50	2371	2340	16	XV3 (H)
5	380	0,47	2359	2332	15,4	XV3 (H)
6	400	0,45	2362	2337	14,5	XV3 (H)
7	420	0,43	2321	2298	14,1	XV3 (H)
8	300	0,60	2344	2312	15,1	XV3 (H)
9	320	0,56	2355	2345	11	XV3 (H)
10	340	0,53	2291	2313	8,9	XV3 (H)
11	360	0,50	2345	2347	5	XV3 (H)
12	380	0,47	2282	2274	8,75	XV3 (H)
13	400	0,45	2351	2334	8	XV3 (H)
14	420	0,43	2323	2316	8,9	XV3 (H)
15	320	0,56	2365	2339	10	XV3 (H)
16	360	0,50	2357	2328	5,5	XV3 (H)
17	400	0,45	2376	2352	9,6	XV3 (H)
ÖNT 1	300	0,60	2310	2290	18,8	XV3 (H)
ÖNT 2	320	0,56	2374	2333	16	XV3 (H)
ÖNT 3	340	0,53	2383	2262	15,4	XV3 (H)
ÖNT 4	360	0,50	2383	2351	15	XV3 (H)
ÖNT 5	380	0,47	2354	2303	9,3	XV3 (H)
ÖNT 6	400	0,45	2397	2371	9	XV3 (H)
ÖNT 7	420	0,429	2321	2298	7,5	XV3 (H)
ÖNT 8	300	0,60	2316	2298	10,7	XV3 (H)
ÖNT 9	320	0,56	2365	2356	14,2	XV3 (H)
ÖNT 10	340	0,53	2437	2311	6,2	XV3 (H)
ÖNT 11	360	0,50	2376	2353	9	XV3 (H)
ÖNT 12	380	0,47	2335	2317	6,4	XV3 (H)
ÖNT 13	400	0,45	2390	2376	6	XV3 (H)
ÖNT 14	420	0,429	2349	2311	6,6	XV3 (H)
ÖNT 15	300	0,60	2337	2290	8,1	XV3 (H)
ÖNT 16	320	0,56	2370	2342	10	XV3 (H)
ÖNT 17	340	0,53	2334	2317	7,6	XV3 (H)
ÖNT 18	360	0,50	2397	2355	8	XV3 (H)
ÖNT 19	400	0,45	2356	2363	7	XV3 (H)
ÖNT 20	420	0,429	2339	2309	5,2	XV3 (H)
ÖNT 21	300	0,60	2326	2331	15,8	XV3 (H)
ÖNT 22	420	0,43	2317	2321	9,9	XV3 (H)

8. táblázat Vízzárásági eredmények
Table 8. Watertightness results

4.3 Vízzárósgági vizsgálatok

A vízzárósgági vizsgálatot az MSZ EN 12390-8:2009 szabvány alapján WE 6 MM jelű készülékkel hajtottuk végre. Receptúránként 3-3db 150 cm élhosszúságú kockát tartottunk 72 óráig a berendezésben. A víznyomás a kísérlet ideje alatt végig 5 bar volt. A vizsgálati eredményeket a 8. táblázatban foglaltuk össze.

5. Kísérleti eredmények értékelése

5.1 A nyomószilárdsági vizsgálat eredményeinek értékelése

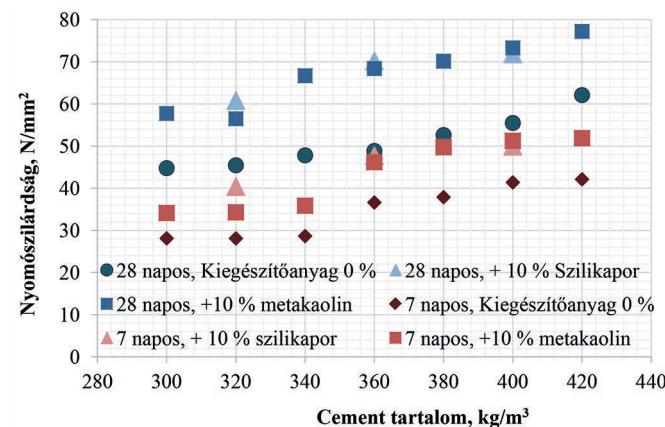
A kísérlet során kapott szilárdsági eredményeket részletesen a 7. táblázat tartalmazza.

A nyomószilárdsági vizsgálatokat 1, 2, 7 és 28 napos korban végeztük el 3-3 próbatesten.

5.1.1 A szokványos betonok nyomószilárdsága

Az 1. ábra mutatja az egyes keverékek szilárdságának alakulását. A hozzáadott víz mennyisége állandó volt, így a cementtartalom növekedésével csökkent a víz-cement tényező, ami a szilárdságnövekedést okozhatta.

A metakaolin és a szilikátor nyomószilárdság növelő hatása jól megfigyelhető állandó víz-cement tényező esetén, de a metakaolin tartalmú és a szilikátor tartalmú összetételek közti nyomószilárdság különbségét nem tapasztaltuk. Állandó víztartalom mellett a 10 % metakaolin és szilikátor adagolással nagyobb nyomószilárdságot értünk el, mint többlet 10% cement adagolással.



1. ábra Szokványos betonok nyomószilárdsága cementtartalom függvényében állandó víz-cement tényező mellett

Fig. 1. Compressive strength of conventional concretes in the function of cement content

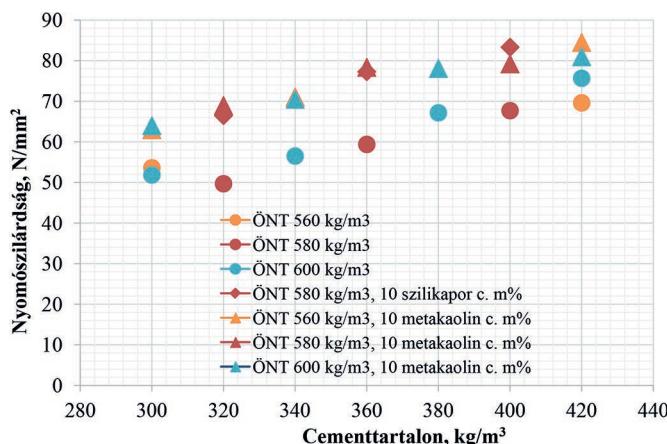
Az 1. ábrán megfigyelhetjük, hogy a nagyobb víz-cement tényező esetén a metakaolin és a szilikátor nagyobb mértékben fejt ki hatását. Víz jelenlétében a metakaolin vagy a szilikátor és a cement hidratációjából keletkező kalcium-hidroxid reakcióba lép, melynek eredménye kalcium-szilikát-hidrát (CSH). A nagyobb v/c tényezővel rendelkező receptúra esetén több víz párlog el, ami után nagyobb kapillárisok maradnak a beton mikrostruktúrájában, ahol könnyebben végbemegy ez a reakció.

5.1.2 Az öntömörödő betonok nyomószilárdsága

A 2. és 3. ábra mutatja az egyes keverékek szilárdságának alakulását 7 napos és 28 napos korban. Az öntömörödő betonoknál is hasonlóan alakult a hőmérséklet, mint a szokványos betonoknál. A hozzáadott víz mennyisége állandó volt, így a cementtartalom növekedésével csökkent a víz-cement tényező, ami a szilárdságnövekedést okozhatta.

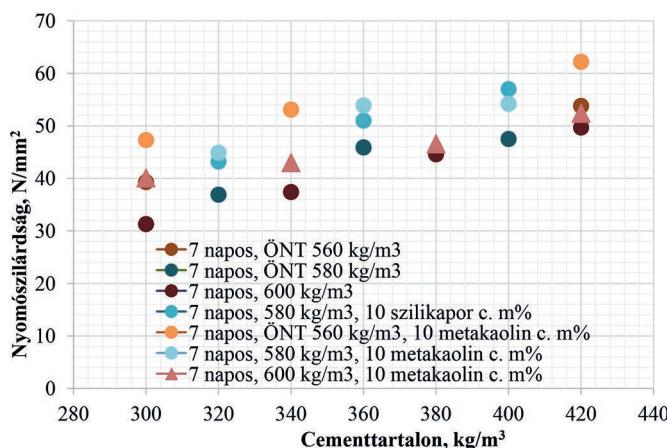
A metakaolin és a szilikátor nyomószilárdság növelő hatása itt is jól megfigyelhető állandó víz-cement tényező esetén. A metakaolin tartalmú és a szilikátor tartalmú összetételek közt nyomószilárdság különbséget nem tapasztaltunk.

A 2. ábrán és 3. ábrán is megfigyelhetjük, hogy a nagyobb víz-cement tényező esetén a metakaolin és a szilikátor nagyobb mértékben fejt ki hatását. Továbbá a kisebb víz-cement tényező és nagyobb finomrész-tartalom (600 kg) esetén kisebb a metakaolin hatása a nyomószilárdságra. A megállapítások 28 napos korra vonatkoznak.



2. ábra A öntömörödő betonok nyomószilárdsága cementtartalom függvényében állandó víztartalom mellett 28 napos korban

Fig. 2. Compressive strength of self compacting concretes in the function of cement content (water content constant; 28 days of age)



3. ábra A öntömörödő betonok nyomószilárdsága cementtartalom függvényében állandó víztartalom mellett 7 napos korban

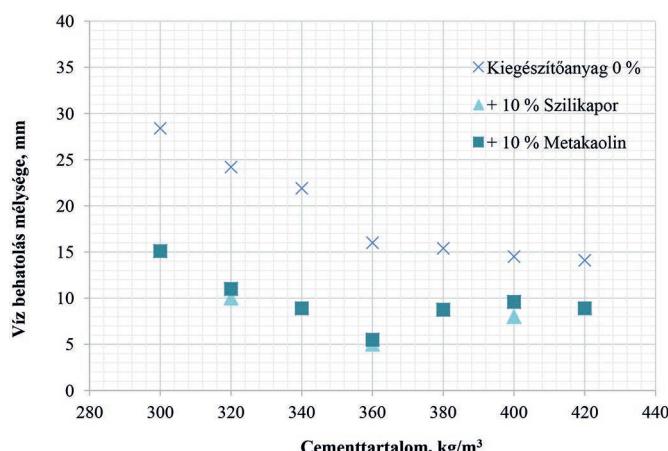
Fig. 3. Compressive strength of self compacting concretes in the function of cement content (water content constant; 7 days of age)

5.2 A vízzárósági vizsgálat eredményeinek értékelése

Minden keverés esetén végeztünk vízzárósági vizsgálatot is. Keveréseként 3-3 próbatestet vizsgáltunk, a vízbehatolás mértékét a három mérés átlaga adta.

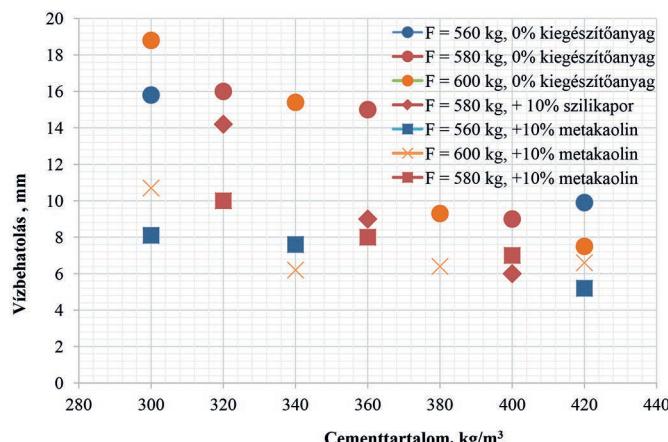
Szokványos betonok esetén, a kísérletek alapján a vízbehatolásra vonatkozó, XV3 (H) osztályhoz tartozó max. 20 mm előírást kivétel nélkül mindegyik próbatest teljesítette, ahol a víz-cement tényező kisebb volt, mint 0,53. Ahol szilikaport vagy metakaolint adagoltunk, ott mindegyik próbatest teljesítette az XV3 (H) osztályt (lásd 4. ábra). Ezzel szemben, ha a szabvány által előírt paraméterek alapján vizsgáltuk a betonokat, egy vagy akár két osztállyal is gyengébb kategóriába kerültek. Érdemes megfigyelni, hogy a gyengébb osztályba sorolás oka az esetek kb. 70 %-ban az volt, hogy a betonok nem feleltek meg a testsűrűségre előírt követelményeknek. Az eredmények alapján tehát jogos az előírások újragondolása, a testsűrűségre előírt feltételek változtatása vagy akár törlése a szabványból.

Öntömörödő betonok esetén, a kísérletek alapján a vízbehatolásra vonatkozó, XV3 (H) osztályhoz tartozó max. 20 mm előírást kivétel nélkül mindegyik próbatest teljesítette. Ahol szilikaport vagy metakaolint adagoltunk, ott mindegyik próbatest teljesítette az XV3 (H) osztályt és a vízbehatolás különbségek mértéke elhanyagolható volt (lásd 5. ábra).



4. ábra A szokványos betonok vízbehatolása cementtartalom függvényében állandó víztartalom mellett

Fig. 4. Water penetration into conventional concretes (water content constant)



5. ábra Az öntömörödő betonok vízbehatolása cementtartalom függvényében állandó víztartalom mellett

Fig. 5. Water penetration into self compacting concretes (water content constant)

6. Összefoglalás

Összesen 39 különböző keveréket készítettünk.

A kísérletek során alkalmazott összetételekben a következő állandó és változó paramétereink voltak:

Állandó paraméterek:

- szemeloszlási görbe,
- cement fajta,
- víz adagolás: 180 l/m³,
- metakaolin vagy szilikaport adagolása 10 %.

Változó paraméterek:

- cement mennyisége 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420 kg/m³ és az által a v/c tényező,
- öntömörödő betonok esetén mészkliszt adagolás és finomrész-tartalom.

A következő megállapítások tehetők a fent említett paraméterek függvényében:

Nyomószilárdságra vonatkozóan:

- A cement tömegére vonatkoztatott 10 m%-os mennyiségen történő metakaolin vagy szilikaport adagolás mellett a szokványos és öntömörödő betonok esetében a nyomószilárdság átlagosan 15-30%-kal nő. Állandó víz mennyisége mellett a 10 m% metakaolin vagy szilikaport adagolás esetén nagyobb szilárdság növekedést értünk el, mint 10 % többlet cement adagolással.
- Nagyobb víz-cement tényező esetén nagyobb hatást értünk el a metakaolin vagy szilikaport adagolással a kis víz-cement tényezőhöz képest. Víz jelenlétében a metakaolin vagy a szilikaport és a cement hidratációjából keletkező kalcium-hidroxid reakcióba lép, melynek eredménye kalcium-szilikát-hidrát (CSH).
- Metakaolin vagy szilikaport adagolása közötti nyomószilárdság különbséget nem észleltünk 28 napos korban.
- A finomrész tartalom változtatása során azt állapítottuk meg, hogy egy adott mészkliszt adagolás túllépése szilárdságcsökkenéshez vezet.
- Az öntömörödő betonok esetében a szilikaport és a metakaolin azonos adagolása a normál betonokhoz képest jobban kifejtette a hatását. A normál beton esetén a k érték felülről közelíti a 2-öt, míg az öntömörödő betonknál felülről közelíti a 3-at.

Vízzáróságra vonatkozóan:

- A vízzárósági vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy a metakaolin vagy szilikaport adagolás csökkenti a vízbehatolás mértékét.
- Szokványos és öntömörödő betonok esetén a 0,5 alatti víz-cement tényezőnél a vízbehatolás mélysége csekély mértékben változik a v/c csökkenésével. A metakaolin vagy szilikaport adagolásával a vízbehatolás mélységének változása nem észlelhető.
- A mért vízbehatolási mélységek 5 és 30 mm tartomány közé estek.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatásáért (OTKA K 109223).

Külön köszönet illeti Mogyorósi Zsuzsát, Szántó Juditot, Eipl Andrászt, Molnár Pétert és Takács Krisztiánt, a fáradságot és időt nem kímélő laboratóriumi munkájukért.

Irodalomjegyzék

(a cikksorozat 1. és 2. részére vonatkozóan)

- Alshamsi, A. M. – Sabouni, A. R. – Bushlaibi, A. H. (1993): Influence of set-retarding superplasticisers and microsilica on setting times of pastes at various temperatures. *Cement and Concrete Research*, Vol. 23, No. 3, pp. 592-598. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(93\)90009-X](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(93)90009-X)
- Asbridge, A. H. – Walters, G. V. – Jones, T. R. (1994): Ternary blended concretes-OPC/ggbfs/meta kaolin. *Proc. Int. Sym. Concrete across borders*, Denmark. 1994.
- BASF: Tervezési segédlet öntömörödő beton készítéséhez Glenium® adalékszerrel. *BASF Építőkémia Hungária Kft.*
- Chandra, S. (1997): Waste Materials Used in Concrete Manufacturing. *Noyes Publication*, Göteborg. 1997.
- chemie.at.
<http://www.chemie.at/WebKatalog.aspx?se=category&id=26>. (2015.02.01.)
- Elkem. <http://www.concrete.elkem.com/dav/38b6b593db.pdf>. (2015.02.01.)
- Joa, B.-W. – Kima, C.-H. – Taeb, G.-h. – Parka, J.-B. (2007): Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, No. 6, pp. 1351-1355.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.020>
- Jones, T. R. – Walters, G. V. – Kostuch, J. A. (1992): Role of metakaolin in suppressing asr in concrete containing reactive aggregate and exposed to NaCl solution. *Proc. Int. Conf. on AAR*, London. 1992.
- Justice, J. M. – Kurtis, K. (2007): Influence of Metakaolin Surface Area on Properties of Cement-based Materials. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 19, No. 9, pp. 762-771.
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:9\(762\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(762)
- Khayat, K. H. – Aitcin, P. C. (1993): Silica fume: a unique supplementary cementitious material. *Mineral Admixtures in Cement and Concrete*, Vol. 4.
- Kurtis, K. E. (2011): Benefits of Metakaolin in HPC. *HPC Bridge Views*, Vol. 67.
- Larbi, J. A. – Bijen, J. M. (1991): The role of silica fume and metakaolinite in the Portland cement paste-aggregate interfacial zone in relation to the strength of mortars. *PhD értekezés*, Delft University.
- Mehta, P. K. – Monteiro, P. J. M. (2006): Concrete - Microstructure, Properties, and Materials. 3. kiadás. *McGraw Hill*, USA.
- Mindess, S. – Young, J. F. – Darwin, D. (2003): Concrete. *Pearson Education*, Upper Saddle River, New Jersey. 2003.
- Morgan, D. R. – Wolsiefer, J. T. (1991): Silica fume in shotcrete. CANMET/ACI International Workshop on the use of Silica in Concrete, Washington. 1991.
- Nehme, S. G. (2004): A beton porozitása. *PhD értekezés*, BME.
- Neville, A. M. (2002): Properties of concrete. 4th Edition. *Pearson Education*, Harlow, England. 2002.
- Newchem. http://catalogue.newchem.org/hungary/Up_files%5CTDS%20Metaver%20N-hu.pdf. (2015.02.01.)
- Newman, J. – Choo, B. S. (2003): Advanced Concrete Technology 3 – Processes. *Elsevier*, Oxford. 2003
- Novák, D. – Novák E. (2009): Slagstar 42,5N C3A-mentes új speciális cementfajta az agresszív kémiai korrozió ellen. *Vasbetonépítés*, 2009/3 XI. évfolyam, 3. szám
- Pera, J. (2001): Metakaolin and calcined clays, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 23, No. 6, pp. iii [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00098-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00098-6)
- Poon, C. S. – Lam, L. – Kou, S. C. – Wong, Y. L. – Wong, R. (2001): Rate of pozzolanic reaction of metakaolin in high-performance cement pastes. *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 9, pp. 1301-1306.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00581-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00581-6)
- Ramachandran, V. S. (1996): Mineral admixtures. *Noyes Publications*, USA.
- Riesz, L. (1989): Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ, Budapest.
- Scrivener, K. L. – Nemati, K. M. (1996): The Percolation of Pore Space in the Cement Paste/Aggregate Interfacial Zone of Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 35-40.
[http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00185-9](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(95)00185-9)
- Siddique, R. – Khan, M. I. (2011): Supplementary Cementing Materials. *Springer – Verlag*, Berlin.
- Siddique, R. (2008): Waste Materials and By-Products in Concrete. *Springer – Verlag*, Berlin.
- Sika. <http://hucon.webdms.sika.com/fileshow.do?documentID=637>. (2015.02.01.)
- Sydney_Construction_Materials.
http://www.sydneyconstructionmaterials.com.au/mk_pozzolan.html. (2015.02.01.)
- Szilágyi, K. – Borosnyói, A. (2009): 50 years of experience with the Schmidt rebound hammer, *Concrete Structures*, Vol. 10, pp. 46-56.
- Wild, S. – Khatib, J. M. – Jones, A. (1996): Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 10, pp. 1537-1544.
[http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00148-2](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(96)00148-2)

Ref.:

Nehme, Salem G.: Kiegészítőanyagok hatása a szokványos és az öntömörödő betonokra.
 2. rész. Laboratóriumi vizsgálatok
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 2 (2015), 71–78. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jbcm.2015.12>

**Topic Overview**

On the chemie.de topic pages you find science and product information, news, facts and backgrounds on techniques, products, disciplines, companies, chemicals, and other topics regarding chemistry, analytics and chemical engineering. The dossiers offer you fast and easy access to different subjects and combine basic and specific information, trends and development in a comprehensive overview.



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

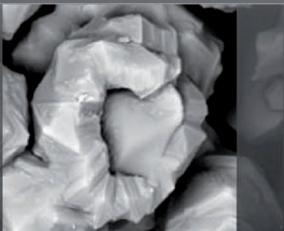
Authors must sign the Copyright Transfer Agreement before the paper is published. The Copyright Transfer Agreement enables SZTE to protect the copyrighted material for the authors, but does not relinquish the author's proprietary rights. Authors are responsible for obtaining permission to reproduce any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



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**.





70% of the world's population lives in concrete structures.

The concrete in a standard family house costs less than € 7000.

The energy consumption of conventional buildings is typically 150-200 kWh/m²/year.

Existing concrete technology enables buildings that use 50 kWh/m²/year or less.

The concrete used in the Channel Tunnel is contractually guaranteed to last for 120 years.

Every km of concrete can reduce the CO₂ emissions of vehicles by 1000-4000 tonnes over a 30 year period.
For every € 1 spent on construction output a total of € 3 are generated in total economic activity (GDP increase).

The value of concrete production in Europe is € 74 billion.



www.theconcreteinitiative.eu



PERLIT-92 KFT

HUNGARY

3994 Pálháza

Ipartelep út 22-24

Phone: +36 47 370 024

Phone/fax: +36 47 370 515

E-mail: perlit92@t-online.hu

www.perlit92.hu

The only one perlite quarry in Hungary is located in Pálháza. The quarry has been in operation since 1959. The milling, drying and grading of perlite is completed in a dressing plant close to the quarry, according to the demand of the customers. Perlit-92 Kft. has opened its second mine in 2006, that ensures raw perlite supply for another 80 years. Important developments in the last 5 years:

- environment protection,
- mining machinery,
- development of the grinding and classifying works,
- modernization of transport.

The perlite grinding suitable for expansion is produced from the perlite rock by crushing, drying and grading. The adherent water content of the raw perlite is changing between 2 and 5%.

In the milling and grading plant in Pálháza, twelve different grain sizes are produced at present.

The material coming out of the quarry and the milling plant is qualified according to following aspects:

1. Expansivity: In the lab grains of size 0.1-0.3 mm are expanded in a lab-oven. The bulk density of the expanded material must not exceed 35 g/l.
2. Dead rock content: The dead rock content of the perlite is checked by wet separation. The permitted dead rock content is max. 5%.
3. Surface moisture: The ground perlite is dried until weight uniformity at 105 °C. The moisture content of the material has to be under 1%.
4. Grain Monitoring
5. Strength: The uniaxial strength of the perlite coming out of the blowing lab-oven is tested by a compaction of 20 and 40% respectively according to the Brook-method.

