

építőanyag

A Szilikátipari Tudományos Egyesület lapja

Journal of Silicate Based and Composite Materials

A TARTALOMBÓL:

- Enhancement of properties and biodegradability of polybutylene succinate by epoxidized palm oil
- Reinforcement corrosion and concrete crack width
- 20 years – A dozen bottles
- In situ application of high and ultra high strength concrete
- Development of geopolymers based composite from secondaries

2016/1



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**.



TARTALOM

- 2** Polibutilén-szukcinát tulajdonságainak és biológiai lebomlókéességének javítása epoxidált pálmaolajjal
Hassan Raheem Hammood AL-DUHAI DAHWI ■ Emad A. Jaffar AL-MULLA ■ Hana'a Addai ALI
- 6** Beton repedéstágassága és a betonacél korrózió összefüggése
NAGY Réka Anna ■ BOROSNYÓI Adorján
- 14** 20 év – Tucatnyi üveg
SZEMÁN József
- 20** Nagyszilárdságú és ultra-nagyszilárdságú betonok gyakorlati alkalmazása
Abdulkader EL MIR ■ Salem Georges NEHME ■ NEHME Kinga
- 25** Geopolimer alapú kompozit fejlesztése melléktermékekből
SZABÓ Roland ■ MOLNÁR Zoltán ■ BALOGH Tamás ■ MÉSZÁROS Richárd

CONTENT

- 2** Enhancement of properties and biodegradability of polybutylene succinate by epoxidized palm oil
Hassan Raheem Hammood AL-DUHAI DAHWI ■ Emad A. Jaffar AL-MULLA ■ Hana'a Addai ALI
- 6** Reinforcement corrosion and concrete crack width
Réka Anna NAGY ■ Adorján BOROSNYÓI
- 14** 20 years – A dozen bottles
József SZEMÁN
- 20** In situ application of high and ultra high strength concrete
Abdulkader EL MIR ■ Salem Georges NEHME ■ Kinga NEHME
- 25** Development of geopolymer based composite from secondaries
Roland SZABÓ ■ Zoltán MOLNÁR ■ Tamás BALOGH ■ Richárd MÉSZÁROS

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

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG • EDITORIAL BOARD

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

TAGOK • MEMBERS

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

TANÁCSADÓ TESTÜLET • ADVISORY BOARD

FINTA Ferenc, KISS Róbert, Dr. MIZSER János

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



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

HIRDETÉSI ÁRAK 2016 • ADVERTISING RATES 2016:

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

Az árak az áfát nem tartalmazzák. • Without VAT.
A hirdetési megrendelő letölthető a folyóirat honlapjáról.
Order-form for advertisement is available on the website of the journal.

WWW.EPITOANYAG.ORG.HU

Online ISSN: 2064-4477 • Print ISSN: 0013-970X
INDEX: 2 52 50 • 68 (2016) 1–32

AZ SZTE TÁMOGATÓ TAGVÁLLALATALAI

SUPPORTING COMPANIES OF SZTE

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

Enhancement of properties and biodegradability of polybutylene succinate by epoxidized palm oil

Hassan Raheem Hammood
AL-DUHAI DAHWI

is a Post-graduate student in organic chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Kufa; main fields of interest: Bio-organic synthesis, Biodegradable polymers properties.

Emad A. Jaffar AL-MULLA

is an Asst. Prof. at University of Kufa, Faculty of Science, Department of Chemistry, Iraq; Director of Post-graduate Studies Office at above University; He has received his PhD from Universiti Putra Malaysia, Malaysia in 2010, He was a PostDoctoral researcher at the same University from April 2012 to April 2013; main fields of interest: bio-organic synthesis, nano-materials, Polymer nanocomposites; He has more than 40 papers in ISI journal; His website: http://www.researchgate.net/profile/Emad_Almulla

Hana'a Addai ALI

is an Asst. Prof. at University of Kufa, Faculty of Science, Department of Chemistry, Iraq; She has received his PhD from University of Babylon, Iraq in 2009; main fields of interest: biochemistry, scientific research pertaining to the chemical aspect of biomolecular and their reaction in vitro and in vivo.

HASSAN RAHEEM HAMMOOD AL-DUHAI DAHWI • University of Kufa • hassanraheem7@gmail.com

EMAD A. JAFFAR AL-MULLA • University of Kufa • imad.almulla@uokufa.edu.iq

HANA'A ADDAI ALI • University of Kufa • muthana_hana@yahoo.com

Érkezett: 2015. 12. 18. • Received: 18. 12. 2015. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.1>

Abstract

In this study, epoxidized palm oil (EPO) was employed as a modifier for polybutylene succinate (PBS) using chloroform as a solvent by solution casting process. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to identify the functional groups of PBS and PBS/EPO blends. Thermal stability and morphological properties of the blends were investigated by thermogravimetric analyzer (TGA) and scanning electron microscope (SEM) technique, respectively. Biodegradation of this blend was also studied. The FTIR spectra indicated that there are some molecular interactions by intermolecular hydrogen bond between PBS and EPO. The PBS/EPO blend showed high thermal stability and significant improvement of biodegradation compare to pure PBS. Morphological results of PBS/EPO blends showed that EPO was good miscible with PBS.

Keywords: biodegradable polymers; epoxidized palm oil; polybutylene succinate

1. Introduction

Recently, biodegradable polymers have attracted much attention as substitutes for petrochemicals-based polymers due to its benefits for both health and environmental protection [1, 2]. Accordingly, many efforts have been made by materials scientists and engineers to discover, develop and modify of biodegradable polymers derived from renewable resources [3]. Polybutylene succinate (PBS) is one of the biodegradable thermoplastic polyesters which can prepared from butanediol and succinic acid produced by fermentation process [4, 5]. In addition to its applications in textile industry and medical fields, PBS is a promising candidate to produce disposable packaging. However, low molecular weight and low stiffness and high cost restrict its applications [6]. Many studies have been conducted to enhance the properties by blending of biodegradable polymers with other polymers or using low molecular weight plasticizers [7–13]. The morphologies and phase behaviors of polylactic acid /PBS blend have been investigated by Park *et al* [14], while the structures and properties of this blend were studied by Yokohara *et al* [15]. Jin *et al* reported that physical, thermal properties and biodegradation of PBS were evaluated by modification it with peroxide [16].

In this study, epoxidized palm oil (EPO) was used to improve properties and biodegradation of PBS. EPO is produced from esters of glycerol in palm oil containing different of saturated and unsaturated fatty acids. It offers many advantages in chemical industries field because it is derived from renewable, biodegradable and abundant raw materials [9, 17, 18]. The literature review in research reveals there is no information for modification of PBS with EPO.

2. Materials and methods

2.1 Materials

Epoxidized palm oil was provided by Advanced Oleochemical Technology Division (AOTD), Malaysia. PBS and chloroform were purchased through local suppliers from Nagoya, Japan and Merck, Germany, respectively.

2.2 Preparation of PBS/EPO blends

The required amounts of PBS and EPO were dissolved in 10 ml chloroform separately. The EPO solution was then transferred into the PBS solution with a dropper and continuous stirring. After all the EPO solution was transferred into the PBS solution, the resultant mixture was then stirred for 1 hour. After that, the mixture was refluxed for 2 hours. The PBS/EPO blend was poured into a Petri dish and left to dry. The amount of PBS to EPO used in this study is listed in Table 1.

Sample	Weight of PBS (g)	Weight of EPO (g)
1	1.00	0.00
2	0.90	0.10
3	0.85	0.15
4	0.80	0.20
5	0.75	0.25
6	0.55	0.45

Table 1. The amount of the PBS/EPO blends
1. táblázat A PBS/EPO keverékek összetétele

2.3 Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy

The FTIR spectra of the blends samples were recorded by the FTIR spectrophotometer (Perkin Elmer FT-IR-Spectrum BX, USA) using KBr disc technique.

2.4 Scanning electron microscopy (SEM)

The morphology of tensile fracture surface of the blend was observed by scanning electron microscope (SEM) at room temperature. A JEOL (model JSM-6300F) SEM with field emission gun and accelerating voltage of 5 kV was used. A gold coating of a few nanometres in thickness was coated on tensile fracture surfaces.

2.5 Thermogravimetric analyzer (TGA)

The thermal stability of the samples was studied by using Perkin Elmer model TGA 7 Thermogravimetric analyzer was used to measure the weight loss of the samples. The samples were heated from 30 to 800 °C with the heating rate of 10 °C min⁻¹ under nitrogen atmosphere at the flow rate of 20 ml min⁻¹.

2.6 Biodegradation test

The biodegradability of the PBS, PBS /EPO blend and the PCL/CS-OMMT nanocomposite was determined as per ASTM D5338-92. A mixture of mature compost (200 g, wet weight) and the plastics (5%, on a dry basis) were introduced and incubated at 58 °C. The moisture content of the compost was maintained at 65%. CO₂ produced from the compost was absorbed by a 0.4 N potassium hydroxide and 2 N barium chloride mixture solution, and was quantified by titrating the solution with 0.2 N HCl.

3. Results and discussion

According to our recent paper [19], the PBS/EPO blend at the weight ratio of 55/45 has redox property. Therefore, this ratio was used in the subsequent experiments.

The FTIR spectra of PBS and PBS/EPO blend are shown in Figs. 1 and 2. The peaks located at 2.947 and 1.714 cm⁻¹ of PBS were assigned to the stretching vibration of -CH₂ and vibration of -C=O bonds, respectively; while in the blend material these peaks were found in the neutralized regions of 2.926 and 1.718 cm⁻¹. This result is in agreement with previous results that show the peaks of infrared were shifted due to the interaction between polylactic acid and EPO in this blend [9]. The FTIR result indicates that there are some molecular interactions between PBS and EPO. It was believed that hydrogen bonding could be formed between the ester group of PBS and the oxirane group of EPO.

The interaction between PBS and EPO may also be attributed to the possible hydrogen bonding that occurs between the oxirane group in EPO and the small amount of terminal hydroxyl groups in the PBS main chain. A proposed possible site for interaction between PBS and EPO is shown in Fig. 3. FTIR spectrum of the neat PBS supports this claim which shows a peak at 3.433 cm⁻¹ (hydroxyl group stretching). It was observed this characteristic peak in the neutralized regions of 3.431 cm⁻¹ with decrease in the relative strength of this peak due to incorporation of EPO in the PBS.

Thermogravimetric analysis was used to study the thermal stability of PBS/EPO blends by measuring their thermal decomposition temperature at the onset and end of weight loss. Higher decomposition temperature means better thermal

stability for the blends. The thermal decomposition temperature at the onset and end of weight loss for PBS/EPO blends was shown in Fig. 2. With the addition of EPO, the thermal stability of PBS component was increased. For example, the onset of PBS increased from 330 to 350 °C and the end of decomposition process increased from 430 to 480 °C (Fig. 4). It is clear that the increase of thermal stability of PBS came from the effect of EPO.

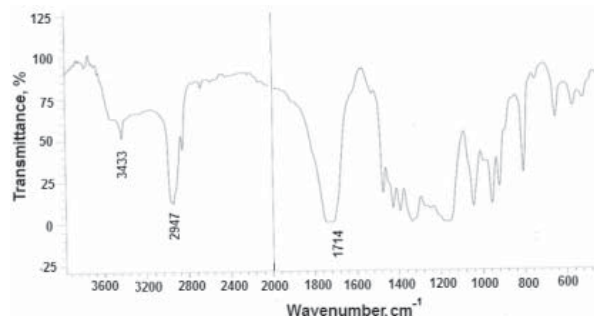


Fig. 1 The FTIR spectrum of EPO
1. ábra Epoxidált pálmaolaj FTIR spektruma

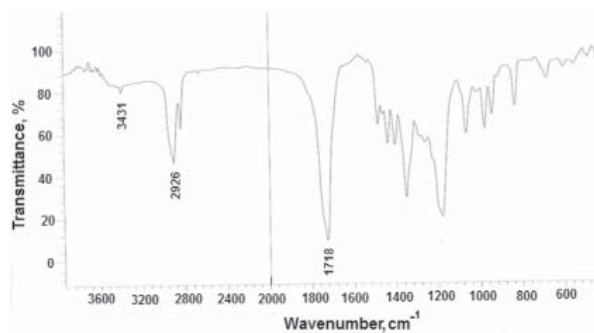


Fig. 2 The FTIR spectrum of PBS/EPO blend
2. ábra PBS/EPO keverék FTIR spektruma

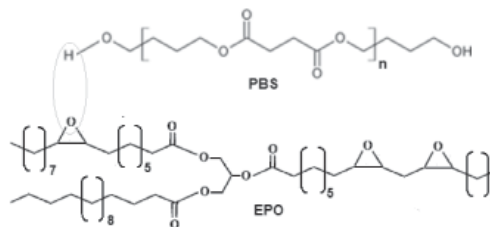


Fig. 3. Proposed chemical interactions (intramolecular hydrogen bonding) between PBS and EPO
3. ábra Feltételezett kémiai kölcsönhatások (molekulaközi hidrogénkötések) a PBS és EPO között

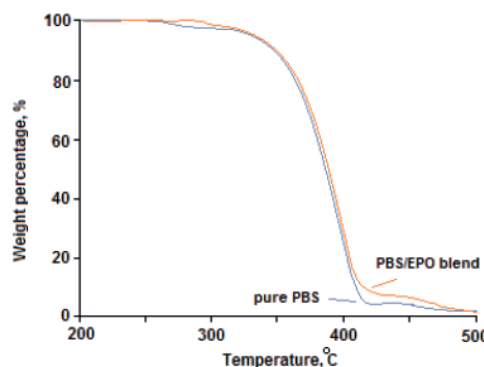


Fig. 4 Thermograms of PBS/EPO blends
4. ábra PBS/EPO keverékek termogramjai

The biodegradation of PBS and PBS/EPO blend was studied by the weight loss in the compost. The weight change of the PBS/EPO blend in the compost at 58 °C is shown in Fig. 5. The biodegradability of neat PBS blend increases with increasing of incubation time after blending with EPO. It is clearly seen that the biodegradability is significantly enhanced after 60 days (4.90% weight loss).

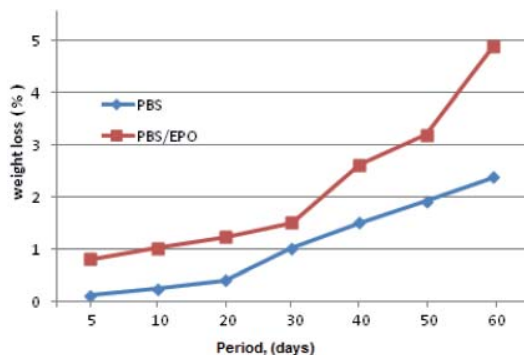


Fig. 5 Weight loss of pure PBS and PBS/EPO blend
5. ábra Tiszta PBS és PBS/EPO keverék tömegvesztése

Phase morphology of the neat PBS and PBS/EPO blends were assessed by SEM. The SEM image of the neat PBS and PBS/EPO blend are shown in Fig. 6. SEM of PBS/EPO blends micrographs show very good compatible morphologies without the edge, cavity, and holes resulting from poor interfacial adhesion. It is possible that the good adhesion of these blends is due to molecular interactions between PBS and EPO that could create hydrogen bonds.

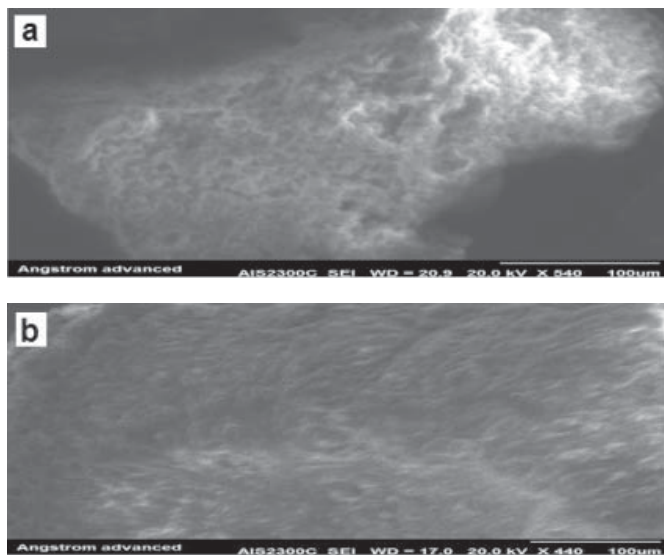


Fig. 6 SEM micrographs of fracture surfaces of pure PBS and PBS/EPO blend
6. ábra Törésfelületek SEM felvételei tiszta PBS és PBS/EPO keverék esetén

4. Conclusion

The modification of EPO by new renewable, biodegradable and abundant raw materials (EPO) via solution casting process using chloroform as a solvent was reported. The results indicate that improved biodegradability could be achieved by incorporation of EPO. FTIR spectroscopy shows some molecular interactions by intermolecular hydrogen bond between PBS and EPO. In addition to high thermal stability properties was observed for

PBS/EPO blends compare to pure PBS, SEM micrographs of PBS/EPO blends show good compatible.

References

- [1] Oishi, A. – Zhang, M. – Nakayama, K. – Masuda, T. – Taguchi, Y. (2006): Synthesis of poly(butylene succinate) and poly(ethylene succinate) including diglycollate moiety. *Polymer Journal*, Vol. 38, No. 7, pp. 710–715. <http://dx.doi.org/10.1295/polymj.PJ2005206>
- [2] Al-Mulla, E. A. J. (2011): Preparation of poly(lactic acid)/epoxidized palm oil/fatty nitrogen compounds modified clay nanocomposites by melt blending. *Polymer Science Series A*, Vol. 53, No. 2, pp. 149–157. <http://dx.doi.org/10.1134/S0965545X11020015>
- [3] Reddy, M. M. – Mohanty, A. K. – Misra, M. (2012): Biodegradable blends from plasticized soy meal, polycaprolactone, and poly(butylene succinate). *Macromolecular Materials and Engineering*, Vol. 297, pp. 455–463. <http://dx.doi.org/10.1002/mame.201100203>
- [4] Cho, H. S. – Moon, H. S. – Kim, M. – Nam, K. – Kim, J. Y. (2010): Biodegradability and biodegradation rate of poly(caprolactone)-starch blend and poly(butylene succinate) biodegradable polymer under aerobic and anaerobic environment. *Waste Management*, Vol. 31, pp. 475–480. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.029>
- [5] Sugihara, S. – Toshima, K. – Matsumura, S. (2006): New Strategy for Enzymatic Synthesis of High-Molecular-Weight Poly(butylene succinate) via Cyclic Oligomers. *Macromolecular Rapid Communications*, Vol. 27, pp. 203–207. <http://dx.doi.org/10.1002/marc.200500723>
- [6] Liu, L. – Yu, J. – Cheng, L. – Qu, W. (2009): Mechanical properties of poly(butylene succinate) (PBS) biocomposites reinforced with surface modified jute fibre. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 40, pp. 669–674. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.03.002>
- [7] Al-Mulla, E. A. J. – Yunus, W. M. Z. W. – Ibrahim, N. A. B. – Rahman, Z. A. M. (2010): Epoxidized palm oil plasticized poly(lactic acid)/fatty nitrogen compound modified clay nanocomposites: Preparation and characterization. *Polymers & Polymer Composites*, Vol. 18, pp. 451–459.
- [8] Dean, K. – Yu, L. – Bateman, S. – Wu, D. Y. (2007): Gelatinized starch/biodegradable polyester blends: Processing, morphology, and properties. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 103, No. 2, pp. 802–811. <http://dx.doi.org/10.1002/app.25149>
- [9] Al-Mulla, E. A. J. – Yunus, W. M. Z. W. – Ibrahim, N. A. B. – Rahman, Z. A. M. (2010): Properties of epoxidized palm oil plasticized poly(lactic acid). *Journal of Materials Science*, Vol. 45, pp. 1942–1946. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-009-4185-1>
- [10] Al-Mulla, E. A. J. (2011): Preparation of new polymer nanocomposites based on poly(lactic acid)/fatty nitrogen compounds modified clay by a solution casting process. *Fibers and Polymers*, Vol. 12, No. 4, pp. 444–450. <http://dx.doi.org/10.1007/s12221-011-0444-2>
- [11] Al-Mulla, E. A. J.: Poly(lactic acid)/epoxidized palm oil/fatty nitrogen compounds modified clay nanocomposites: preparation and characterization. *Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol. 28, No. 2, pp. 620–626. <http://dx.doi.org/10.1007/s11814-010-0373-6>
- [12] Radhi, M. M. – Al-Mulla, E. A. J. (2015): Use of a grafted polymer electrode to study mercury ions by cyclic voltammetry. *Research on Chemical Intermediates*, Vol. 41, pp. 1413–1420. <http://dx.doi.org/10.1007/s11164-013-1282-1>
- [13] Shemmari, F. A. – Rabah, A. A. A. (2014): Comparative study of different surfactants for natural rubber clay nanocomposite preparation. *Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali*, Vol. 25, pp. 409–413. <http://dx.doi.org/10.1007/s12210-014-0307-z>
- [14] Park, J. W. – Im, S. S. (2002): Phase behavior and morphology in blends of poly(L-lactic acid) and poly(butylene succinate). *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 86, pp. 647–655. <http://dx.doi.org/10.1002/app.10923>
- [15] Yokohara, T. – Yamaguchi, M. (2008): Structure and properties for biomass-based polyester blends of PLA and PBS. *European Polymer Journal*, Vol. 44, pp. 677–685. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.01.008>
- [16] Kim, D. J. – Kim, W. S. – Lee, D. H. (2001): Modification of Poly(butylene succinate) with Peroxide: Crosslinking, Physical and Thermal Properties, and Biodegradation. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 81, No. 5, pp. 1115–1124. <http://dx.doi.org/10.1002/app.1534>

- [17] Al-Mulla, E. A. J. (2011): Lipase-catalyzed synthesis of fattythioic acids from palm oil. *Journal of Oleo Science*, Vol. 60, pp. 41-45.
<http://dx.doi.org/10.5650/jos.60.41>
- [18] Al-Mulla, E. A. J. – Yunus, W. M. Z. W. – Ibrahim, N. A. B. – Rahman, Z. A. M. (2010): Difatty acyl urea from corn oil: synthesis and characterization. *Journal of Oleo Science*, Vol. 59, pp. 157-160.
<http://dx.doi.org/10.5650/jos.59.157>
- [19] Al-Duhaidahwi, H. R. H. – Al-Mulla, E. A. J. – Ali, H. A. (2016): Redox properties of polybutylene succinate/epoxidized palm oil modified glassy carbon electrode using cyclic voltammetric technique. Accepted for publication in *Der Pharma Chemica*

Ref.:

Al-Duhaidahwi, Hassan Raheem Hammood – Al-Mulla, Emad A. Jaffar – Ali, Hana'a Addai: *Enhancement of properties and biodegradability of polybutylene succinate by epoxidized palm oil* Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 68, No. 1 (2016), 2–5. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.1>

Polibutilén-szukcinát tulajdonságainak és biológiai lebomlókéességének javítása epoxidált pálmaolajjal

A szerzők bemutatják az epoxidált pálmaolaj (EPO) hatását polibutilén-szukcinátra (PBS), kloroform oldószer felhasználásával. A vizsgált keverékek funkciós csoportjait Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával (FTIR) határozták meg, míg a termikus stabilitást és a morfológiai jellemzőket termogravimetriai (TGA) eljárással és pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálattal ellenőrizték. Az FTIR spektrumok igazolták az EPO és PBS összetevők között kialakuló molekulaközi hidrogénkötések meglétét. A létrehozott elegyek termikus stabilitása jó, és a biológiai lebomlókéességük számottevően jobb, mint a kezeletlen PBS komponensé. A morfológiai vizsgálatok igazolták, hogy az EPO és PBS összetevők jól elegyednek egymással.

Kulcsszavak: biológiailag lebomó polimerek; epoxidált pálmaolaj; polibutilén-szukcinát



The European Polymer Federation (EPF) is an umbrella organization of national polymer groups in Europe.

The goal of EPF is to coordinate, inform about and support the development of polymer science in Europe.

Currently EPF has 24 full members and 5 associate members from 27 countries.

Major activities of EPF is the organization of congresses, conferences, workshops and summer schools.

The EPF is guided by its chairlady, general secretary, executive committee and general assembly.

The EPF is a non-profit organization.

WWW.EUROPOLYFED.ORG

Beton repedéstágassága és a betonacél korrózió összefüggése

NAGY Réka Anna

Okleveles szerkezet-építőmérnök (MSc).
Tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán végezte. Doktorandusz az Építőanyagok és Magasépítés Tanszéken.
Fő érdeklődési területei: vasbeton szerkezetek repedései, építőanyagok tartóssága, szálerősítésű polimer (FRP) betétek alkalmazása betonban

NAGY RÉKA ANNA • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem • nagy.reka@epito.bme.hu
DR. BOROSNYÓI ADORJÁN • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem • borosnyoi.adorjan@epito.bme.hu
Érkezett: 2015. 11. 30. • Received: 30. 11. 2015. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.2>

Reinforcement corrosion and concrete crack width

Reinforced concrete is a widely used construction material. However, corrosion of steel reinforcement might be a danger to its durability. In this paper the corrosion mechanism of steel reinforcement in concrete is introduced. Literature and case studies are reviewed on concrete crack width and its effect on reinforcement corrosion. The results found in different sources proved to be inconsistent. Crack width variation within concrete cover is presented as a reason. The influencing factors of reinforcement corrosion in concrete are collected with special regard to crack geometry.

Kulcsszavak: beton, betonacél korrózió, klorid-ion, repedéstágasság, tekervényesség

Keywords: concrete, corrosion of reinforcement, chloride-ion, crack width, tortuosity

Dr. BOROSNYÓI Adorján

Okl. építőmérnök, PhD, egyetemi docens a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén.
Főbb kutatási területei: vasbetonszerkezetek használhatósági határállapota, szálerősítésű polimer (FRP) anyagok alkalmazása betonszerkezetekhez, tapadás betonban, roncsolásmentes anyagvizsgálatok (NDT), szálerősítésű betonok (FRC) tartóssága, cement kiegészítő anyagok (SCM). Az Építőanyag-JSBCM folyóirat főszerkesztője.

1. Bevezetés

A világon az egyik legszélesebb körben alkalmazott építőanyag a vasbeton. A vasbeton szerkezetek tartósságát az biztosítja, hogy az acél és a beton nemcsak mechanikailag dolgozik együtt, hanem a beton védi is az acélt a korróziótól. A betonszerkezetekben megjelenő repedések hatással lehetnek erre a védelemre.

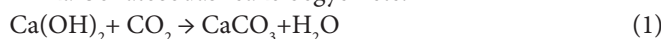
2. Betonacél korróziója

2.1 A korrózió feltételei

A betonacél korróziójának két feltétele van: korrózióra hajlamos anyag és a korróziót elősegítő környezet. Előbbi adott, ugyanis a betonacél gyengén ötvözött acél, ezért hajlamos a korrózióra, melynek betonban három feltétele van: a beton védőhatásának megszűnése, a nedvesség és az oxigén jelenléte.

A betonban a cement hidratációja során felszabaduló Ca(OH)_2 lúgossága passzíválja a betonba ágyazott betonacél felületét és a kialakuló vékony oxidréteg megóvjaa a betonacélt a további korróziótól. Idővel a beton karbonátosodik, azaz a levegőben található szén-dioxid hatására a lúgos kémhatású Ca(OH)_2 egy része elkezd átalakulni semleges kémhatású mészkővé (1). Ennek következtében a beton kémhatása pH 12,3-12,6-ról pH 8,3-8,5-re csökken.

A karbonátosodás reakcióegyenlete:



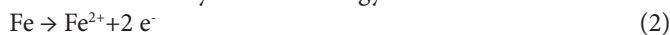
Ez a folyamat a beton külső felületén indul meg, majd egyre növekvő karbonátosodott zóna alakul ki. Amennyiben ez a zóna eléri a betonacélt (melyet néhány centiméter betonfedés véd), megszűnik a betonnak a betonacélra gyakorolt védőhatása.

A betonhoz a jó bedolgozhatóság érdekében mindig több vizet adagolnak, mint amennyi a cement hidratációjához kémiailag szükséges. A fölösleges víz a későbbiekben elpárolog, átjárható kapilláris pórusokat hagyva maga után a cementkőben. Ezek a pórusokon keresztül a nedvesség és az oxigén képes eljutni a betonacélhoz, tehát kialakulhat a megfelelő környezet a korróziós folyamathoz.

2.2 A korróziós folyamat

Betonacélok korróziója jellemzően elektrokémiai folyamat. A korrózió anódos és katódos részfolyamata a betonacél két, térben elválasztott felületén megy végbe, az anód- és katód-felület lokálemeként viselkedik, az elektrolit a beton, a fémek kapcsolatát pedig a betonacél biztosítja (1. ábra). A két pólus közti feszültségkülönbség hatására az anódnál a vasionok oldatba mennek, miközben elektronok szabadulnak fel (2), melyek a betonacél közvetítésével a katódhoz vándorolnak és ott az oxigénnel és vízzel hidroxilionokat (OH^-) képeznek (3). A hidroxilionok a pórusoldatban a vasionok felé vándorolnak, vegyülnek, ebből lesz a rozsda (4,5).

Az anódos részfolyamat reakcióegyenlete:



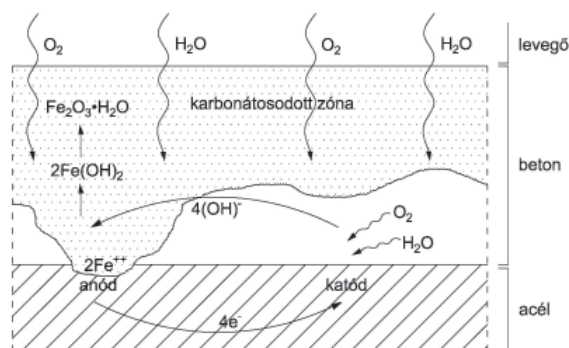
A katódos részfolyamat reakcióegyenlete:



A vashidroxid képződésének reakcióegyenlete:



A vasoxid képződésének reakcióegyenlete:



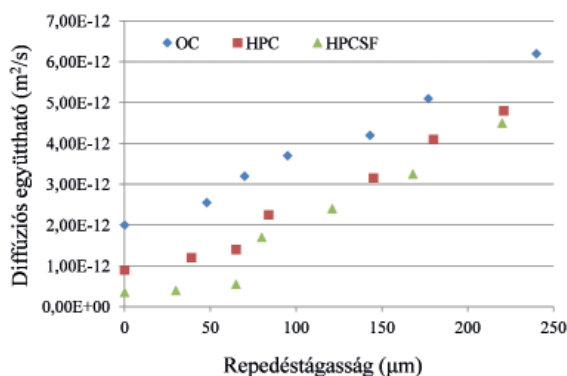
1. ábra Betonacél korróziós mechanizmusának vázlat
Fig. 1. Scheme of corrosion mechanism of reinforcement

Jégmentesítő sózás vagy tengervíz hatására a betonba kloridok kerülhetnek, ekkor ún. kloridkorrózióról beszélünk. Kloridkorrózió a nem karbonátosodott zónában is létrejehet, ha a kloridtartalom meghaladja azt a határt, amelyet a cement tartóssan leköt. A kloridionok erősen lúgos környezetben is

(pH>9) – kis helyen – megszüntetik a betonacél védelmét és lyukkorróziót okoznak; karbonátosodott betonban pedig meggyorsítják az egyenletes korróziót. Kifejezetten veszélyes, hogy a kloridionok nem épülnek be, hanem a korróziós folyamat végén újra felszabadulnak és végtelen körfolyamatként újabb és újabb korrózió okozói lesznek.

A korrózió diffúziós folyamatként írható le, melynek során a korróziót elősegítő anyagok (oxigén, víz, szén-dioxid, kloridion) a környezetből vándorolnak a beton belseje felé a koncentráció különbség hatására. A vándorlás, és ezáltal a korrózió sebessége, a koncentráció különbségen kívül a beton áteresztőképességétől is függ; minél nagyobb a beton áteresztőképessége, annál gyorsabb a korrózió.

Repedések jelenléte esetén megnő a beton áteresztőképessége, mely a diffúziós együtthatóval jellemezhető. Szakirodalmi eredmények alátámasztják, hogy a repedéstágasság növekedésével növekszik a diffúziós együttható (2. és 3. ábra).



2. ábra Repedéstágasság (w) hatása a beton diffúziós együtthatójára (D_c) állandósult klorid diffúzió esetén (Djetbi et al, 2008)

Fig. 2. Influence of crack width (w) on the diffusion coefficient of concrete (D_c) under steady state chloride diffusion (Djetbi et al, 2008)



3. ábra Diffúziós együttható a repedéstágasság függvényében (Jang et al, 2011)

Fig. 3. Diffusion coefficient as a function of crack (Jang et al, 2011)

Feltételezhető tehát, hogy a repedéseken keresztül a korróziót elősegítő anyagok könnyebben jutnak a beton belsejébe és felgyorsítják a korrózió folyamatát. Ugyanakkor a szakirodalomban nem lelhető fel erre egyértelmű összefüggés, ezt alátámasztó és megcáfoló eredményeket is találhatunk. Jelen cikk célja, hogy a témában összegyűjtött publikációk áttekintésével ezen ellentmondásokra felhívja a figyelmet és megpróbáljon okokat feltárni.

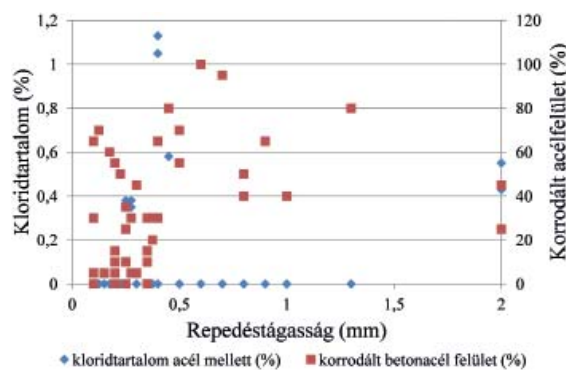
3. Felületi repedéstágasság és korrózió – szakirodalmi áttekintés

Vasbeton szerkezetek esetében bevett gyakorlat a tervezés során a beton felületén megjelenő repedések megnyílását, szélességét, az úgynevezett repedéstágasságot korlátozni, feltételezve, hogy kisebb repedéstágasság mellett a betonacél korrózió lassabban alakul ki, illetve megy végbe. A felületi repedéstágasság a helyszínen könnyen, egyszerű eszközökkel mérhető. Ez a fejezet a mért repedéstágasság és a betonacél korrózió között keres összefüggést szakirodalmi adatok alapján.

3.1 Rehm, Nürnberger, Neubert (1988)

Helgoland (Németország) kikötőjének 30 éves korú vasbeton szerkezetében vizsgálták a betonacél korróziós állapotát. 50 darab fúrt magmintát vettek a szerkezetből, ezekben határozták meg a beton kloridion tartalmát a cement tömegére vonatkoztatva, a repedéstágasságokat és az acélbetétek korróziójának mértékét. Utóbbi esetében a korrodált acélfelület nagyságát határozták meg (cm²), illetve a rozsdásodás kiterjedése és mélysége alapján korróziós osztályba sorolták (0-5) a mintákat.

A korrodált acélfelület nagysága a repedéstágasság növekedésével növekvő tendenciát mutatott, bár igen nagy a szórás. A kloridion tartalom és a korrodált acélfelület nagysága között azonban nem látszik összefüggés, elhanyagolható kloridion tartalom mellett is bekövetkezik korrózió (4. ábra). Eredményeik azt sem támasztják alá, hogy nagyobb repedéstágasság nagyobb kloridion tartalommal jár.



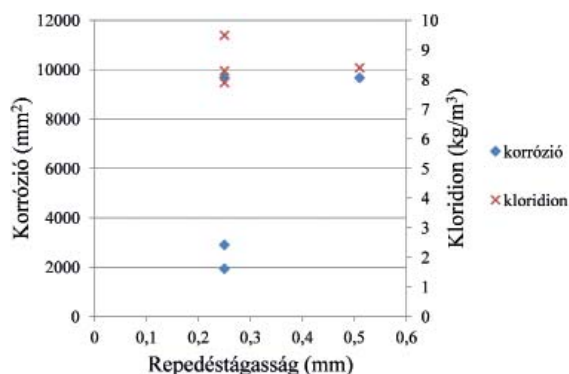
4. ábra Kloridtartalom (cement tömegére vonatkoztatva) és korrodált acélfelület a repedéstágasság függvényében (Rehm et al, 1988 alapján)

Fig. 4. Corroded steel surface, chloride content (percentage of cement mass) and crack with (based on Rehm et al, 1988)

3.2 Berke, Dellaire, Hicks, Hoopes (1993)

A szerzők a kalcium-nitrát korróziócsökkentő hatását vizsgálták vasbeton próbatesteken. Jelen cikknek nem célja ezen hatás tárgyalása, a referencia próbatestek adatai azonban felhasználhatóak. A próbatesteket két-két hetes ciklusokban 3%-os NaCl oldattal árasztották el illetve hagyták kiszáradni. 16 hónap elteltével megvizsgálták, hogy mekkora volt a kloridion koncentráció, illetve az acélbetéteknek mekkora felülete korrodált a repedések környezetében. Az 5. ábra közös koordináta rendszerben ábrázolja a korrózió mértékét (korrodált acélfelület nagysága) és a kloridion koncentrációt a repedéstágasság függvényében. Megfigyelhető, hogy kisebb repedéstágasság mellett a betonacélnek kisebb felülete korrodált, miközben a

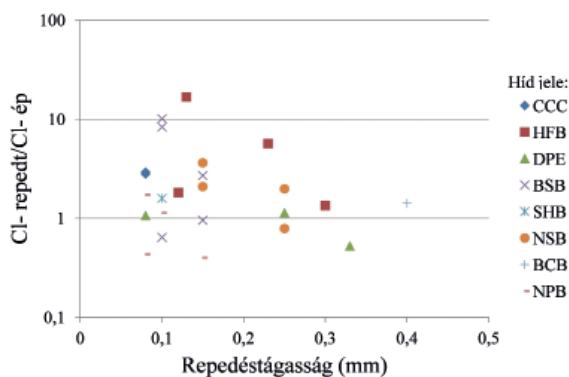
kloridion koncentráció közel ugyanakkora volt. Magyarázatul szolgálhat, hogy a kloridion kisebb repedéstágasság esetében is eléri a betonacélt és kifejti a korróziót elősegítő hatását, míg a korrózióhoz szükséges oxigén utánpótlás így nehezebben való meg, mint nagyobb repedéstágasság esetén.



5. ábra Felületi korrózió és kloridion koncentráció a repedéstágasság függvényében (Berke et al, 1993 alapján)
 Fig. 5. Corroded steel surface, chloride content and crack with (based on Berke et al, 1993)

3.3 Sagues, Kranc et al (1994)

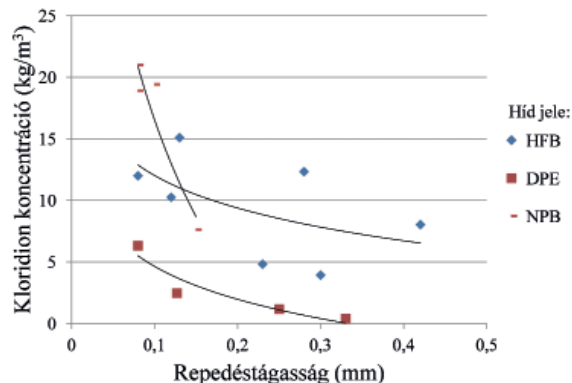
Tengerparti vasbeton hidak természetes korrózióját figyelték meg, melyek esetében a tengervíz illetve a sós pára szolgáltatja a klorid-ion forrást. Fúrt magminta párokat vettek meglévő repedéseken keresztül, illetve a repedések közelében az ép betonból és ezek kloridion koncentrációját határozták meg. A 6. ábrán az összetartozó (közel azonos helyről vett) berepedt és ép minták kloridion koncentrációjának arányát ábrázoltuk a repedéstágasság függvényében a szerzők adatai alapján. Ezt vizsgálva nem mutatható ki, hogy a repedéstágasság növekedésével a berepedt mintákban nagyobb lenne a kloridion koncentráció az azonos mélységből vett ép mintához képest.



6. ábra Kloridion koncentráció aránya a repedt és ép beton magmintákban a repedéstágasság függvényében, különböző hidakon vizsgálva (Sagues, Kranc et al, 1994 adatai alapján)(1-1,5 inch mélységben) – Megjegyzés: a hidak jelölése az eredeti cikk szerint van megadva
 Fig. 6. Ratio of chloride content in cracked and sound concrete and crack width of different bridges (based on Sagues, Kranc et al, 1994)(at 1-1.5 in depths) – Note: bridge identification according to the original paper

A szerzők által közzétett mérési eredményeket tovább elemezve más megfigyelések is tehetők. Azon hidak eseteit vizsgálva, ahol elegendő számú repedés adatait rögzítették, a kloridion abszolút koncentrációját vizsgáltuk a repedéstágasság függvényében. A kloridion koncentráció a repedéstágasság nő-

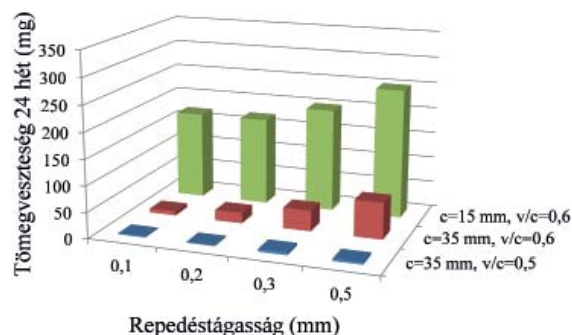
vekedésével csökkenő tendenciát mutat (7. ábra). Ennek oka lehet, hogy a beton képes megkötni a kloridionok egy részét és a vizsgálat a kötött és a szabad (korróziós folyamatban résztvevő) kloridion tartalmat együttesen mutatja ki. Nagyobb repedéstágasság mellett vastagabb karbonátosodott réteg alakulhatott ki, melynek kloridion megkötni képessége kisebb, ezáltal kisebb lesz a kimutatható kloridion tartalom.



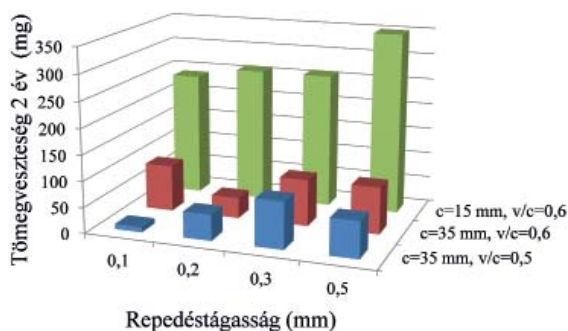
7. ábra Repedéstágasság és kloridion koncentráció összefüggése repedt magmintákban három hidra vizsgálva (Sagues, Kranc et al, 1994 adatai alapján)(0,83-0,45 inch mélységben) – Megjegyzés: a hidak jelölése az eredeti cikk szerint van megadva
 Fig. 7. Crack width and absolute chloride concentration in 3 bridges (based on Sagues, Kranc et al, 1994)(at 0.83-0.45 in depths) – Note: bridge identification according to the original paper

3.4 Schießl, Raupach (1997)

A szerzők vasbeton gerendákon hoztak létre repedéseket 0,1-0,5 mm repedéstágasság tartományban és a repedést és környezetét sós vizes fürdőnek tették ki. Tanulmányozták a repedéstávolság és repedéstágasság, valamint a betonfedés és a víz-cement tényező hatását. A korrózió mérőszámát a betonacél tömegvesztéseként határozták meg, melyet 24 hetes és 2 éves korban vizsgáltak. A kísérletek során megállapították, hogy a betonfedés vastagsága és minősége sokkal nagyobb mértékben befolyásolja a korrózió sebességét, mint a repedéstágasság, utóbbi hatása a kísérleti időtartam végére (2 év) lecsökkent (8. a és b ábra). Számításokkal kimutatták, hogy a felületi repedéstágasság korlátozása érdekében csökkentett betonacél átmérő nagyobb keresztmetszet veszteséghez vezet.



8. a) ábra Repedéstágasság és korrózió okozta tömegvesztés összefüggése különböző víz-cement tényező (v/c) és betonfedés (c) mellett 24 hetes korban (Schießl, Raupach, 1997 alapján)
 Fig. 8.a. Relationships between crack width and mass loss by corrosion at different water-to-cement ratios (w/c) an concrete covers (c) after 24 weeks of exposure (based on Schießl, Raupach, 1997)

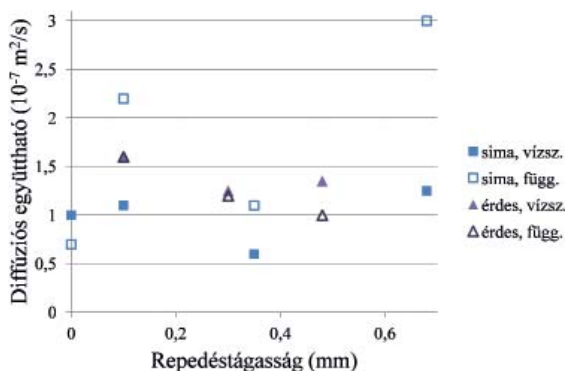


8. b) ábra Repedéstágasság és korrózió okozta tömegvesztés összefüggése különböző víz-cement tényező (v/c) és betonfedés (c) mellett 2 éves korban (Schiefl, Raupach, 1997 alapján)

Fig. 8. b. Relationships between crack width and mass loss by corrosion at different water-to-cement ratios (w/c) and concrete covers (c) after 2 years of exposure (based on Schiefl, Raupach, 1997)

3.5 Rodriguez, Hooton (2003)

Beton próbatesteken repesztéssel illetve fűrészeléssel állítottak elő érdes illetve sima felületű, 0,08-0,68 mm tágasságú repedéseket. Ezek után kloridion behatolás vizsgálatot végeztek 40 napon keresztül és a behatolási mélységekből diffúziós együtthatót számítottak a korrózió indikátoraként. A behatolást vízszintes és függőleges irányban is mérték mindkét típusú repedésen. Arra a következtetésre jutottak, hogy a diffúziós együttható értéke független a repedéstágasságtól és a felület érdességétől (9. ábra).



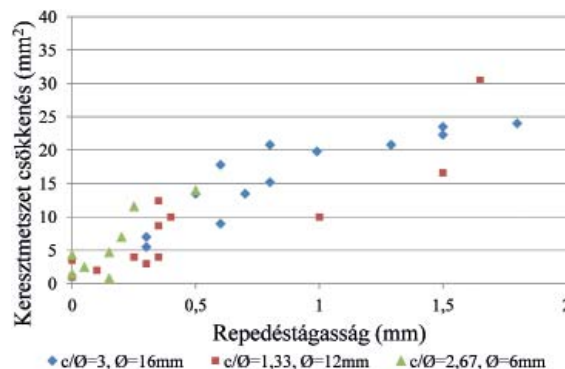
9. ábra Repedéstágasság és kloridion diffúziós együttható összefüggése sima és érdes repedések esetén, vízszintes és függőleges irányban (Rodriguez, Hooton, 2003 alapján)

Fig. 9. Chloride diffusion coefficient and crack width in case of smooth and rough surfaced cracks, chloride penetration measured in horizontal and vertical direction (based on Rodriguez and Hooton, 2003)

3.6 Vidal, Castel, Francois (2004)

Sópárás környezetben terhelés alatt tartottak vasbeton gerendákat 14 illetve 17 éves korig. A sókoncentrációt (3,5% NaCl) úgy választották meg, hogy az körülbelül a tengervíz hatásának feleljen meg és száraz-nedves ciklusokat is alkalmaztak. A kísérleti időszak végén megmérték a korróziós repedések tágasságait, a betonacélokat megtisztították a korróziós termékektől és az eredeti tömeghez képest az egységnyi hosszra jutó tömegvesztéséből keresztmetszet csökkenést számoltak. A 10. ábrán a repedéstágasság és a keresztmetszet csökkenés között markáns trend figyelhető meg, azonban fontos kihangsúlyozni, hogy ez esetben a repedések oka, nem pedig következménye volt a korrózió, ugyanis a hajlításból származó repedéseket nem vették figyelembe. Azt is megfigyelték, hogy a repedések

megjelenését elsősorban a betonfedés és a betonacél átmérő hányadosa befolyásolta.



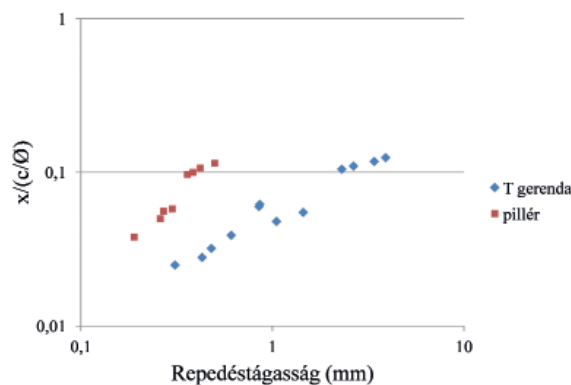
10. ábra Repedéstágasság és betonacél keresztmetszet csökkenése (Vidal et al, 2004 alapján)
Fig. 10. Cross section loss related to crack width (based on Vidal et al, 2004)

3.7 Otieno, Alexander, Beushausen (2009)

Vasbeton próbatesteket vizsgáltak repedés nélkül, kezdeti repedéssel, valamint 0,4 és 0,7 mm repedéstágasság esetén. A vizsgálatok során a gerendákat 16 héten keresztül, hetente 3 napig 5%-os NaCl oldattal elárasztva tartották, majd 4 napig száradni hagyták. Általánosságban megfigyelték, hogy a repedések jelenléte felgyorsítja a korrózió folyamatát: azonos cement típus és víz-cement tényező mellett nagyobb repedéstágasság előrehaladottabb korróziót eredményez. Adataik alapján megállapítható, hogy a víz-cement tényező vagy a kiegészítő-anyag tartalom változtatása nem befolyásolja a korrózió sebességét olyan mértékben, mint a repedések jelenléte. Tehát a korróziós jelenség meghatározó paramétere nem a beton áteresztőképessége, hanem a repedéstágasság.

3.8 Andrade, Muñoz, Torres-Acosta (2010)

14 évvel korábban készített vasbeton gerendákon tanulmányozták a repedéstágasság és korrózió hatását. A betonkeverékhez CaCl_2 kötőgyorsítót adagoltak, a korróziós folyamat azonban természetes környezetben zajlott le. A szerzők mérték a betonacélban a korrózió behatolásának mélységét, melyet a 11. ábrán a betonfedéssel és betonacél átmérővel normált módon láthatunk a repedéstágasság függvényében. Ebben az ábrázolási módban határozott trend figyelhető meg: nagyobb repedéstágasság mellett nagyobb a korróziós behatolás mélysége.



11. ábra Repedéstágasság és korróziós behatolás mélysége (betonfedéssel és betonacél átmérővel normálva) (Andrade et al, 2010 alapján)

Fig. 11. Corrosion penetration depth (normalised with concrete cover and reinforcement diameter) related to crack width (based on Andrade et al, 2010)

Szerző	Rehm, Nürnberger, Neubert (1988)	Berke, Dellaire, Hicks, Hoopes (1993)	Sagues, Kranc et al (1994)	Schießl, Raupach (1997)	Rodriguez, Hooton (2003)	Vidal, Castel, Francois (2004)	Otieno, Alexander, Beus-hausen (2009)	Andrade, Muñoz, Torres-Acosta (2010)
időtartam	30 év	16 hónap	évek	2 év	40 nap	14/17 év	16 hét	14 év
Cl	tenger	NaCl	tenger	sós víz	klorid	sópára	NaCl	CaCl ₂
w _{min} (mm)	0,1	0,25	0,08	0,1	0,1	0,05	0,08	0,19
w _{max} (mm)	2	0,51	0,42	0,5	0,68	1,8	0,68	3,9
c (mm)	35+	43	vált.	15 ill. 35	-	10 ill. 40	40	30
v/c	0,5	0,5	vált.	0,5 ill. 0,6	0,4	0,5	0,4 ill. 0,55	0,7
φ (mm)	20 (16)	13	vált.	14	-	12 ill. 16	10	12
vizsgált jellemző	felület	felület	Cl koncentráció	tömeg-veszteség	diffúziós együttható	km csökkenés	korróziós ráta	korróziós behatolás mélysége
összefüggés	van	nincs	nincs	idővel csökken	nincs	evidens	van	van

Jelmagyarázat:

w _{min}	legkisebb mért repedéstágasság	v/c	víz-cement tényező
w _{max}	legnagyobb mért repedéstágasság	φ	betonacél átmérő
c	betonfedés		

1. táblázat Szakirodalmi adatok összehasonlítása
Table 1. Comparison of the literature review observations

3.9 Az eredmények értékelése

A bemutatott kísérletek eltérő környezetben, különböző méretű és betonösszetételű próbatesteken történtek, a megfigyelt paraméterek (keresztmetszet csökkenés, kloridion behatolás, diffúziós együttható, elektromos ellenállás) is különböztek (1. táblázat). A megfigyelések alapján nem mutatható ki egyértelmű összefüggés a felületi repedéstágasság és a korrózió között, azonban ez nem is cáfolható.

4. Repedéstágasság változása betonfedésen belül – szakirodalmi áttekintés

Szakirodalmi és saját megfigyelések támasztják alá, hogy a betonacél felületén eltér a repedéstágasság a beton felszínén mérthez képest, azaz a repedéstágasság változik a betonfedésen belül. Ez – többek közt – magyarázatul szolgálhat az előző fejezetben bemutatott ellentmondásokra.

4.1 Broms (1965)

A témában elsőként Broms végzett laboratóriumi kísérleteket. A húzott vasbeton próbatestek hosszát úgy választotta meg (20 cm), hogy csak egy repedés tudjon kialakulni, így a próbatestek végein a keresztmetszet mentén mért alakváltozások a repedéstágassággal hozhatók összefüggésbe. Hogy a nem átmenő repedések ne befolyásolják az eredményeket, a terhelés alatt lévő próbatestekben műgyantával kiinjektálta ezeket.

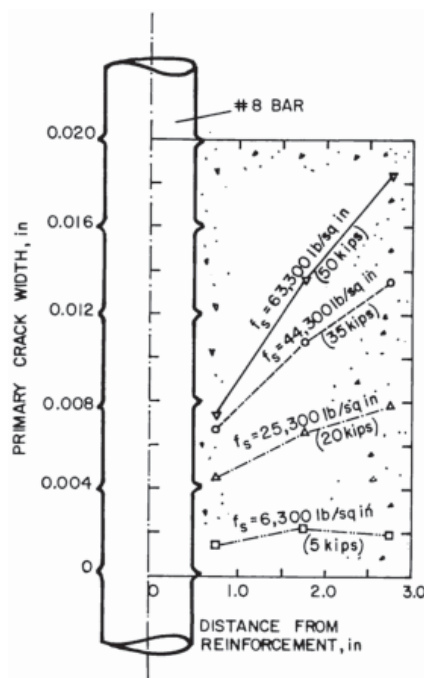
A kísérlet eredményeiből arra következtetett, hogy a betonfedésen belül változik a repedéstágasság: a betonacélhoz közel kisebb, mint a beton felszínén. Minél nagyobb a húzófeszültség a betonacélban, annál dominánsabb ez a különbség (12. ábra).

4.2 Husain, Ferguson (1968)

Hajlított vasbeton gerendákon különböző betonfedések mellett vizsgálták a repedéstágasságot a beton illetve a betonacél

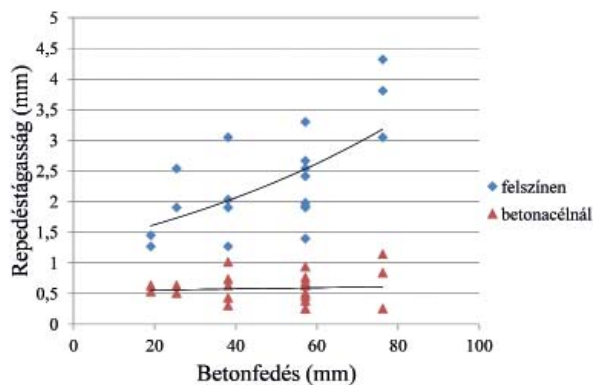
felületén. A repedéseket epoxigyantával injektálták, majd a betonacél tengelyével párhuzamosan felválták a próbatesteket.

Megállapították, hogy a betonacél felülete mellett mért repedéstágasságok közel állandóak, nem függenek a betonfedés mértékétől (azonos betonacél húzófeszültség esetén). A beton felületén mért repedéstágasságok a betonfedés növelésével nagyobb értéket mutatnak, azonban a kettő közötti összefüggés nem lineáris (13. ábra).



12. ábra Repedéstágasság betonfedésen belül különböző feszültségszinteken; #8=25,4 mm átmérőjű betonacél; 1 in=25,4 mm; 1000lb/sqin=6.89 MPa (Broms, 1965)

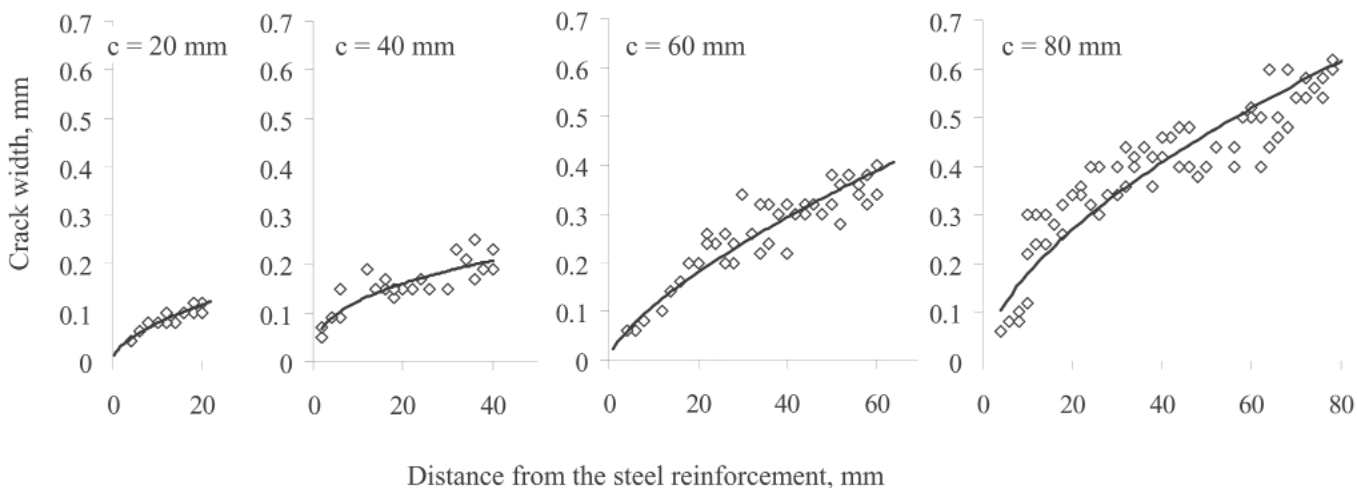
Fig. 12. Crack width related to the distance from reinforcement at different stress (Broms, 1965) (#8 bar=25.4 mm diameter bar; 1 in=25.4 mm; 1000 lb/sqin=1 kips=6.89 MPa).



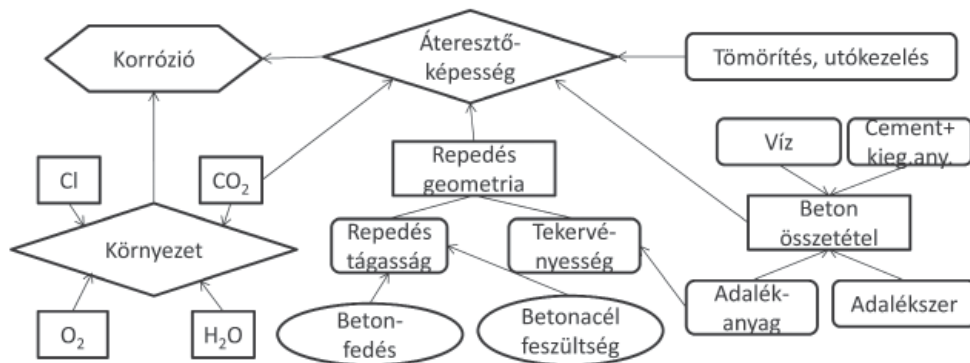
13. ábra Repedéstágasság a betonacél mellett, illetve beton külső felületén (Husain, Ferguson, 1968 alapján)
 Fig. 13. Crack width at concrete surface and at reinforcement related to the concrete cover (based on Husain, Ferguson, 1968)

4.3 Borosnyói, Snóbli (2010)

Húzott vasbeton elemek repedéseit epoxi anyagú injektálással rögzítették és a repedéstágasságokat a teljes betonfedésen belül 2 mm-enként kézi mikroszkóppal leolvasták (14. ábra). Vizsgálataikkal megerősítették, hogy a repedéstágasságok a beton külső felületén illetve a betonacél határfelületén számottevő mértékben eltérhetnek egymástól, és a betonfedés nagysága a repedéstágasságot elsődlegesen befolyásoló paraméter lehet.



14. ábra Repedéstágasság változása betonfedésen belül, különböző betonfedések mellett (Borosnyói, Snóbli, 2010)
 Fig. 14. Crack width variation within concrete cover, 20, 40, 60 and 80 mm covers (Borosnyói, Snóbli, 2010)



15. ábra Betonacél korrózióját befolyásoló tényezők
 Fig. 15. Influencing factors of corrosion of embedded steel

4.4 Az eredmények értékelése

A bemutatott szakirodalmi megfigyelésekből megállapítható, hogy a betonacél felületén és a beton külső felszínén mért repedéstágasságok között, ha van összefüggés, az nem lineáris. Ez magyarázattal szolgálhat a felületi repedéstágasság és a korrózió közti egzakt összefüggés hiányára.

A bemutatott szakirodalmi adatok alapján megállapítható, hogy a betonacél korrózió egy összetett folyamat, melyet számos tényező befolyásol (15. ábra). Ezek egyike a környezetben található, a korróziót elősegítő anyagok (oxigén, víz, kloridion és széndioxid) koncentrációja, melyek az egyensúly elérése érdekében a beton belseje felé vándorolnak a cementkő kapilláris pórusain keresztül. Másik fontos tényező a beton átteresztőképessége, mely döntően befolyásolja, hogy előbbi anyagok mennyi idő alatt érik el a betonacélt. Az átteresztőképesség függ a beton összetételétől, a tömörítéstől, az utókezeléstől, a beton korától valamint a repedések jelenlététől és geometriájától.

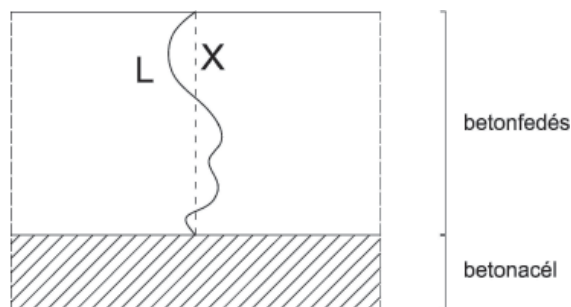
Korlátozott számú tanulmány áll rendelkezésre a repedés geometriáról és ennek az átteresztőképességre és korrózióra gyakorolt hatásáról. Akhavan et al (2012) habarcs próbatestek vízátteresztő képességét tanulmányozták repedések jelenlétében. Vizsgálták a repedéstágasság, tekervénység és repedés érdesség hatását és úgy találták, hogy ezen paraméterek mindegyikének ismerete szükséges a megszilárdult habarcs átteresztőképességének meghatározásához. Feltételezhető tehát, hogy

a repedés geometriájának tanulmányozása közelebb vezet a korróziós folyamatok megértéséhez, mint pusztán a felületi repedéstágasság mérése.

5. Repedés geometria

Egy repedés tekervényessége azt fejezi ki, hogy a repedés mentén kijelölt kezdőpontot és végpontot összekötő egyenes (X) és a repedés tényleges hossza (L) hogyan aránylik egymáshoz (16. ábra). A tekervényesség számításához a szakirodalom nem ad meg egyetlen pontos képletet, ezért általában úgy választják meg, hogy a vizsgált tulajdonsághoz illeszkedjen. Akhavan et al (2012) a húr-ív hányados négyzetét használták (6), mely az általuk vizsgált vízáteresztő képesség kísérleti eredményekkel jól összefüggésbe hozható volt.

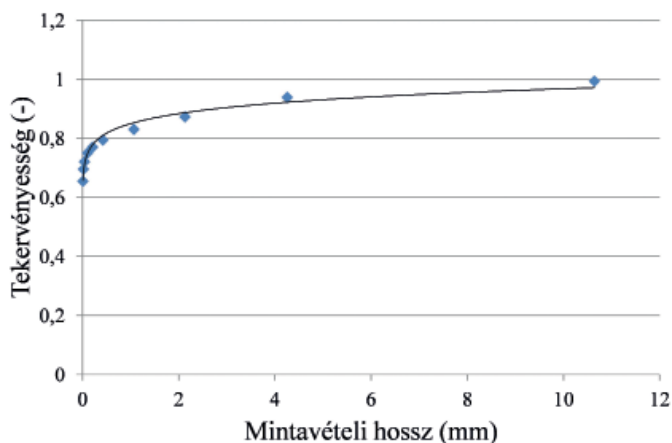
$$\tau = \left(\frac{X}{L}\right)^2 \quad (6)$$



16. ábra Repedés tekervényességének elvi ábrája
Fig. 16. Schematic image of crack tortuosity

Célszerű lehet a korrózióra gyakorolt hatás vizsgálatához a felületi repedéstágasság mellett a tekervényességhez hasonló geometriai paramétereket is bevezetni, azonban egy repedés tekervényessége különbözhet betonban és habarcsban. Betonokban a nagyobb adalékanyag szemmagyság tekervényesebb repedéseket eredményezhet a habarcsban megfigyelhetőhöz képest. A 17. ábra egy húzott vasbeton elem képét mutatja (a kísérlet részletei: Nagy, 2013), melyen jól látható a nagyobb méretű adalékanyag szemek hatása a repedés geometriájára.

A tekervényesség mérőszáma függ a mintavételi hosszától, melynek segítségével a görbét szakaszokra osztjuk és a görbe hosszát az egyenes szakaszok hosszának összegeként határozzuk meg. A 18. ábrán egy húzott vasbeton próbatest repedésének tekervényessége látható (6) szerint számolva, különböző mintavételi hosszak függvényében. Megfigyelhető, hogy kis mintavételi hosszak esetében az eltérés jelentős lehet.



18. ábra Mintavételi hossz hatása a tekervényesség értékére
Fig. 18. Effect of sampling length on tortuosity

Célunk a repedés geometriájának további tanulmányozása és a korrózióval való összefüggés felderítése. További vizsgálatok szükségesek az optimális mintavételi hossz meghatározására a tekervényesség számszerűsítéséhez és az adalékanyag szemmagyság hatásának figyelembevételére.

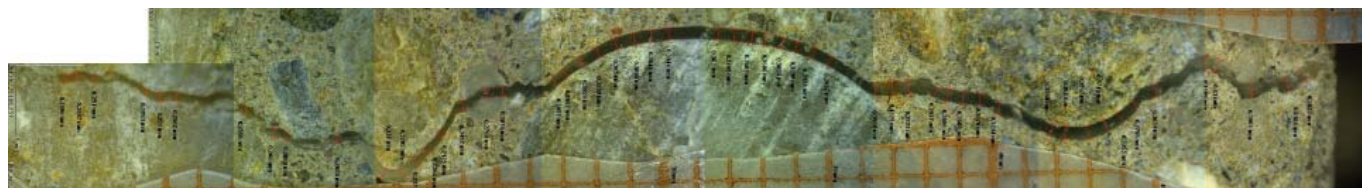
6. Következtetések

Szakirodalmi megfigyelések alapján a következő megfigyelések tehetőek:

- nincs határozott összefüggés a betonacél korrózió és a beton külső felületén mért repedéstágasság között;
- a betonfedésben a kloridion koncentráció nem minden esetben nő a felületi repedéstágassággal;
- a beton külső felületén és a betonacél közvetlen közelében mért repedéstágasságok különböznek; a kapcsolat köztük a betonfedés függvényében nem lineáris;
- további paraméterek szükségesek a repedéstágasság korrózióra gyakorolt hatásának leírásához;
- javasolt a repedés geometriának részletes tanulmányozása, befolyásoló tényezőinek és a beton áteresztőképességére gyakorolt hatásának felderítésére.

7. Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA K 109233 nyilvántartási számú „Durability and performance characteristics of concretes with novel type supplementary materials” című kutatás támogatásáért.



17. ábra Digitális felvétel betonfedésen belüli repedésről
Fig. 17. Scanned image of a crack within concrete

Hivatkozások

- [1] Andrade, C., Muñoz, A., Torres-Acosta, A. (2010) Relation between crack width and corrosion degree in corroding elements exposed to the natural atmosphere, *Korea Concrete Institute*
- [2] Akhavan, A. – Shafaatian, S. – Rajabipour, F. (2012): Quantifying the effects of crack width, tortuosity, and roughness on water permeability of cracked mortars, *Cement and Concrete Research*, Vol. 42, pp. 313-320. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.10.002>
- [3] Berke, N. S. – Dellaire, M. P. – Hicks, M. C. – Hoopes, R. J. (1993): Corrosion of Steel in Cracked Concrete. *Corrosion*, Vol. 49, No. 11, pp. 934-943. <http://dx.doi.org/10.5006/1.3316020>
- [4] Borosnyói, A. – Snóbli, I. (2010): Crack width variation within the concrete cover of reinforced concrete members, *Építőanyag-JSBCM*, 2010, Vol. 62, No. 3, pp. 70-74. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2010.14>
- [5] Broms, B. (1965): Crack width and crack spacing in reinforced concrete members, *ACI Journal*, 1965, Vol. 62, No. 10, pp. 1237-1256. <http://dx.doi.org/10.14359/7742>
- [6] Djerbi, A. – Bonnet, S. 2 Khelidj, A. – Baroghel-Bouny, B. (2008): Influence of traversing crack on chloride diffusion into concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, pp. 877-883. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.10.007>
- [7] Husain, S. I. – Ferguson, P. M. (1968): Flexural Crack Widths at the Bars in Reinforced Concrete Beams. *Center for Highway Research*, The University of Texas at Austin, Research Report No. 102,1F
- [8] Nagy, R. (2013): Structural cracking of reinforced concrete members, *Second Conference of Junior Researchers in Civil Engineering*, 17-18 June 2013, Budapest, Hungary, pp. 136-141.
- [9] Otieno, M. B. – Alexander, M. G. – Beushausen H. D. (2009): Corrosion propagation in cracked and uncracked concrete, *2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Taylor & Francis Group, London
- [10] Rehm, G. – Nuernberger, U. – Neubert, B. (1988): Chloridkorrosion von Stahl in gerissenem Beton – Untersuchungen an der 30 Jahre alten Westmole in Helgoland, *Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton*, Beuth, Berlin, 1988, 390, pp. 43-144
- [11] Rodriguez, O. G. 2 Hooten, R. D. (2003): Influence of Cracks on Chloride Ingress into Concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 100, No. 2, p. 120-126. <http://dx.doi.org/10.14359/12551>
- [12] Sagiúés, A. A. – Kranc, S. C. – Presuel-Moreno, F. – Rey, D. – Torres-Acosta, A. – Yao, L. (2001): Corrosion Forecasting for 75-Year Durability Design of Reinforced Concrete, *Final Report No. BA502* submitted to Florida Department of Transportation by University of South Florida, December 31, 2001.
- [13] Jang, S. Y. – Kim, B. S. – Oh, B. H. (2011): Effect of crack width on chloride diffusion coefficients of concrete by steady-state migration tests, *Cement and Concrete Research*, Vol. 44, pp. 9-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.08.018>
- [14] Schießl, P. – Raupach, M. (1997): Laboratory studies and calculations on the influence of crack width on chloride-induced corrosion in concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 94, No. 1, pp. 56-61. <http://dx.doi.org/10.14359/285>
- [15] Vidal, T. – Castel, A. – Francois, R. (2004): Analyzing crack width to predict corrosion in reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, pp. 165-174. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00246-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00246-1)

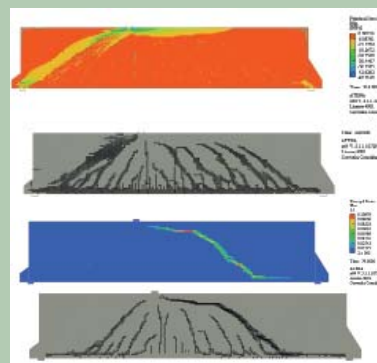
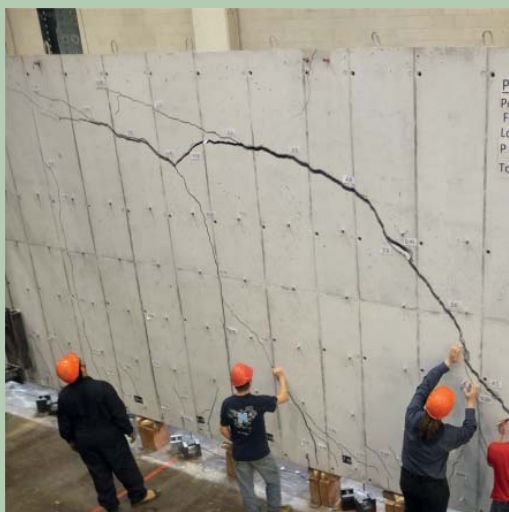
Ref.:

Nagy, Réka Anna – Dr. Borosnyói, Adorján: *Beton repedéstágassága és a betonacél korrózió összefüggése*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 68, No. 1 (2016), 6–13. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.2>

SHORT NOTE

Predicting the Shear Strength of Very Thick Slabs: ATENA Software of Červenka Consulting was the winner of the contest among 66 participants from several continents

University of Toronto team headed by Prof. Michael Collins and Prof. Evan Bentz engaged at an experiment investigation of a large slab element. With dimensions of the specimen, 4 m deep and 21 m span, it is the largest shear test ever done. Before testing, the data were distributed worldwide, and more than sixty participants submitted their predictions. Vladimír Červenka and his team predicted the failure loads with less than 10% error. With respect to location of failure, Červenka and his team submitted the most accurate prediction. Červenka Consulting was declared as the winner of the contest among 66 participants from several continents. Considering the uncertainties involved in a brittle type of concrete failure the results are very satisfying.



More information:

Collins, M. P., Bentz, E. C., Quach, P. T., Proestos, G. T. (2015) The Challenge of Predicting the Shear Strength of Very Thick Slabs. *Concrete International*, Vol. 37, No. 11, pp. 29-37.



**ČERVENKA
CONSULTING**
www.cervenka.cz

20 év – Tucatnyi üveg

SZEMÁN József

1973-ban végzett a Veszprémi Vegyipari Egyetem
nehézevegypári szakán, folyamatszabályozás
ágazaton. Munkahelyei: Salgótarjáni Kohászati
Üzemek, Nógrádi Szénbányák, Salgótarjáni
Üveggyapot Rt. jelenleg nyugdíjas. Számos cikk
szerzője az Építőanyag-JSBCM folyóiratban.

SZEMÁN JÓZSEF ■ jszeman@freemail.hu

Érkezett: 2015. 12. 06. ■ Received: 06. 12. 2015. ■ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.3>

20 years – A dozen bottles

This paper presents an oxide composition of glass used in the manufacture of fiberglass Salgótarján, these effects typical viscosity values, manufacturing and product properties. It illustrates the practical experience, the advantages and disadvantages of each type of glass.

Kulcsszavak: üvegösszetétel, üvegszál, szálátmérő, viszkozitás, hőmérséklet

Keywords: glass composition, glassfiber, fiber diameter, viscosity, temperature

1. Bevezetés

Jelen cikkben az üveggyapot termékek elvárt tulajdonságaira alapozott módon azt mutatjuk be, hogy az üvegösszetétel milyen módon befolyásolhatja a gyártás és a késztermék paramétereit. Magyarország első és eddig egyetlen üveggyapot gyárát a Salgótarjáni Üveggyapot Rt-t, a márkanévéről ismert nevén a Therwoolint, a Paramount Glass, a Nitto Boseki, a Magyar Kereskedelmi és Hitelbank és a Salgótarjáni Síküveggyár alapította 1987-ben. A beruházás szakmai terveit a japán Paramount Glass készítette. A gyártás beüzemelése 1989 augusztusában kezdődött a japán szakemberek segítségével. Fontos szempont volt, hogy a beüzemelés során elsajátítsuk a japán minőségbiztosítás, minőségirányítás alapvető elemeit pl. 5S, PDCA, 5W1H, ISHIKAWA elemzés, kontrollkártyák és a különböző statisztikai módszerek. A gyárindítás előtt több munkatársunk Japánban tanulmányozta a gyártást, az ott alkalmazott vezetési és minőségügyi rendszereket. A sikeres gyártásindítás után rövidesen megszereztük az akkori értékesítéshez szükséges ÉMI minősítést, 1990-ben elnyertük a Kiváló Áruk Fóruma kitüntetését. A piacaink bővítéséhez ÖNORM, DIN, és a környező országok termékminősítéseit is megszereztük. Bevezettük az ISO 9001-es minőségbiztosítási rendszert, munkatársaink nagyon erős minőség tudattal dolgoztak. A termelést fokozatosan emeltük 6000 t/év kapacitásról 13000 t/év-re. A tető és padlószigetelő, táblás üveggyapot mellett épületgépezeti, csőhéj-szigetelőanyagokat is piacra vittünk, később pedig már üveggyapottól készült külső épületburkoló elemek is lekerültek a gyártósorainkról. A hazai piac mellett a gyár egy 5-800 kilométeres sugarú körében, Szlovákiában, Ukrajnában, Romániában és Ausztriában és Lengyelországban is értékesítettük a termékeinket. A japán befektetők a tízéves adókedvezményeik lejártá után kiszálltak a nyereséges üzletből, amelyet az építőanyag-kereskedelemmel és gyártással foglalkozó német Pfeiderer Ag. vásárolt meg tőlük. A spanyol URALITA-csoporthoz a Pfeiderer akvizícióját követően, 2002-ben kerültünk URSA néven. Két gyártósor üzemelt egy üveglvasztó kemencéről, a lapgyártó és a csőhéjgyártó sor. A lapsori termékskálánk változását a VS érték tartomány változásával szemléltethetjük. A VS érték a gyártott testsűrűség (S) kg/m³-ben és a termékvastagság (V) mm-ben mért értékének a szorzata. Ennek kezdeti intervallumértéke 500-2400 volt, amit fejlesztésekkel 400-3600 tartományra növeltünk. Az eredeti lapsori termékek számát jelentősen növeltük az 50-100 mm vastagságról 20-150 mm vastagságra, a 600 és 1200 mm szélességről a fenti skálát lefedő 300 mm-es közbenső lépcsőkkel, a vastagságban ket-

tévágott hőszigetelő filc termékekkel, különböző kasirozó anyagokkal történő termékbevonással, a lamellázott, és a dilatációs termékcsoport kialakításával. A biztonságos, egészségügyi kockázatot nem okozó termékek kialakításához megvalósítottuk az úgynevezett biológiailag oldható üvegszálakat. Többszöri tulajdonosváltás is nehezítette munkánkat. Az utolsó tulajdonos profiltisztítási döntésére 2009 áprilisában lecsapolták a kemencét és megszűnt a hazai üveggyapotgyártás. Az eltelt 20 év alatt szinte tucatnyi üvegösszetétel változtatást hajtottunk végre és jelen cikkben ezen üvegek főbb jellemzőit mutatjuk be, kiemelve az objektív, illetve szubjektív minősítési lehetőségeket.

2. Az üvegösszetétel jelentősége

Az üvegösszetétel változtatást tapasztalataink alapján a 4T és a 4K együttesen határozza meg:

- Termékszerkezet változás
- Technológiaváltoztatás
- Technika változása
- Tulajdonos váltás
- Költségek
- Kívánalmak
- Követelmények
- Környezet- és egészségvédelem

A felhasználók üveggyapottal szemben támasztott követelményei és az ezeket meghatározó tényezők az alapüvegre vetítve a jó hő- és hangszigetelés, könnyű, biztonságos felhasználás, beépíthetőség, tartósság, tárolhatóság, igényes külalak és nem utolsósorban a jó ár-érték arány, azaz a költségek fontos szempontok a vásárlók részéről az üveggyapot termékek iránt.

A hőszigetelő képesség a termék testsűrűség emelkedésével nő egy bizonyos határig, továbbá az üvegszálak átmérőjével fordítottan arányos, mint ezt már egy korábbi [8] cikkünkben is bemutattuk. Az irodalomból és a hazai gyakorlatból is ismert, fontos, hogy a szálak egyenletes kialakításúak legyenek, azaz ne tartalmazzanak göböket, összeolvadásokat, mert ez rontja a hőszigetelő képességet. A hangszigetelő képesség a testsűrűség növelésével szintén nő, de nagyon fontos mindkét jellemzőnél a termék, azaz a testsűrűség homogenitása. A beépítés során fontos szempont, hogy ne szúrjon, ne porladjon a termék. Az üvegszálak aprózódása, a porképződés a szűrősság annál kisebb, minél kisebb az üvegszál átmérője illetve minél homogénebb a szálszerkezete. A komprimált, összenyomott filc termékek a felhasználáskor nyerjék vissza névleges méretüket,

ami szintén az üvegszál vastagságával illetve a homogén szál-szerkezettel arányos.

2.1 Termékjellemzők

Hőszigetelés: A szálak hőszigetelő anyagok hővezető képességét leíró összefüggés [8]:

$$\Lambda = a + b \times s + c \times d / s \quad (1)$$

ahol Λ (W/mK) a hővezető képesség, az **a**, **b**, **c** konstansok, **s** a termék testsűrűsége (kg/m³), **d** az üvegszál átmérője (μm). Egy adott termék deklarált hővezető képességét Λ_d (W/mK) a folyamatosan mért értékekből a következő statisztikai összefüggéssel kell meghatározni és ez alatti értéken kell tartani:

$$\Lambda_d = \Lambda_{\text{átlag}} + k \times \Lambda_{\text{szórás}} \quad (2)$$

ahol **k** értéke a mérésszámtól függő, szabványban rögzített állandó. Ebből látható, hogy a hővezető képességet minél kisebb tartományban célszerű tartani, hogy a szórása $\Lambda_{\text{szórás}}$ minél kisebb legyen, ne növelje a Λ_d értékét. A szórás csökkentése a (2) összefüggés szerint a szálátmérő és a testsűrűség minél egyenletesebb, állandó értékével valósítható meg.

Hangszigetelés: Alapvetően a testsűrűség határozza meg a termék hangszigetelő képességét a korábbi méréseink szerint. Fontos, hogy a méréshez használt minta jól tükrözze a termék-típus testsűrűségét, azaz minél egyenletesebb, homogénebb legyen a testsűrűség.

Méretek: A szélességi, hosszúsági méreteket a gyártósor elektro-mechanikus, állítható mérő- és vágóberendezései határozzák meg, és nem hozható kapcsolatba az üvegösszetétellel.

Vastagság esetén meg kell különböztetni a terhelhető és a nemterhelhető típusú termékeket. A nemterhelhető termékek esetében a kis testsűrűségűeket kb. 10-20 kg/m³ testsűrűség-tartományban, kompresszióval csomagolják, azaz a névleges méret 1/6-od, 1/8-ad részére összenyomják. A terméknek olyan rugalmasnak kell lennie, hogy kicsomagolás után visszanyerje a névleges méretét. Az elemi üvegszálak annál rugalmasabbak minél kisebb az átmérőjük és szerkezetük homogén, felületük üveghibáktól például göböktől, összeolvadástól mentesek. Az üveg szerkezete olyan legyen, hogy a tárolás során ne keletkezessen felületi üvegkorrózió, ami aprózza, elyengíti a szálakat. A terhelhető termékeknél megkülönböztetjük a terhelés nélküli d_1 és a terhelés utáni d_2 vastagságokat. A két vastagság különbsége a termékszabványban előírt mértéknél nagyobb nem lehet. A vékony rugalmas, nem korrozív, felületi hibáktól mentes üvegszálak biztosítják a tulajdonságokat, a terhelés során nem aprózódnak, túlzottan nem nyomódnak össze, így biztonsággal kielégítik az előírást.

Külsőalak: A dekoratív megjelenés, illetve egyéb szempontok miatt különböző bevonattal, kasírozással látják el a termékeket. Általában valamilyen ragasztóanyaggal rögzítik az üveggyaptra a kasírozóanyagokat. A jó tapadás érdekében a felületnek, egyenletesnek, homogénnek kell lennie. A száltöredezettség, a vastag, kis szilárdságú, esetleg korrodált üvegszál meghiúsítja a kasírozóanyag jó tapadását.

Tartósság: A termék beépítés után tartsa meg eredeti tulajdonságait, paramétereit. Esetleges nedvesség hatására ne bomoljon fel a kialakított üvegszerkezet, azaz üvegkorrózió ne alakulhasson ki.

Egészségügyi kockázat: A szigetelőanyag felhasználása, beépítése során ne porlódjon, ne porozzon, szűrő érzést ne

okozzon. Ha a termék esetleg a szervezetbe jut például belégzéssel, ne eredményezzen káros/kóros elváltozást. Célszerűen oldódjon fel a testnedvekben. Különböző irodalmi utalások a 2 μm alatti szálátmérőt tartják egészségügyileg kockázatosnak. Ez utóbbi két elvárás látszatra ellentmond egymásnak, ezért nagyon fontos a megfelelő üvegösszetétel kialakítása.

2.2 Az üvegszálakkal kapcsolatos elvárások összesítése

Az üvegszál átmérője minél kisebb, de 2 μm-nél vastagabb és kis szórású, homogén, viszonylag hosszú legyen. Üvegkorrózió ne alakulhasson ki, de a testnedvekben feloldódjon. A termék testsűrűsége a kívánt értékűre és minimális szórásúra legyen alakítható. Olyan termékfelület jöjjön létre, ami sima és melyen a kasírozó anyag jól tapad.

3. A lapsori gyártás rövid áttekintése

A folyamatosan ellenőrzött alapanyagokból a kívánt üvegösszetételhez számított keverékalkotókat a keverő üzemben egy számítógép vezérlésű mérő-adagoló rendszer juttatta a keverőegységbe, ahol a porzás mérséklése érdekében 5% víz hozzáadásával homogén keveréket készítettünk. A keveréket konténerekben szállítottuk az üvegolvasztó kemencéhez. Keverék alapanyagaink voltak: síküveg-, majd boroszilikát üvegcserep, homok, mészkő, kalcinált szóda, bórax, timföldhidrát, földpát, dolomit. Az alapanyagok oxidos összetételét, szemcseösszetételét mindig ellenőriztük és ez alapján számítottuk a kívánt üveghez szükséges beméréseket. Kezdetben regeneratív kamrás földgáztüzelésű kemencében olvasztottuk az automata adagolású keveréket, később áttértünk az oxigén tüzelésre, amely megszüntethetővé tette a regeneratív kamrát. Ezzel jelentősen csökkentettük a keverék kiporzást, a regeneratív kamra lerakódásokat, eltömődéseket, amelyet csak havonkénti leolvasztással tudtunk megszüntetni. Az üvegolvasztó kemence két gyártósort, a lap- illetve csőhéjgyártósort szolgálta ki. Az üveg földgázfűtésű feedereken át jutott el a szálazó berendezésekhez. A szálképzést a speciális összetételű szálazótárcsák végezték, melyek hengerfelületén több sorban, több ezer speciális elrendezésű furat található. A tárcsák fordulatszáma folyamatosan változtatható, hőmérséklete egyedi földgáz égőkkel szabályozható volt. A szálazótárcsa aljára lefolyt üveg a centrifugális erő hatására átpréselődött a furatokon és a meglévő sebessége, a felületi feszültség és nyújtólevegő hatására megnyúlva, elvékonyodva hagyta el a szálazótárcsát. Közben speciális fúvókákon át műgyanta keveréket porlasztottunk a keletkező üvegszálakra. Az üvegszálakat egy alulról megszívott végtelenített rácsos szállítószalag juttatta el a következő technológiai részbe a polimerizáló kemencébe. Itt a hőre megszilárduló műgyanta összekötötte az elemi üvegszálakat és az állítható kemence magassággal beállítottuk a kívánt termék vastagságot. Az inhomogén széleket levágtuk, így alakítottuk ki a szélességet, és egy aprítóberendezésen át visszajuttattuk azt a szálazókamrába. Ezután következett az esetleges kasírozás, az automata hosszvágó, illetve későbbiekben még a két réteget létrehozó keresztvágó kialakította a végleges méreteket, majd a tekercselés, automata csomagolás következett.

A gyártás során alapvető kritérium az üvegolvadék megfelelő szabályozhatósága, a jó szálazhatóság, a környezet- és egészség-

védelmi kritériumok betartása és nem utolsó szempont a gazdaságos üveggösszetétel. A gyártás során kéthetente üvegmintát vettünk a szálazótárcsába csurgó üvegből és meghatároztuk az oxidos összetételét és a viszkozitását. A mért összetartozó hőmérséklet-viszkozitás értékeket az [5]-ben leírt módon dolgoztuk fel. Folyamatosan mértük a késztermék minőségi paramétereit (testsűrűség, méretek, szálátmérő, kötőanyag tartalom), és ezeket naplóztuk. A szükséges beavatkozásokról azonnal döntöttünk.

4. Az üveggösszetétel és a viszkozitás kapcsolatai

A különböző oxidos összetételű üvegeink egyik legfontosabb gyártási kritériuma a viszkozitás-hőmérséklet kapcsolat ismerete, és szükség esetén a megfelelő beavatkozás kiválasztása. Az üvegszál gyártásánál üvegeink jellemzésére a következő meghatározó viszkozitásokat alkalmaztuk:

- Olvasztási hőmérséklet: T_o a 10^2 poise hőmérséklete,
- Kidolgozás hőmérséklet: T_k a 10^3 poise hőmérséklete,
- Lágylási (Littleton) pont: T_L a $10^{7,65}$ poise hőmérséklete, valamint az
- Üvegössz: ΔT a 10^4 és $10^{7,65}$ poise hőmérsékleteinek különbsége.

Azonos üvegtípusnál ezek a hőmérsékletek jellemezték az adott oxidos üveggösszetételt, amelyet azonban a szálazótárcsa furatokra vetített üvegerhelése (gramm üveg/óra/furat) jelentősen befolyásolt, ezért nem konkrét értékeket, hanem hőmérséklet tartományokat alkalmaztunk.

Tapasztalataink szerint az előzőekben bevezetett viszkozitás-hőmérsékleteket a Na_2O , K_2O , CaO , és a B_2O_3 m%-os emelkedése jelentősen csökkentik. A Fe_2O_3 már 0,1m% nagyságrendnél is hasonló hatású! A SiO_2 a MgO és az Al_2O_3 viszont emeli ezeket.

A viszkozitás-hőmérsékletcsökkentő oxidok hatáserősségük sorrendjében: $Na_2O > Fe_2O_3 > CaO > B_2O_3 > K_2O$. A viszkozitás-hőmérsékletnövelő oxidok hatáserősségük sorrendjében pedig: $Al_2O_3 > MgO > SiO_2$.

5. A kristályosodás

Az olvadt üveg hűtése során eljut egy olyan hőmérsékleti pontra, ahol bizonyos idő után kristályok jelennek meg benne. Ez a likvidusz hőmérséklet. Az üveg kristályosodásának lehetőségét a kristályosodási hajlama, a kristálymag képződés sebessége (db kristálymag képződés/perc) és a kristályosodás sebessége (kristálynövekedés $\mu\text{m}/\text{perc}$) határozza meg. Az idő függvényében ábrázolva mindkét görbe maximummal rendelkezik. Az üvegek kristályosodási hajlama főképpen a vegyi összetételtől függ. Általános érvényű tapasztalat, hogy a többalkotós üvegek kevésbé hajlamosak a kristályosodásra. Különböző szerzők más, más üveggösszetételnél a következő minőségi megfontolásokat adják:

- Milos Volf *Üvegipari táblázatok és számítások* [1] könyvében azt írja: Az Al_2O_3 , MgO és B_2O_3 csökkentik a devitrifikációt.
- H. J. Marwedel-Brückner *Üvegtechnológia* [2] művében arra figyelmeztet, hogy a magasabb CaO tartalom

nagyobb kristályosodási sebességet eredményez, illetve ha a CaO -t MgO -al helyettesítjük, 1% MgO növelés kb. 10% kristályosodási sebesség csökkenést okoz.

- Kitagorszkij *Üvegtechnológia* [3] művében ezt megerősíti: ha a CaO -t MgO -al helyettesítjük, akkor mind a kristályosodás sebessége, mind a kristályok olvadáspontja csökken.
- Dr. Knapp-Dr. Korányi *Üvegipari kézikönyvében* [4] a következőket állapítja meg: Minél magasabb a kavasav tartalom, annál kisebb a kristályosodási hajlam. Ha a CaO mennyisége csökken, a kristályosodási hajlam is kisebb. Azonos körülmények között a növekvő alkália tartalom csökkenti a kristályosodási hajlamot.

6. Költségek

Az üveggypot gyártás költségeinek döntő többségét az alapanyag, az olvasztandó keverék költsége és az üvegolvasztás határozza meg. Ennek bemutatására összehasonlító 2002-es ár-szinten meghatároztuk a különböző üvegtípusok keverékeinek Ft/t költségét és az átlagos költséghez viszonyított %-os értékeit, amelyet az 1. táblázatban mutatunk be. Fontos megjegyezni, hogy a szálazásnál keletkező műgyantával szennyezett gyűjtőkamra hulladékot (üvegszálát) eleinte veszélyes hulladéklerakóban helyeztük el, ami tetemes kiadást okozott. Kidolgoztuk a nedves szálhulladék víztelenítését és megoldottuk a brikettált szálhulladék keverékbe történő visszaadagolását, újrahasznosítását. Ezzel dupla költségcsökkenést értünk el: nincs hulladéklerakási díj és kisebb költségű keveréket alakítottunk ki. A keverékbe visszaadagolás lehetséges mértékét laboratóriumi próbaolvasztásokkal határoztuk meg. A túlzottan nagymértékű keverékbe adagolás az üvegolvadék sárgás, zöldes elszíneződését eredményezte és megváltoztatta, csökkentette a jelzett viszkozitási pontok hőmérsékletét.

A keverék üvegcserép tartalmát az olvadt üvegre vetítve a kezdeti 25%-ról 65%-ra növeltük. Ennek számos előnye van: fokozza a gyártás gazdaságosságát és meggyorsítja az üvegolvasztás folyamatát. Az üvegcserepet is tartalmazó nyersanyagkeverék gyorsabban olvasható meg, mert az üvegcserép megolvasztása nem jár vegyi folyamatokkal. A gyorsan olvadó üvegcserép aktív szerepet játszik a vele együtt beadagolt nyersanyagok (kvarchomok, dolomit, mészkő, földpát, timföldhidrát, szóda,) feltárásában is. A kisebb olvasztási hőmérséklet kisebb olvasztási energiaszükségletet jelent, ami egyben a kemence élettartam növekedésében is megjelenik. A kemence felújítások, átépítések ciklusidejének növekedése csökkenti az olvasztókemence beruházási és fenntartási költségeit. Az üvegcserép felhasználás egyben azt is jelenti, hogy az üvegyártási alapanyagok egy részét üvegcseréppel helyettesítjük. A természet kincseinek megóvása, a bányászattal járó energiafelhasználás és környezetszennyezés, környezetterhelés csökkenthető [6].

7. Egészségügyi kockázat

Az IARC International Agency for Research on Cancer = Nemzetközi Rákkutató Ügynökség koordinálja a rákos megbetegedések okainak kutatását, a rákkeltő anyagok és a

tumorképződés mechanizmusának felderítését, a tudományos stratégiák kidolgozását a rákbetegség ellenőrzésére. 1972 és 2005 között összesen 878 vegyületre és vegyületcsoportra határozták meg a megfelelő veszélyességi kategóriákat, a fizikai és biológiai expozíció-forrás vizsgálatának eredményeként. A rákkeltő anyagok veszélyességi csoportokba való besorolása meghatározott kritériumok alapján történik. Ezek alapján 5 csoportot különböztetnek meg:

- 1: bizonyítottan emberi rákkeltő,
- 2A: valószínűleg emberi rákkeltő,
- 2B: lehetséges emberi rákkeltő,
- 3: nem besorolható, mint rákkeltő anyag,
- 4: emberen valószínűleg nem rákkeltő.

A legújabb in vivo kísérletek nem szolgáltatnak elegendő bizonyítékot az üvegyapot karcinogenitását illetően, ezért a WHO az üvegyapot besorolását felülvizsgálta és 2002-től a 3-as csoportba sorolta.

A Salgótarjánban 2002 után gyártott üvegyapot egészségügyi kockázatát behatóan tanulmányozta Dr. Szőke Réka az „Üvegszálak egészségkárosító hatásának tanulmányozása hagyományos és nukleáris módszerekkel” doktori értekezésében. Megállapította, hogy a bioszolubilis üvegyapotszál a sejtnedvek hatására lényegesen gyorsabban oldódik, mint a hagyományos üvegyapot. Az üvegszálak az első hónap végére szinte teljesen eliminálódtak a tüdőszövetből [7]. Ezen meg-

fontolásokra az alkalmazott üvegek tárgyalásánál hivatkozni fogunk.

8. Alkalmazott üvegek Salgótarjánban

Az alkalmazott üvegeink főbb jellemzőit a kezdetben havonta, majd 1997-től kéthetente vett üvegminták kémiai elemzése, viszkozitás mérése és az üvegminta vételhez legközelebb eső időpontban mért szálátmérők alapján üvegtípusok szerint csoportosítottuk. A következőkben bemutatjuk a fontosabb technológiafejlesztéseket, változásokat is.

B üveg: 1989. augusztus – 1997. augusztus

Magas Al_2O_3 és K_2O tartalmú japán fejlesztésű üveg. Regeneratív kamrás üvegolvasztás, jellemző a regeneratív kamrákban a rácok beszűkülése, rendszeres a regeneratív kamra leolvasztása. Alacsony olvasztási és kidolgozási hőmérsékletek, vastag 6,4 μm szálátmérő. 2 százalékos, jellemző üvegvivétel 500-700 kg/h. Második legmagasabb költségű üveg.

A üveg: 1997. augusztus – 1998. július

Legmagasabb Al_2O_3 tartalom, Na_2O megnövelve, K_2O csökkentve, magasabb olvasztási és kidolgozási valamint ΔT hőmérsékletek. Vékonyabb 6,17 μm szálátmérő. 2 százalékos, jellemző a megnövelt üvegvivétel 680-800 kg/h. A jelentős, 3%-os B_2O_3 csökkentés hatására az átlagos költségszintnél kicsit drágább üveg.

Jellemző/típus	B	A	KI40	BIO	P1	T12	PZII	5/2V1
SiO₂% átlag	61,05	62,96	55,76	59,30	62,52	60,63	64,28	59,83
minimum	58,39	61,22	52,98	58,39	61,21	58,81	63,01	58,57
maximum	64,74	64,20	59,81	60,87	63,72	62,67	65,57	61,00
CaO% átlag	7,58	7,64	8,12	7,49	7,54	6,25	6,95	7,77
minimum	7,11	7,45	6,83	7,28	7,34	5,99	6,83	7,34
maximum	8,34	7,90	8,68	7,78	8,01	7,39	7,17	8,12
MgO% átlag	2,56	2,62	4,62	2,48	3,48	3,03	3,50	3,90
minimum	2,30	1,74	2,42	2,30	2,90	2,80	3,35	3,60
maximum	3,26	2,78	5,36	2,60	3,67	3,59	3,75	4,07
Al₂O₃% átlag	2,50	4,05	1,17	1,12	1,99	1,81	2,79	2,18
minimum	0,91	3,93	0,77	0,91	1,75	1,70	2,70	1,86
maximum	4,34	4,27	1,49	1,64	2,21	1,96	3,04	2,42
Na₂O% átlag	16,56	16,78	13,70	17,98	16,51	18,26	16,51	17,91
minimum	13,42	15,15	11,68	17,42	15,51	16,45	15,49	16,73
maximum	18,94	18,22	16,78	18,94	17,07	19,67	17,16	18,69
K₂O% átlag	1,00	0,22	4,22	0,25	0,24	0,30	0,27	0,45
minimum	0,03	0,04	0,19	0,03	0,02	0,24	0,22	0,04
maximum	2,54	0,52	7,55	0,37	0,93	0,43	0,38	0,93
B₂O₃% átlag	8,69	5,65	12,30	11,32	7,68	9,68	5,64	7,90
minimum	5,23	4,61	11,17	9,79	6,88	7,58	5,20	7,32
maximum	12,64	6,29	14,32	12,64	9,40	10,52	6,22	8,58
Fe₂O₃% átlag	0,067	0,066	0,10	0,05	0,045	0,045	0,051	0,066
minimum	0,025	0,047	0,06	0,03	0,024	0,037	0,038	0,033
maximum	0,117	0,099	0,28	0,07	0,066	0,051	0,078	0,104
Keverék költségszint %	111,8	104,8	116,2	103,2	89,0	99,3	83,4	92,3

1. táblázat Alkalmazott üvegtípusok és oxidos összetételük, m%
Table 1. Applied glass types and their oxide composition, m%

Jellemző/üveg	B	A	KI40	BIO	P1	T12	PZII	5/2V1
Szálátmérő μm átlag	6,40	6,17	7,28	5,64	5,69	5,36	5,65	5,90
Minimum μm	4,94	5,12	6,64	4,97	5,27	5,03	5,24	5,30
maximum μm	8,30	7,39	8,25	6,33	6,15	5,77	6,11	7,91
T_0 átlag $^{\circ}\text{C}$	1172	1260	1205	1103	1314	1210	1346	1284
minimum $^{\circ}\text{C}$	874	1207	1128	1062	1148	1121	1329	1111
maximum $^{\circ}\text{C}$	1320	1374	1266	1212	1795	1306	1369	1783
T_k átlag $^{\circ}\text{C}$	994	1037	1000	939	1003	953	1023	971
minimum $^{\circ}\text{C}$	901	1004	959	901	966	933	1007	912
maximum $^{\circ}\text{C}$	1089	1060	1040	1003	1038	979	1047	1042
T_l átlag $^{\circ}\text{C}$	700	699	716	695	780	753	773	774
minimum $^{\circ}\text{C}$	618	554	658	643	674	679	742	617
maximum $^{\circ}\text{C}$	915	891	808	724	932	814	801	892
ΔT átlag $^{\circ}\text{C}$	181	213	173	150	125	113	134	106
minimum $^{\circ}\text{C}$	16	63	83	128	22	55	113	43
maximum $^{\circ}\text{C}$	295	333	243	194	216	193	153	244
üvegterhelés gr/óra/furat								
átlag	29,4	27,3	32,2	21,6	24,6	23,8	27,5	30,1
minimum	18,5	16,5	30,0	18,5	19,7	22,0	27,2	22,4
maximum	41,6	40,5	34,1	25,6	27,6	24,5	27,7	38,5

2. táblázat Alkalmazott üvegtípusok és a szálazás jellemzői
Table 2. Applied glass types and fibre preparation properties

KI40 üveg: 1996. április – 1996. május

Az üvegszál gyártásban ekkor jellemző KI 40 típusú üveget a Veszprémi Vegyipari Egyetemen fejlesztettük ki és vezettük be a kemence átépítése előtt.

A fejlesztés során a veszélyes anyagokra vonatkozó német GMBI az üvegszálás szigetelőanyagokra vonatkozó előírásból indultunk ki, mely bevezette a KI értéket a 3 mikronnál vastagabb, 5 mikronnál hosszabb olyan szálakra, amelyeknél a hosszúság-átmérő aránya > 3 .

$KI = \Sigma Na, K, B, Ca, Mg, Ba\text{-oxidok} - 2 \times Al\text{-oxid}$. Az oxidok tömeg %-ban értendők.

- Ha $KI < 30$ akkor a 2. veszélyességi kategóriába tartozik,
- Ha $KI > 30$ és < 40 akkor a 3. veszélyességi kategóriába tartozik,
- Ha $KI > 40$ akkor a 4. veszélyességi kategóriába tartozik.

A fejlesztés során a $KI > 40$ érték elérését tűztük ki célul, de a korábbi üvegeink viszkozitás-hőmérséklet lefutásához hasonlót kerestünk. A munka során 46 üvegoldvasztást végeztünk laboratóriumi körülmények között, aminek mértük a viszkozitását és az oxidos összetételét. Az eredmények egyeztetése alapján jutottunk el a bevezetett üvegösszetételhez, melynek az átlagos KI értéke 40,62. Későbbi irodalmi adatok szerint azonban a KI érték nem minden esetben tükrözi a szálak sejtnevedek hatására történő oldékonyságát. Az irodalomban beszámolnak olyan anyagokról, melyekre a KI közel 40, ennek ellenére az anyag mégis bioperszisztens [7]. A korábbi üvegekhez képest ebben az összetételben az Al_2O_3 drasztikusan csökkentve, CaO és MgO jelentősen, a B_2O_3 pedig a duplájára növelve. Az olvasztási és kidolgozási hőmérséklet $30\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al csökkent a korábbi A üveghez képest. Az üveghossz ΔT is $30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al rövidült. Jellemző volt a nagymértékű üvegkivétel ingadozás, az üveg gyors, drasztikus kristályosodása a szálazótárcsákban, ezért naponta, műszakonként szálazótárcsa cserére volt szükség. Rosszul szálazható üveg, $7,2\text{ }\mu\text{m}$ vastag, üveggyöngyös

szál, szabályozhatatlan szálazás. $500\text{--}650\text{ kg/h}$ üvegkivétel. Extrém korrozív, az olvasztókemencére veszélyes üveg. A késztermék gyorsan öregszik, porzik, kompresszió után nem rúgja ki magát. A legmagasabb B_2O_3 , CaO, MgO és K_2O tartalmú üveg, ezért a legdrágább is. 1996-ban volt az első kemence átépítés, és ezután visszatértünk a B üvegre.

BIO üveg: 1998. augusztus – 1999. március

A KI40 üveg hátrányos tulajdonságait figyelembe véve a Veszprémi Vegyipari Egyetemen együttműködve dolgoztunk ki az in vitro üvegoldhatóságok figyelembe vételével ezt az üvegösszetételt. Alacsony Al_2O_3 , magas Na_2O , a CaO és a MgO illetve K_2O az A üveg szintjén. Alacsony olvasztási és kidolgozási hőmérséklet. Jól szálazható vékony $5,64\text{ }\mu\text{m}$ szálátmérő, jellemző üvegkivétel $750\text{--}800\text{ kg/h}$. A magas B_2O_3 és Na_2O értékek okozzák az átlagos szint feletti költséget. Ezen üvegtípustól kezdve már minden üveggyapot termékünk megfelelt a bio-oldékonysági kritériumnak.

1999-ben megtörtént az átállás teljes oxigén-gáz tüzelésre (3 égővel) folyamatos termelés mellett (korábban hagyományos gáz-levegő tüzelés volt, regenerátoros levegő előmelegítéssel), a Messer és az XOTHERMIC cégek segítségével.

P1 üveg: 1999. április – 2000. március

Gazdaságosság miatt a B_2O_3 jelentősen csökkentve, a MgO 1%-al, az Al_2O_3 0,8%-al emelve a Na_2O 1,4%-al csökkentve. Az olvasztási és kidolgozási hőmérsékletek magasabbak, de az üveghossz rövidebb, alacsonyabb ΔT . Még elfogadhatóan szálazható, de időnként göbös, $5,69\text{ }\mu\text{m}$ szálátmérő, jellemző üvegkivétel $800\text{--}950\text{ kg/h}$. Az oxidos összetétele a költséges üvegalkotók tekintetében a középmezőnyben van, ezért a második legköltséghatékonyabb üveg.

2000-ben közbenső kemence hidegjavítás és ez alatt az oxigén-gáz tüzelési rendszer továbbfejlesztése (4 égő).

T12 üveg: 2000. április – 2000. július

Az alkália és a B_2O_3 2-2%-al emelve, a CaO az Al_2O_3 és az MgO csökkentve. Az olvasztási és a kidolgozási hőmérsékletek 100 illetve 50 °C-al alacsonyabbak, az üveghossz is 10-30 °C-al rövidült. Viszonylag jól szálaható, átlagos szálátmérő 5,36 μm az üvegvivétel 840-950 kg/h. Az átlagos költségszintnél kevesebb olcsóbb ez az üveg.

PZII üveg: 2002. február – 2002. május

Az eddig alkalmazott üvegek közül a legmagasabb SiO_2 , közepes Al_2O_3 , alacsony R_2O (Na_2O+K_2O) és a legalacsonyabb B_2O_3 tartalmú üveg. Az olvasztási és kidolgozási hőmérsékletek a korábbi üvegek felső határánál, az üveghossz, a ΔT a középmezőnyben van, jól szálaható. Jellemző szálátmérő 5,65 μm 850 – 1000 kg/h üvegvivétel mellett. Az előbb bemutatott oxidos összetétel alapján a leggazdaságosabban előállított üvegünk.

2002-ben történt meg a kemence átépítése nagyobb kapacitására, az oxigéntüzelés továbbfejlesztése (6 égő), elektromos pótfűtés (500 kW teljesítmény) kialakítása, feeder csatorna bővítése. Gyártósor kapacitás bővítése: 3. szálázó telepítése, gyűjtőkamra meghosszabbítása. Csomagolás korszerűsítése.

5/2V1 üveg: 2000. augusztus. – 2002. február és 2002. júniustól a leállítáig, 2009. áprilisig

A BIO és a KI40 üveg után a legalacsonyabb SiO_2 illetve a legmagasabb R_2O és a 4. legmagasabb B_2O_3 illetve RO ($CaO+MgO$), közepes Al_2O_3 tartalmú üveg. A P1 és a PZII után a harmadik legmagasabb olvasztási és a középmezőnyben lévő kidolgozási hőmérséklettel rendelkezik. Az üveghossz, a ΔT a legkisebb terjedelmű, tehát a használt üvegeink közül a legrövidebb. Viszonylag jól szálaható jellemző szálátmérő 5,9 μm 860-1350 kg/h üvegvivétel mellett. A harmadik legolcsóbb üvegösszetétel.

9. Tulajdonos, vezetés, fejlesztés

2003-ban új tulajdonos a spanyol URALITA cég lett. Raktár épület bérlése logisztikai tevékenység korszerűsítése történt. Névváltozás: URSA Salgótarján Rt.

2007-ben környezetvédelmi beruházások történtek. Elektrofilter telepítésére került sor az olvasztás porkibocsátásának csökkentésére (az európai környezetvédelmi előírásoknak is megfelelően). Új, csendesebb hűtőtornyok telepítése történt.

2008-ban kemence átépítés történt az oxigéntüzelés újabb

korszerűsítésével. Megtörtént a kötőanyagrendszer korszerűsítése. A polimerizációs kemence hatékonyságát javítottuk. Beruházás történt a zajkibocsátás határérték alá csökkentésére és az üzemi belső légtechnika optimalizálására. A gyár fejlődését jól tükrözi, hogy kapacitása – a létszám változatlanul tartása mellett – megalakulása óta háromszorosára nőtt. A minőségre jellemző üvegszál átmérő pedig 25%-kal javult ezen időszak alatt. A csapatunk által kifejlesztett bioszolubilis üvegyapotszál nem volt egészségkárosító hatású. A piac és a termelés töretlenül fejlődött, de 2008-ban a kialakuló gazdasági válság már érezte hatását, és a vállalatvezetés 2009. áprilisában leállította a magyarországi üvegyapógyártást.

10. Összefoglalás

A cikk bemutatta a salgótarjáni üvegyapot gyártásánál használt üvegek oxidos összetételét, ezek hatásait a jellemző viszkozitás értékekre, a gyártásra és a terméktulajdonságokra. Szemléltette az egyes üvegtípusokhoz tartozó gyakorlati tapasztalatokat, előnyöket, hátrányokat.

Felhasznált irodalom

- [1] Volf, M. B. (1956): Üvegyipari táblázatok és számítások, *Műszaki Kiadó*, 328 p.
- [2] Marwedel, H. J. – Brückner, R. (2010): *Glastechnische Fabrikationsfehler*, Springer, 623 p.
- [3] Kitagorszkij, I. I. (1954): Üvegtechnológia, *Építésügyi Kiadó*, 522 p.
- [4] Knapp, O. – Korányi, Gy. (1964): Üvegyipari kézikönyv, *Műszaki Könyvkiadó*, 667 p.
- [5] Szemán, J. (2006): A viszkozitás szerepe az üvegyártásban, *Építőanyag*, Vol. 58, No. 1, pp. 15-18. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2006.4>
- [6] Tóthné Kiss, K. (2007): Üveghulladék, mint alapanyag az üvegyárak hulladékgazdálkodásában, *Építőanyag*, Vol. 59, No. 4, pp. 114-17. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2007.17>
- [7] Szóke, R. (2009): Üvegszálak egészségkárosító hatásának tanulmányozása hagyományos és nukleáris módszerekkel, *PhD értekezés*, http://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2009/szoke_r.pdf
- [8] Szemán, J. (2006): Üvegszálás hőszigetelő anyagok, tendenciák, kapcsolatok, összefüggések, *Építőanyag*, Vol. 58, No. 3, pp. 85-91. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2006.14>

Ref.:

Szemán, József: 20 év – Tucatnyi üveg

Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 68, No. 1 (2016), 14–19. p.

<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.3>

GLASSMAN
MIDDLE EAST 2016
10-11 May 2016, ADNEC, Abu Dhabi

Where the hollow glass industry meets to do business
www.glassmanevents.com/mid-east

Glassman Middle East is an international exhibition and conference for the hollow glass manufacturing industry.

This niche event brings together international experts, glass container manufacturers and businesses that use glass containers to discover the latest innovations which include energy efficiency, quality control, packaging, logistics and decorative possibilities.

In situ application of high and ultra high strength concrete

ABDULKADER EL MIR ▪ BME Department of Construction Materials and Technologies
 ▪ abdelkader.elmir@hotmail.com

SALEM GEORGES NEHME ▪ ME Department of Construction Materials and Technologies
 ▪ sgnehme@yahoo.com

KINGA NEHME ▪ University of Debrecen, Department of Civil Engineering ▪ kpankhardt@yahoo.com

Érkezett: 2015. 12. 10. ▪ Received: 10. 12. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.4>

Abstract

High strength concrete (HSC) and ultra-high strength concrete (UHSC) have become today highly required due to their enhanced properties in terms of strength and durability. An experimental program was executed at BME, Department of Construction Materials and Technologies in order to evaluate the mechanical properties of HSC and UHSC mixtures including supplementary cementitious materials (SCM) such as silica fume and metakaolin, to achieve the optimal mixture for site applications. Compressive strength was evaluated at different ages. Variable parameters were the amount of water, cement and SCM. Several alterations were performed to reach the required strength by the designers. Based on the laboratory experiment results, the most effective replacement amount of cement is 8% for SF and 17% for MK.

Keywords: compressive strength, high strength concrete, optimization, ultra-high strength concrete.

1. Introduction

The concept of high-strength concrete (HSC) has been varied and manipulated over time. Since 1950, concrete with 34 MPa compressive strength was considered HSC. With the progress of time and technology, HSC compressive strength today reaching 140 MPa was applied to be cast-in-place. Also laboratory researches were able to reach 800 MPa compressive strength using special type of materials [1]. Hence the definition of HSC is by no means static. High performance concrete (HPC) is the recent terminology which is defined based on obtaining high strength and durable concrete simultaneously. It is basically constituted of the same materials of normal concrete where supplementary cementitious materials (SCM) and admixtures are added to obtain the required properties. Several mega structures were completed applying this technology. For instance *Tapei 101* located in Taiwan and *Burj Khalifa* in United Arab Emirates were built under this technology. Based on the recommendation of ACI 363 Committee, we can define that HSC to be *high strength* where the material in range of 40 to 55 MPa at the ages of 28 days or later [2]. Nowadays, due to the developing of the chemical industry and application of advanced additive materials, ultra-high-performance concrete (UHPC) or ultra-high-strength (UHSC) with compressive strength ranging about 100-200 MPa can be reached, as well. It is produced using binding materials and very fine powders such as cement, silica fume, crushed quartz and metakaolin [3-6]. It is characterized by its dense microstructure and very low porosity in which is limited to 9% in volume on the pre diameter ranged between 3.75 nm to 100 μm [7].

Porosity and compressive strength of concrete are interconnected and directly influence the failure behavior of the material. Void spaces with variety of sizes and micro cracks in the concrete matrix define the complex failure mode which varies with the type of stress applied. It is agreed that, medium

or low strength concrete under uniaxial loading, no cracks are induced in the matrix up to about 50 percent of stress failure whereas at this level a stable state of cracks, known as shear-bond cracks, already exists in the vicinity of coarse aggregate. At higher stress levels, cracks are initiated within the matrix; their number and size increases progressively with increasing stress levels. Also, initial cracks in the matrix and the interfacial transition zone (shear-bond cracks) eventually meet up to the final failure mode.

According to *Fig. 1*, failure mode of concrete cubes tends to change depending on porosity.

The relationship between strength and cement content is not directly proportional as the one between water to cement ratio (w/c) and strength [8-13].

Not only the cement influences the failure behavior, the aggregate to cement ratio has an effect on the strength, as well: mainly the type of aggregates and it can be noticed in high strength concrete.

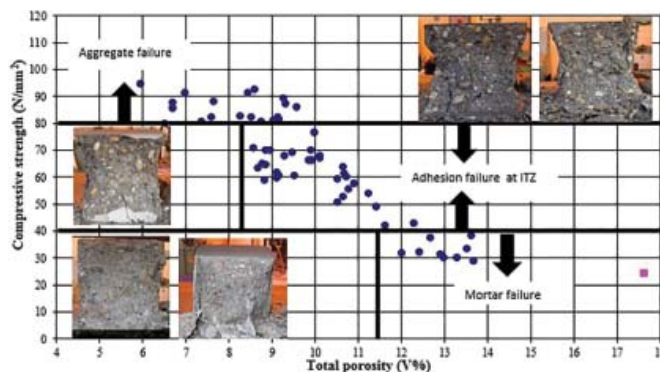


Fig. 1. Concrete compressive strength vs. total porosity [14]
 1. ábra Beton nyomószilárdság és teljes porozitás kapcsolata [14]

Abdulkader EL MIR

MSc Civil Engineer, PhD student at BME, Department of Construction Materials and Technologies. Fields of interest: porosity of concrete, self compacting concretes, high performance concretes.

Salem Georges NEHME

MSc Civil Engineer, PhD, Associate Professor at BME, Department of Construction Materials and Technologies. Fields of interest: 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.

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). Fields of interests: load bearing glasses, testing of construction materials, design, recycling of building materials.

2. Experimental details

2.1 Materials

CEM I 42.5 N was used in the first concrete mixture category (denoted as H-type) for HSC in the present experiments. For the other types of concrete mixtures, CEM I 52.5 N and CEM II 42.5 A-S was implemented 50-50 % as the main bindery materials in UHSC (denoted as U-type). Metakaolin and silica fume were added as SCM to the mixtures. Fine and coarse aggregates were collected from local sources in Budapest, Hungary. For the H- type, a fixed proportion of particle size distribution was applied as 40% sand (0-4 mm), 30% small gravel (4-8 mm), and 30% medium gravel (8-16 mm), respectively. Gravel was extracted from Danube River which is used as aggregate. Maximum size of aggregate was $D_{max} = 16$ mm. U-type particle size distribution was applied as 30% very fine sand (0.2-0.6 mm), 10% fine sand (0.4-1 mm), 35% medium sand (1-2.5 mm) and 25% coarse sand (2-5 mm). Natural quartz sand was used as aggregate with maximum size of aggregate $D_{max} = 2.36$ mm. For more information, Fig. 2 presents the particle size distribution curves of aggregates for each H-type concrete. BASF Glenium 51 was applied as superplasticizer (SP) to control water content and to take into account the required workability and performance in fresh stage.

2.2 Mixture trials

All concrete mixture trials were performed in the laboratory. According to Table 1, main variable parameters of the first type of mixture were the amount of water and cement, keeping in mind that a constant water to cement ratio is assured. A range of 0-20% of silica fume SCM was implemented in the concrete mix. High range water reducing admixture was used to

compensate the low amount of water and assure the adequate rheological properties.

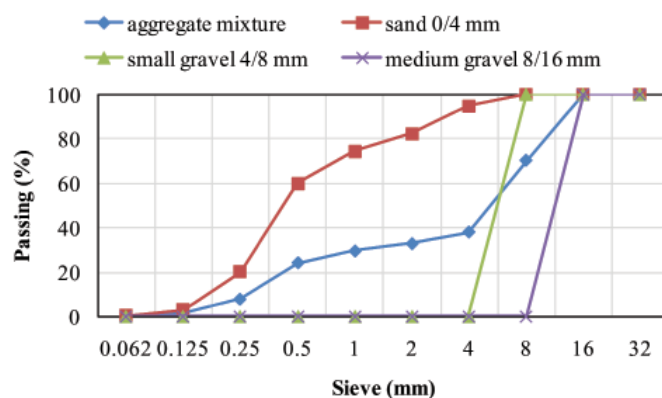


Fig. 2. Particle size distribution of H-mixtures aggregates
2. ábra Szemcseméret-eloszlás; H-jelű keverékek adalékanyagai

2.3 Experiments

Standard cube specimens were tested under a constant loading rate of 11.25 kN/s using a universal closed-loop hydraulic testing machine during the compressive strength testing according to EN 12390-3 European Standard [15]. Tests were performed at 1, 3, 7 and 28 days respectively for H-type mixture. Regarding U-type mixture, compressive strength was tested at the age of 7 and 28 days. At each age, three specimens were tested in compression.

3. Results

Fig. 3 illustrates the results of compressive strength of HSC mixtures at the age of 1, 3, 7 and 28 days. It can be seen the variation of compressive strength depends on the dosage of

Mixtures	H0-1	H0-2	H10-1	H10-2	H20-1	H20-2	H0-C1	H0-C2	H10-C1	H10-C2	H20-C1	H20-C2
Cement	380	380	345	345	362	362	440	440	400	400	419	419
Silica fume	0	0	34.5	34.5	18.1	18.1	0	0	40	40	20.95	20.95
Water	113.2	134	113.1	133.8	113.3	134	128.9	151.8	128.9	151.8	128.9	151.8
0-4	801	784	796	780	798	782	761	742	755	736	758	739
4-8	601	588	597	585	599	586	571	556	566	552	568	554
8-16	601	588	597	585	599	586	571	556	566	552	568	554

Table 1. H-type concrete mixtures proportions in kg/m³
1. táblázat H-jelű betonkeverékek összetétele kg/m³

Mixtures	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
Cement	600	600	600	600	660	660	600
Silica fume	48	0	42	48	52.8	52.8	48
Metakaolin	102	120	78	102	112.02	112.02	102
FL Quartz	0	200	200	300	300	240	240
Water	187	180	174	180	198	198	180
0.2-0.6	330	377	380	335	299	317	352
0.4-1	110	126	127	112	100	106	117
1-2.5	275	314	317	391	348	370	411
2-5	385	439	444	280	249	264	293

Table 2. U-type concrete mixtures proportions in kg/m³
2. táblázat U-jelű betonkeverékek összetétele kg/m³

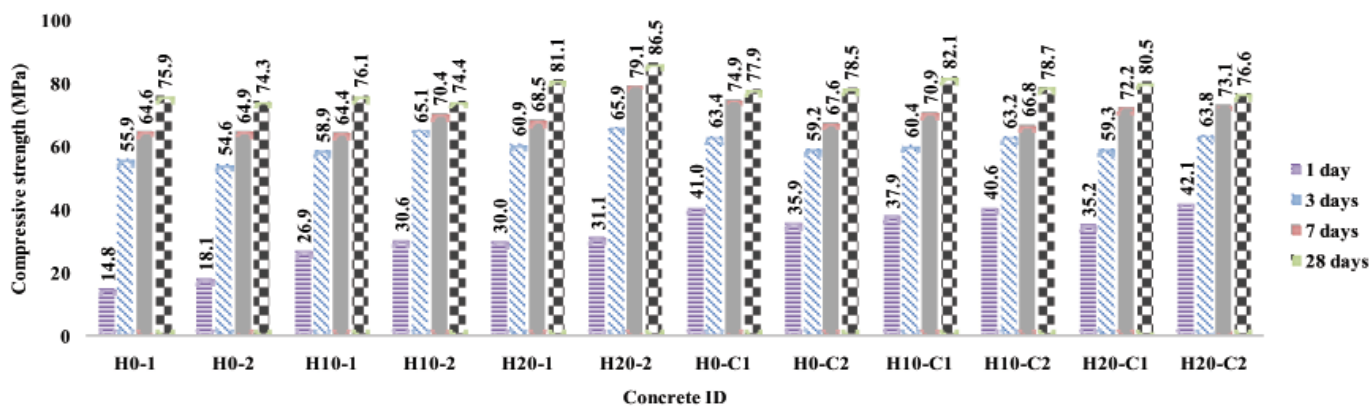


Fig. 3. Mean compressive strength of H-type concrete specimens at the age of 1, 3, 7 and 28 days
 3. ábra H-jelű betonkeverékek átlagos nyomószilárdsága 1, 3, 7 és 28 napos korban

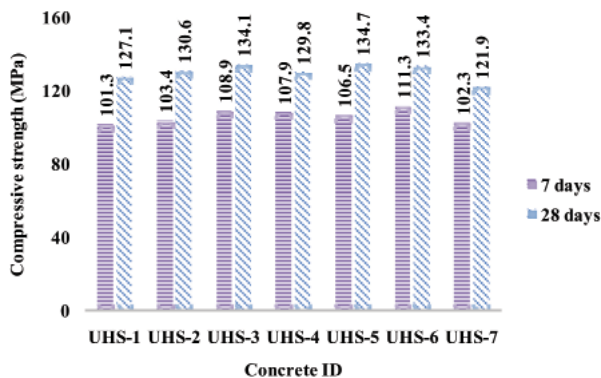


Fig. 4. Mean compressive strength of U-type concrete specimens at the age of 7 and 28 days
 4. ábra U-jelű betonkeverékek átlagos nyomószilárdsága 7 és 28 napos korban



Fig. 6.a. Formwork section close up
 6.a ábra Zsaluzat kialakítása



Fig. 5. V-shaped columns of Regent Pearl Hotel located in U.A.E. [16]
 5. ábra V-alakú pillérek a Regent Pearl Hotel tartószerkezetében [16]



Fig. 6.b. Final concrete section
 6.b ábra A végleges megerősítés

SF applied. The lowest value at the early ages (1 and 3 days) corresponds to H0-1 (14.75 N/mm²) for 0 m% of cement substitution of SCM. However, H20-C2 showed the highest value of compressive strength (42.05 N/mm²) for 20 m% of cement substitution by silica fume. This development of compressive strength showed approximately similar values for H0-C1, H10-C1 and H10-C2. Hence 10% of cement substitution by silica fume would be the limited value to get a similar compressive strength at early ages in comparison with 20% mass of cement substitution. At the age of 28 days, H20-2

showed the highest value of compressive strength. However, H10-C2, at 10% of cement mass replacement, showed approximately a close value of 82 N/mm².

UHSC U-type mixtures compressive strength results are presented in Fig. 4. At a total content of binders (824.82 kg/m³), U5 showed the highest compressive strength reaching 134.7 N/mm² at the age of 28 days. This strength was obtained by means of 8% SF and 17% MK mass replacement of cement. Also all U-type mixtures exceeded the compressive strength of 100 N/mm² at the age of 7 days.

4. Site applications

HSC and UHSC mixtures are used in several occasions especially in high rise buildings, long span bridges and enhancement or repair cases. According to Fig. 5, V-shaped columns were placed for a high rise hotel located in Abu-Dhabi where C75 concrete was used [16]. Moreover, some applications require higher compressive strength. For instance, Fig. 6 show a case reported in Budapest, Hungary where critical cracks were visualized on diaphragm walls of a bridge. Enhancement was required to provide the minimum mechanical and durability properties needed for an adequate service life. C100 concrete was used for the repair.

It should be noted that the utilization of HSC and UHSC in these applications has solved many difficulties such as vibrating and filling concrete into the formwork. Also manpower needed to fill formworks has been decreased in comparison with conventional concrete application [17].

5. Conclusions

Optimized HSC and UHSC were obtained based on trial batches and alterations of SCM incorporated in the mixtures. The following conclusions can be drawn:

- Mixtures incorporating SCM showed an increase in the compressive strength with respect to mixture that includes only cement as a binding material.
- High early compressive strength can be reasonably reached by applying HSC and UHSC technology.
- The SCM content in concrete mixtures has limited range for appropriate performance. In case of silica fume, 8-10% mass replacement of cement would be the maximum amount applied. However, in case of metakaolin, 17-20% mass replacement of cement would be the maximum limited amount.
- Application of HSC and UHSC solves filling difficulties and helps to produce more attractive surfaces in terms of aesthetic appearances.
- More investigation is essentially required in terms of durability to understand the behaviour of such concretes for longer service life structures.

6. Acknowledgement

Authors are grateful to the Hungarian Scientific Research Fund (OTKA) for the financial support of the OTKA K 109233 research project.

References

[1] Schmidt, M. – Fehling, E. (2004): Ultra-High-Performance Concrete: Research, Development and Application in Europe, *Proceedings for International Symposium on Ultra-High Performance Concrete*, Kassel, Germany, p. 32.

[2] ACI Committee 363R (1997): State-of-the-art report on high-strength concrete. *American Concrete Institute*

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

[4] Kara, P. (2015): Performance of lamp glass waste powder (LGWP) as supplementary cementitious material (SCM) – viscosity and electrical conductivity, *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 67, No. 1, pp. 12–18. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.3>

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

[6] Borosnyói, A. – Kara, P. – Mlinárik, L. – Kase, K. (2013): Performance of waste glass powder (WGP) supplementary cementitious material (SCM) – Workability and compressive strength *Építőanyag*, Vol. 65, No. 3, pp. 90–94. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.17>

[7] Cheyrezy, M. – Maret, V. – Frouin, L. (1995): Microstructural analysis of RPC (reactive powder concrete). *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 7, pp. 1491–1500. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00143-Z](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(95)00143-Z)

[8] Nehme, S. G. (2015): Influence of supplementary cementing materials on conventional and self-compacting concretes – Part. 1. Literature review, *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 67, No.1, pp. 28–33. (in Hungarian) <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.6>

[9] Nehme S. G. (2015): Influence of supplementary cementing materials on conventional and self-compacting concretes – Part. 2. Laboratory tests, *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 67, No.2, pp. 71–78. (in Hungarian) <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.12>

[10] El Mir, A. – Nehme, S. G. (2015): Porosity of Self-compacting Concrete, *Procedia Engineering*, Vol.123, pp. 145–152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.071>

[11] Pekár, Gy. (2013): Simple basic model for concrete and its application. Part 1. Content indicators of concrete mixtures and mixing plant observations, *Építőanyag*, Vol. 65, No. 2, pp. 52–60. (in Hungarian) <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.12>

[12] Pekár, Gy. (2013): Simple basic model for concrete and its application. Part 2. Factors that influence compressive strength and drying shrinkage, *Építőanyag*, Vol. 65, No. 3, pp. 76–84. (in Hungarian) <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.15>

[13] Pekár, Gy. (2013): Simple basic model for concrete and its application. Part 3. Factors affecting consistency, material balance equations and mix design, *Építőanyag*, Vol. 65, No. 4, pp. 118–126. (in Hungarian) <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.22>

[14] Nehme, S. G. (2004): The porosity of concrete, *PhD thesis*, 58 p. (in Hungarian)

[15] CEN (2009): Testing hardened concrete. Compressive strength of test specimens. EN 12390-3:2009 European Standard

[16] <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1785186&page=2>

[17] El Mir, A. (2012): Training Report of the Regent Emirates Pearl Hotel, *Unpublished manuscript*, Arabian Construction Company.

Ref.:

El Mir, Abdulkader – Nehme, Salem Georges – Nehme, Kinga:
In situ application of high and ultra high strength concrete
 Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials,
 Vol. 68, No. 1 (2016), 20–23. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.4>

Nagyszilárdságú és ultra-nagyszilárdságú betonok gyakorlati alkalmazása

Nagy szilárdságú (HSC) és ultra nagy szilárdságú (UHSC) betonkeverékek laboratóriumi vizsgálatain keresztül a szerzők igazolták, hogy 80-140 MPa nyomószilárdság tartományban a szilikapor kiegészítő anyag optimális mennyisége 8%, a metakaolin kiegészítő anyag optimális mennyisége 17%, a cement tömegére vonatkoztatva.
 Kulcsszavak: nyomószilárdság, nagy szilárdságú beton, optimalizálás, ultra nagy szilárdságú beton.

First published in 2014's pilot edition, the QS University Rankings: Emerging Europe & Central Asia (EECA) has been extended in 2015 to feature the top 150 universities in the region.

The ranking uses a methodology adapted from the overall QS World University Rankings®, and similar to those used for QS's other regional rankings.

A total of nine factors are assessed, each of which contributes a certain proportion towards institutions' overall scores:

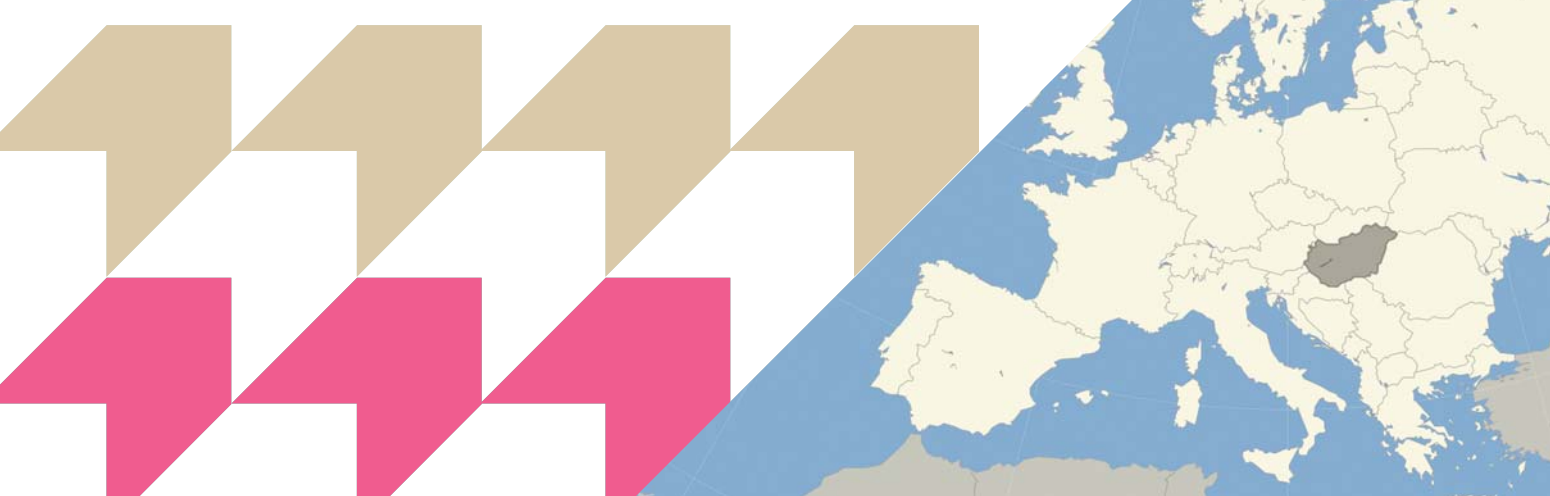
- Academic reputation (30%)
- Employer reputation (20%)
- Faculty/student ratio (15%)
- Papers per faculty (10%)
- Web impact (10%)
- Staff with a PhD (5%)
- Citations per paper (5%)
- International faculty (2.5%)
- International students (2.5%)

Emerging Europe & Central Asia (EECA) region covers the following countries in alphabetic order: Albania, Azerbaijan, Belarus, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Czech Republic, Estonia, Georgia, Hungary, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, Poland, Romania, Russia, Serbia, Slovakia, Slovenia, Turkey, Ukraine.

Hungarian university rankings:

2015 RANK	Institution Name	Country / Territory	Classification*					Academic Reputation	Employer Reputation	Faculty Student	Staff with PhD	Papers per Faculty	Citations per Faculty	International Faculty	International Students	Webometrics	Overall SCORE
			SIZE	FOCUS	RES.	AGE	STATUS	SCORE	SCORE	SCORE	SCORE	SCORE	SCORE	SCORE	SCORE		
13	UNIVERSITY OF SZEGED		L	FC	HI	5	A	94.1	82.4	48.1	62.0	62.7	95.7	63.1	71.8	80.6	81.5
16	EOTVOS LORAND UNIVERSITY		L	FO	VH	5	A	95.9	79.5	19.6	100.0	78.5	96.2	13.6	24.8	98.7	80.0
29	UNIVERSITY OF DEBRECEN		L	FC	HI	5	A	91.1	82.4	24.3	73.3	68.0	98.6	28.0	86.9	58.2	75.2
32	BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS		L	FO	VH	5	A	86.5	99.2	8.6		99.8	73.3			94.5	73.8
42	CORVINUS UNIVERSITY OF BUDAPEST		L	FO	HI	5	A	79.5	99.7	9.7	83.1	43.1	64.9	30.1	72.2	26.3	65.3
53	UNIVERSITY OF PÉCS		L	FC	MD	5	A	75.0	78.7	30.8		33.6	96.3			45.3	58.4
78	UNIVERSITY OF MISKOLC		L	FO	HI	5	A	38.2	64.0	80.5		10.5	26.8			36.7	44.6

Visit: www.topuniversities.com/eeca-rankings



Geopolimer alapú kompozit fejlesztése melléktermékekből

SZABÓ ROLAND • Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola
 ▪ ejtszabor@uni-miskolc.hu

MOLNÁR ZOLTÁN • Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola
 ▪ molnarz87@gmail.com

BALOGH TAMÁS • Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
 ▪ tamas.balogh22@gmail.com

MÉSZÁROS RICHÁRD • Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
 ▪ ricsi.meszáros92@gmail.com

Érkezett: 2015. 12. 22. • Received: 22. 12. 2015. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.5>

Development of geopolymer based composite from secondaries

This paper is focused on the development of geopolymer-glass foam composite, which can be produced by encapsulation of glass waste based lightweight aggregate in geopolymer matrix. The aim of the investigation was to produce glass foam with the optimum pore size and the most homogeneous particle size distribution and to examine the encapsulation of these materials in geopolymer. The glass foam was manufactured by calcination of green pellets which contained mixture of waste glass, bentonite and dolomite powder as raw materials. The appropriate porosity was achieved at 850 °C calcination temperature and 7.5 min residence time. Significant coalescence of the cells was appeared when the glass foam particles were heat-treated at higher temperature (900 °C). On the other hand, lower temperature (800 °C) generated only small amount and small size of pores. Additionally, the compressive strength and specimen density of geopolymer-glass foam composite was investigated as well as function of dosage and size of glass foam granulates. Increasing amount and size of glass foam decreased the specimen density as well as the compressive strength of the composite. The highest compressive strength (4.7 MPa) was reached by addition of 2-4 mm glass foam aggregate in the portion of 40 V/V %. The optical microscope images showed that the cementation between the glass foam particles and geopolymer matrix was uniform in the cross section, without inclusions. Based on the experimental results it can be concluded that the geopolymer-glass foam composite may be an alternative solution for the innovative utilization of glass waste and fly ash, which can be used in the construction industry.

Keywords: glass foam, geopolymer, grinding, composite, heat insulation material.

Kulcsszavak: üveghab, geopolimer, őrlés, kompozit, hőszigetelő anyag.

1. Bevezetés

Kutatási területünk összetett jellegéből adódóan több, jelenleg is fejlesztés alatt álló iparág és terméktípus jellemzéséről kell bevezetést adnunk, hogy az eredményeink komplexitását kellőképpen ismertetni tudjuk. Így elsőként az üveghulladékokról és azok kalcinálás vagy olvasztás útján történő újrahasznosításáról, majd az erőműi pernyékről és geopolimer kötőanyag előállítására történő felhasználásáról nyújtunk rövid összefoglalót.

Magyarországon évente 200-250 ezer tonna üveghulladék keletkezik, melynek szeparálása után a színes üveget lerakják, a szintelen üveg 5-15 %-át pedig különböző technológiákkal újrahasznosítják, ami kis hasznosítási arány. Erre a problémára nyújthat megoldást az üveghab alapú habkavics előállítása. Ez a habkavics egy olyan, magas üvegtartalmú anyag, amelynél az üveget megfelelő szemcseméretűre őrlve és összetételétől függően különböző mennyiségű gázképző anyaggal homogenizálva, az üveg lágyulási pontjáig melegítve a gázképzők okozta gázfelszabadulás (pl. CO₂) egy kis halmazsűrűségű anyagot eredményez. A keletkező terméket kötőanyagba ágyazva (beton, gyanta) töltőanyagként lehet hasznosítani [1].

König és szerzőtársai [9] katódugárcső panelüveget és habképző anyagként CaCO₃-ot felhasználva készítettek üvegha-

bot. A 63 µm alá őrlött üvegorhoz 1-10 m/m%-ban adagoltak CaCO₃-ot. Vizsgálták a hozzáadott CaCO₃ mennyiségének, a habosodási hőmérsékletnek és időnek a termék sűrűségére, porozítására és homogenitására gyakorolt hatását. Az eredmények azt mutatták, hogy a CaCO₃ bomlási kinetikája – a fejlődő CO₂ által meghatározva – erősen befolyásolja a habosodási eljárást. Az optimális beállítások mellett készített termék sűrűsége 260 kg/m³, míg a hővezetési tényezője 50-53 mW/m K volt.

Benhaoua és szerzőtársai [10] hulladék üveg és CaCO₃ habképző anyag felhasználásával készítettek az építőanyagoknál könnyebb, jó hő- és hangszigetelő tulajdonságokkal rendelkező üveghabot. Vizsgálataik eredményei alapján megállapították, hogy a CaCO₃ mennyiségének növelése nagyobb porozítású és kisebb hővezető-képességgel rendelkező termék állítható elő, mely az építőiparban hasznosítható lehet.

Hazai szerzők tanulmányaikban beszámolnak egy CRT üveghulladékból gyártott habkavics alapú könnyűbeton mechanikai tulajdonságairól saját kísérleti eredményeik alapján [11-12]. A hazai fejlesztésű anyag megfelelő nyomószilárdsággal és kedvezően kis vízfelvétellel rendelkezik, fagyállósága és kopásállósága a könnyű adalékanyagoktól elvárható mértéknek megfelel [13-14], az ezzel készülő könnyűbetonokban a betonacélok tapadása kedvező [15].

SZABÓ Roland

A Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolájának PhD hallgatója 2014. szeptemberétől. Előkészítéstechnikai mérnöki MSc diplomáját 2013-ban szerezte a Miskolci Egyetemen. 2013. júliusa és 2014. szeptembere között tanszéki mérnök a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében. Jelenlegi kutatási témája a speciális tulajdonságú geopolimerek fejlesztése, különös tekintettel a habszerkezetű geopolimer termékre.

MOLNÁR Zoltán

A Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolájának PhD hallgatója. Előkészítéstechnikai mérnöki MSc diplomáját 2012-ben szerezte a Miskolci Egyetemen. Kutatási témája a geopolimerek tulajdonságainak szabályozása mechanikai aktíválással.

BALOGH Tamás

2016-ban végzett a Miskolci Egyetemen Műszaki Földtudományi alapszakon, Nyersanyagelőkészítési szakirányon. A 2015-ös Országos Tudományos Diákköri Konferencián II. helyezést ért el.

MÉSZÁROS Richárd

2015-ben végzett a Miskolci Egyetemen Műszaki Földtudományi alapszakon, Nyersanyagelőkészítési szakirányon. A 2015-ös Országos Tudományos Diákköri Konferencián II. helyezést ért el.

Az üveghulladék mellett komoly probléma az erőműi pernye hasznosítása. A világ energiatermelésének jelentős részét (kb. 30%-át) a mai napig széntüzelésű erőművekkel látják el. Az itt keletkező pernye környezeti kockázatot jelent. Csak Magyarországon évente kb. 2 millió tonna pernye keletkezik, amelynek nagy részét tárolóban történő lerakással ártalmatlanítják, és mindössze 20%-át hasznosítják, leggyakrabban a cementiparban. Ezt az arányt növelendő megoldás lehet a másodnyersanyagként történő felhasználása, mint például beton adalékanyaga, hidraulikus kötőanyag, valamint geopolimer előállítására. A geopolimer olyan, mesterségesen előállított alumínium-szilikát alapú kötőanyag, amelynek mechanikai tulajdonságai hasonlóak a betonéhoz. Ezen hasonlóság miatt a jövőben több felhasználási területen is elképzelhető a hasznosításuk [2-6].

A fentiekkel összefüggésben a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárás-technikai Intézetében vizsgálatokat végeztünk egy geopolimer-üveghab kompozit kifejlesztése céljából.

2. Anyagok és módszerek

A következőkben a kísérletek során felhasznált alapanyagok főbb tulajdonságait (szemcseméret-eloszlás, fajlagos felület, kémiai összetétel), és a vizsgálatokhoz használt berendezéseket mutatjuk be.

2.1 Alkalmazott vizsgálati módszerek

A méréseink során a megfelelő szemcseméret eléréséhez mind az üveghulladékot mind a pernyét őrlni kellett. Az üvegpors előállítása három aprítási lépcsőben valósult meg: 1. aprítás pofás törővel, 2. aprítás hengeres törővel, 3. őrlés golyósmalomban. A pernye mechanikai aktiválása szintén golyósmalomban történt, amelyet a kémiai összetétel meghatározása követett Rigaku Supermini 200 típusú hullámhossz diszperzív röntgen fluoreszcens spektrométer segítségével, CereOX cementű porpelleten.

A minták szemcseméret-eloszlását és fajlagos felületét Horiba LA-950V2 típusú lézeres szemcseméret elemző készülékkel mértük. A készülék egy lézergyűr-elhajlással alapuló spektrométer. A mérőcellában keringetett közeg által a szemcsét érő fénysugár elhajlási szöge a szemcse méretével fordítottan arányos, erőssége pedig gyakoriságával hozható összefüggésbe. A berendezés a szemcseméret-eloszlási számításokat az úgynevezett Mie elmélet szerint hajtja végre. Ez a berendezés 10 nm-től 3 mm-ig terjedő tartományban képes a méréseket elvégezni.

Az üveghab pelleték előállítására pelletáló tányért alkalmaztunk. Az üveghab pelleték előállítására előtt kísérleti úton meghatároztuk a berendezés optimális üzemelési paramétereit. A tányér dőlésszögét 30°-ra választottuk, a kerületi sebességet pedig egy frekvenciaváltó segítségével 0,29 m/s-ra állítottuk be. A tányér átmérője 595 mm volt.

Az üveghab pelleték és a geopolimer-üveghab kompozit hőkezelése NaberthermL(T)3 típusú laboratóriumi statikus kemencében történt.

A kiegészítő pelleték pórusainak és a geopolimer kompozitoknak a vizsgálatára Zeiss AxioImager M2m típusú

mikroszkópot használtunk, mely egy motoros, HBO 100 állvánnyal, illetve egy 5"-os TFT kijelzővel van felszerelve. Fizikai mérete: 390×721×505 mm. Többféle nagyítással rendelkezik, 5-szöröstől kezdve egészen a 100-szorosig. A mikroszkóphoz tartozik egy Zeiss AxioCam MRC5-ös nagy felbontású kamera, amelynek segítségével a mikroszkópban látható képet egy számítógépen is meg lehet vizsgálni majd a hozzá tartozó szoftver segítségével ki lehet elemezni azt.

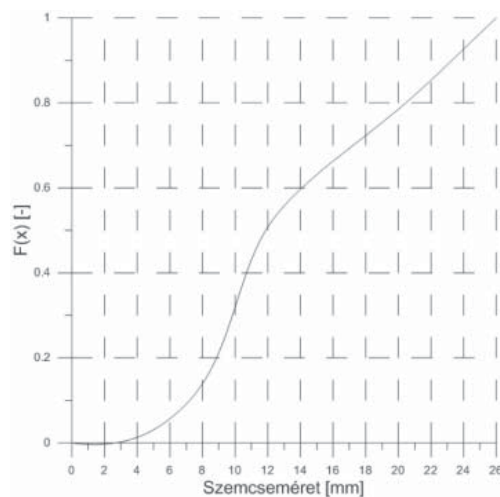
A kész geopolimer-üveghab kompozit nyomószilárdságvizsgálatához egy 1000 kN maximális terhelőerő kifejtésére képes szilárdságvizsgáló berendezést használtunk. A berendezés húzó és nyomó igénybevételek létrehozására egyaránt alkalmas.

2.2 Alapanyagok jellemzése

A vizsgálatokhoz felhasznált anyagokat két részre oszthatjuk: az üveghab illetve a geopolimer összetevőire.

Üveghab nyersanyagai

Az üveghab készítésénél az egyik legfontosabb lépés az üvegpors előállítása. Az üveghab vegyes üveghulladék felhasználásával készült. A megfelelő szemcseméret elérése érdekében az üveget három lépcsőben aprítottuk. Az első aprítási lépcsőben a begyűjtött üveghulladék egy 15 mm-es résnyílású pofástörőre került. A pofástörő törését ezután egy 6 mm-es résnyílású hengeres törőre adtuk fel (2. aprítási lépcső). A törés után kapott szemcseméret-eloszlásokat az 1. és 2. ábra mutatja.

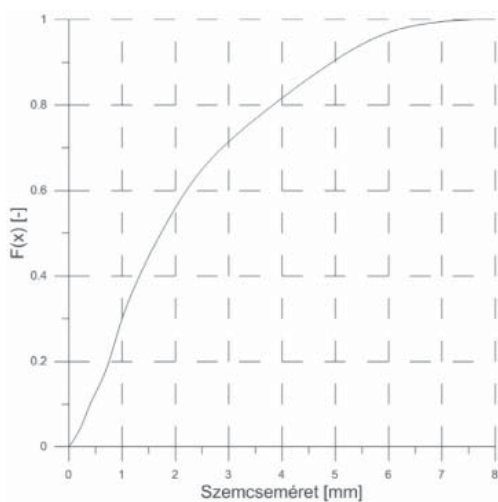


1. ábra Pofás törővel előállított üvegtörlet szemcseméret-eloszlása
Fig. 1. Particle size distribution of glass crushed by jaw crusher

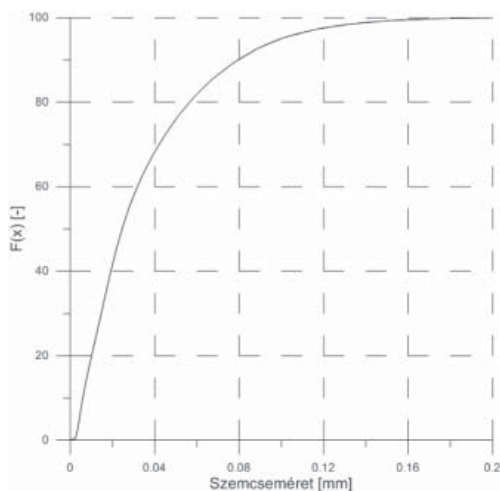
Az 1. ábra alapján megállapítható, hogy az üvegtörlet pofás törővel történő aprítása során elért 50 %-os szemcsemérete (medián) $x_{50}=11,5$ mm, és a 80 %-os szemcsemérete $x_{80}=21$ mm volt, míg a hengeres törővel történő további aprítása után az üvegtörlet szemcseméret eloszlásának (2. ábra) medián értéke $x_{50}=1,7$ mm, míg az $x_{80}=3,8$ mm-re változott. Ez a következő aprítási fokokat eredményezte a hengeres törőre vonatkozóan: $r_{50}=6,8$, és $r_{80}=5,5$.

Pelletálásnál a szemcsék között megfelelő kötések (folyadék hidak) eléréséhez 100 μ m alatti szemcseméret az optimális, így az üveghulladék aprítását 60 perces golyósmalmi őrlés (3.

aprítási lépcső), majd 10 perces homogenizálás követte. A homogenizálási lépcsőben kevertük a habképző és a pelletálási segédanyagot (nátrium bentonitot és dolomitot) az üvegőrleményhez. Az így kapott üvegőrlemény szemcseméret eloszlását a 3. ábra illusztrálja.



2. ábra Hengeres törővel előállított üvegtörlet szemcseméret-eloszlása
Fig. 2. Particle size distribution of glass crushed by rolls crusher



3. ábra Golyósmalomban előállított üvegőrlemény szemcseméret-eloszlása
Fig. 3. Particle size distribution of glass ground by ball mill

A kapott üvegőrleményből szemcseméret elemzéssel megállapítottuk, hogy $x_{50} = 24,58 \mu\text{m}$; $x_{80} = 56,53 \mu\text{m}$; és a fajlagos felülete $\text{SSA} = 4093,5 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$.

Geopolimer nyersanyagok

A geopolimer készítéshez szükséges pernyét a Tiszaujváros melletti pernyehányóról szereztük be. A minta jelentős nedvességtartalommal (4,92 %) rendelkezett, ezért azt a felhasználás előtt $105 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten tömegállandóságig szárítottuk, majd 2 mm-es nyílásméretű szitával leválasztottuk az idegen anyagokat (pl. növényi részek). Korábbi kutatások kimutatták, hogy a pernye finomsága jelentős hatással bír a geopolimerizációs reakciókra és a termék szilárdságára [4, 7, 16]. Ezért a szitálás után kapott pernyét 60 percig golyósmalomban őrlöttük, hogy mechanikailag aktiváljuk [7], a fajlagos

felületét megnöveljük. Az őrlés után meghatároztuk a pernye oxidos összetételét, amelynek eredményét az 1. táblázat tartalmazza.

Fő komponensek	m/m %
SiO_2	61.24
Al_2O_3	26.64
CaO	1.53
MgO	0.88
Na_2O	1.17
K_2O	1.74
Fe_2O_3	4.28
TiO_2	0.47
ZrO_2	0.02
SrO	0.02
LOI	1.92

1. táblázat Tiszaujvárosi pernye kémiai összetétele
Table 1. Chemical composition of fly ash from Tiszaujváros

Az 1. táblázat alapján megfigyelhetjük, hogy a főbb összetevők közül kiemelkedik a SiO_2 mennyisége, amely a pernye több mint 60 m/m%-át adja, valamint az Al_2O_3 mennyisége is jelentős, amely közel 27 m/m%-ban van jelen. Ezek mellett kiemelhetjük a CaO (1,53 m/m%) illetve a Fe_2O_3 tartalmat (4,28 m/m%) is.

Vizsgáltuk a nyers és a mechanikailag aktivált (őrölt) pernye szemcseméret-eloszlását. A nyers pernye nevezetes szemcseméretei $x_{80} = 128,38 \mu\text{m}$; $x_{50} = 69,92 \mu\text{m}$ az őrlés hatására $x_{80} = 27,51 \mu\text{m}$; $x_{50} = 14,36 \mu\text{m}$ értékre változtak. Ez a szemcseméret-csökkenés a fajlagos felület növekedését eredményezte. A nyers és aktivált pernye fajlagos felületét összehasonlítva megállapítható, hogy az aktivált pernye fajlagos felülete ($5591,5 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$) a nyers pernyéhez ($1488 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$) képest négyszeresére növekedett.

3. Kísérletek

3.1 Üveghab előállítása

A kísérletek első lépéseként az üveghabot állítottuk elő. Az üveghab előállítása Mucsi és szerzőtársai [8] eredményei alapján az üvegőrleményhez Na-bentonit és dolomit por adagolásával történt. Az optimális üzemeltetési paraméterek mellett előállított pelleteket egy szárítószekrényben $105 \text{ }^\circ\text{C}$ -on két órán keresztül szárítottuk, majd szitálással frakciókra (2-4, 4-6 és 6-8 mm) bontottuk. Ezt követően három hőmérsékleten (800 , 850 és $900 \text{ }^\circ\text{C}$) 7,5 perces tartózkodási idő mellett hőkezeltük azokat.

3.2 Geopolimer-üveghab kompozit előállítása

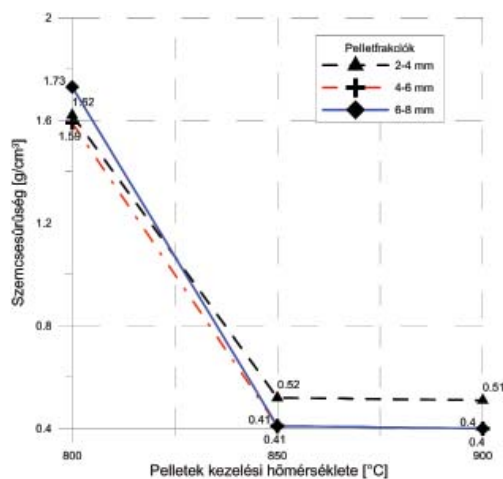
A geopolimer előállítása - korábbi kutatási eredményeket felhasználva - az előkészített pernyéhez aktiváló szerként 12M-os NaOH oldat és Na-K vízüveg keverék hozzáadásával történt. Az aktiváló oldat/tömegaránya 0,82 volt. Az így kapott geopolimer pasztához habkavicsot kevertünk. Két mérési sorozatot végeztünk. Az első sorozatban a habkavics adagolásának hatását vizsgáltuk a geopolimer-üveghab kompozit mechanikai

tulajdonságaira. Az üveghabot négy különböző mennyiségben (20, 40, 60, 80 V/V%) adagoltuk a geopolimer kötőanyaghoz. A második sorozatban változó paraméter a habkavics mérete volt (2-4 mm; 4-6 mm; 6-8 mm). A habkavics adagolása az előző sorozatban optimálisnak talált térfogathányad alapján történt. A két kísérletsorozat során minden kísérletnél három próbatestet készítettünk. A habkavics-geopolimer keveréket 56 mm átmérőjű, kiolajozott formákba öntöttük, majd vibroasztalon 1 percig tömörítettük. A tömörített próbatesteket 24 órán keresztül levegőtől elzárva szobahőmérsékleten tároltuk, amelyet másnap hőkezelés követett. A hőkezelés 60 °C-on történt 6 órán keresztül, 1 órás felfűtési idővel. Ezt követően egy héti szobahőmérsékleten tároltuk a próbatesteket. Egy hetes vizsgálati korban történt a próbatestek egytengelyű nyomószilárdságának mérése illetve testsűrűségük meghatározása.

4. Eredmények

4.1. Üveghab

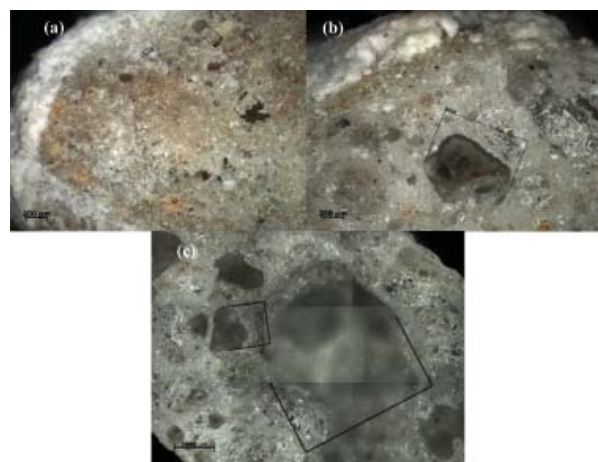
A pelletek 2 órás szárítását és frakciókra bontását követően hőkezelésük következett. A hőkezelés után mindegyik frakcióból mintát vettünk és meghatároztuk azok szemcsesűrűségét annak érdekében, hogy megvizsgáljuk és a szemcsesűrűség és a kezelési hőmérséklet közötti összefüggéseket (4. ábra).



4. ábra Habkavics frakciók szemcsesűrűségének változása a hőkezelés hatására
Fig. 4. Variation of particle density of glass foam gravel fractions in the function of heat treatment

A 4. ábra alapján megállítható, hogy a hőmérséklet 800 °C-ról 850 °C-ra növelésével a habkavicsok szemcsesűrűsége mindegyik frakció esetén jelentősen csökkent (4-6 mm-es frakció esetén 1,59 g/cm³-ről 0,41 g/cm³-re). A 900 °C-on hőkezelt pelletekben további, de kisebb mértékű szemcsesűrűség változás figyelhető meg (4-6 mm frakció esetén 0,41 g/cm³-ről 0,40 g/cm³-re). Az is megfigyelhető, hogy a kezelési hőmérséklet növelésével a kisebb méretű pelletknél a sűrűségcsökkenés kisebb mértékű, mint a nagyobb méretű habkavicsok esetén (a 2-4 mm-es frakciónál 1,62 g/cm³-ről 0,51 g/cm³-re, míg a 6-8 mm-es frakciónál 1,73 g/cm³-ről 0,40 g/cm³-re csökkentek a szemcsesűrűségek).

Optikai mikroszkóp segítségével megvizsgáltuk az üveghab szemcsékben hőkezelés után kialakult pórusok méretét és eloszlását.



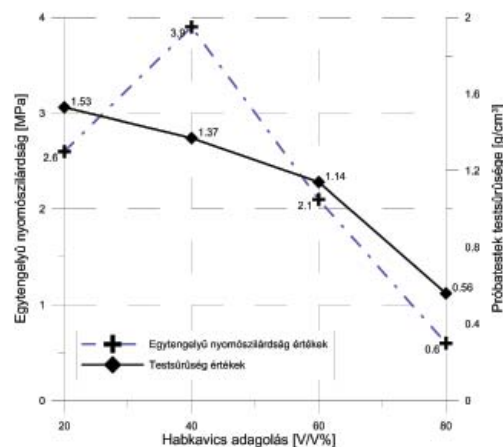
5. ábra Habkavics törési felülete (4-6 mm frakció)
(a) 800 °C, (b) 850 °C és (c) 900 °C-os hőkezelés után
Fig. 5. Fracture surface of glass foam of the fraction 4-6 mm after heat treatment
(a) 800 °C, (b) 850 °C, (c) 900 °C

A mikroszkópos vizsgálat során megállapítottuk, hogy a 800 °C-on hőkezelt habkavicsokban még nem vagy csak kevés pórus alakult ki és ezek mérete 200 µm alatti (zömében <100 µm) volt. A hőmérséklet növelésével a habkavicsban kialakult pórusok mérete növekedett. A 850 °C-on hőkezelt habkavicsokban ez az érték elérte a 800 µm-es maximális nagyságot, de javarészt a 200-400 µm volt a jellemző méret. A 900 °C-on hőkezelt minták esetében a pórusok egyesülése következtében 3 mm-nél nagyobb pórusok is keletkeztek, ami a szilárdság szempontjából hátrányos.

4.2. Geopolimer-üveghab kompozit

4.2.1 Habkavics adagolás hatása

Az előállított pelletek hőkezelése után vizsgáltuk a habkavics adagolás mennyiségének geopolimer tulajdonságaira gyakorolt hatását. A vizsgálatokhoz 850 °C-on hőkezelt 4-6 mm frakciójú habkavicsokat alkalmaztunk, amelyeket 20, 40, 60, valamint 80 térfogatszázalékban adagoltuk a geopolimer pasztához. Az elkészített próbatesteken meghatároztuk a testsűrűséget, továbbá megvizsgáltuk az egytengelyű nyomószilárdságukat is. A kapott eredményeket a 6. ábra szemlélteti.



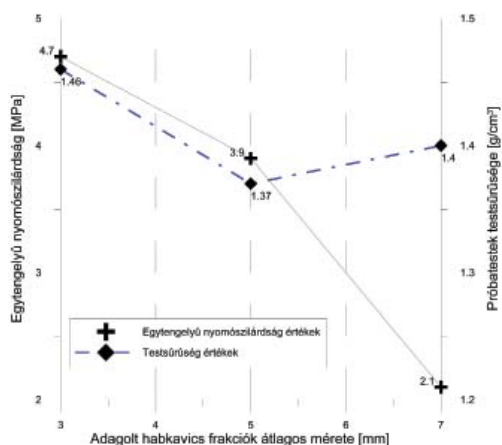
6. ábra Geopolimer kompozit próbatestek 7 napos nyomószilárdságának és testsűrűségének változása a 4-6 mm-es habkavics adagolási arány függvényében
Fig. 6. Variation of 7 day compressive strength and specimen density of geopolimer composites consisting of 4-6 mm size glass foam particles

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy a próbatetek 40 V/V% habkavics-tartalom mellett érték el a legnagyobb nyomószilárdságot. Ebben az esetben az átlagos nyomószilárdság 3,9 MPa volt. További habkavics adagolás hatására csökken a minták nyomószilárdsága, 80 V/V%-ban adagolva átlagosan 0,6 MPa nyomószilárdsággal rendelkező próbateteket állítottunk elő. Az is megfigyelhető, hogy a habkavics mennyiségének növelése a próbatetek testsűrűségének csökkenését eredményezi, amely a kiindulási 20 V/V%-hoz tartozó 1,53 g/cm³-ről 0,56 g/cm³-re csökkent 80 V/V% adagolás mellett.

Az eredmények alapján a kompozitban lévő habkavics méretfrakciójának változtatására irányuló vizsgálatot a 40 V/V%-os habkavics adagolás mellett végeztük.

4.2.2 Habkavics méretének hatása

A vizsgálat során a különböző méretű habkavicsokat tartalmazó minták testsűrűségét és egytengelyű nyomószilárdságát (7. ábra) határoztuk meg.



7. ábra Geopolimer kompozit próbatetek 7 napos nyomószilárdságának és testsűrűségének változása a habkavics méretfrakciók átlagos méretének függvényében

Fig. 7. Variation of 7 day compressive strength and specimen density of geopolymer composites as function of average particle size of glass foam

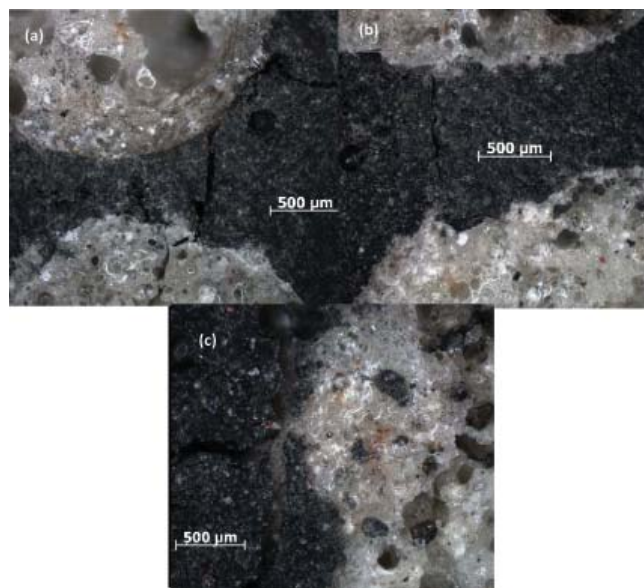
A mérési eredményekből megállapítható, hogy a nagyobb méretű habkavics csökkenti a geopolimer-üveghab kompozit nyomószilárdságát (7. ábra). A legnagyobb nyomószilárdsággal a 2-4 mm-es méretű habkavics frakciót tartalmazó kompozit rendelkezett (4,7 MPa), míg a legkisebb nyomószilárdsága a 6-8 mm-es méretű habkavics frakciót tartalmazó próbateteknek volt (2,1 MPa). A kompozit testsűrűsége az adagolt habkavics méretének növelésével csekély mértékben csökkent.

4.2.3 Geopolimer-üveghab kompozit törési felületének vizsgálata

A különböző méretű habkavicsokat tartalmazó kompozitok esetében vizsgáltuk a próbatetek törési jellemzőit, amely során megállapítható volt, hogy minél kisebb szemcseméretű habkavicsot használtunk, a nyomószilárdság mérése közben a próbatest annál jobban roncsolódott illetve annál nagyobb terhelést bírt el. A minták felületét optikai mikroszkóp alatt is vizsgáltuk.

Az optikai mikroszkópos felvételek alapján (8. ábra) megállapítható, hogy a habkavics és a geopolimer közötti kötés

egyenletes, zárványok nélküli. Továbbá az is megállapítható, hogy törés során repedések nem csak a geopolimer kötőanyag-habkavics határfelületén alakultak ki, hanem a habkavicsban is megfigyelhető volt a geopolimer ágyazóanyagban kialakuló repedések továbbterjedése. Ez igazolja az összetevők közötti kötőerők létrejöttét.



8. ábra (a) 2-4 mm; (b) 4-6 mm és (c) 6-8 mm habkavics frakciókat tartalmazó minták optikai mikroszkópos felvételei

Fig. 8. Optical microscopy images of geopolymer composites consisting of glass foam size fractions (a) 2-4 mm, (b) 4-6 mm, (c) 6-8 mm

5. Összefoglalás

A vizsgálataink során a következő megállapításokra jutottunk:

- A habkavicsok optikai mikroszkópos vizsgálatai igazolták, hogy a hőkezelési eljárás során a habkavicsokban 800 °C-on nem vagy kevés, nagyon kis méretű pórus alakult ki, míg 900 °C-on a pórusok egyesülésének hatására nagy méretű pórusok jöttek létre. Optimális pórusméretet és homogén eloszlást a 850 °C-os hőkezelés esetén értünk el.
- A habkavics adagolás hatásának vizsgálata során kapott egytengelyű nyomószilárdság eredmények kimutatták, hogy a legnagyobb nyomószilárdsággal a 40 V/V% habkavics tartalmú próbatetek rendelkeztek, átlagosan 3,9 MPa értékkel. A habkavics mennyiségének növelése csökkentette a kompozit testsűrűségét.
- A különböző méretfrakciójú habkavicsok 40 V/V%-os adagolása során megállapítottuk, hogy a kisméretű habkavicsokat (2-4 mm) tartalmazó kompozit nyomószilárdsága a legnagyobb (4,73 MPa), valamint a habkavics méretének növelése csökkenti a kompozit nyomószilárdságát.
- Az optikai mikroszkópos felvételek kimutatták, hogy a geopolimer kötőanyag fizikailag befoglalja a habkavics szemcséket.
- A továbbiakban vizsgálni kívánjuk más könnyű adalékanyagok geopolimerbe ágyazhatóságát.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikk a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ tevékenységének részeként valósult meg, részben az „Innovatív, környezetbarát szigetelőanyag piacorientált kutatás-fejlesztése polisztirol másodnyersanyag hasznosításával” c. PIAC 13 projekt részeként.

A Szerzők köszönetet mondanak Móricz Ferencnek a pernyeminta oxidos összetételének meghatározásáért, Dr. Debrezeni Ákosnak a szilárdsági vizsgálatokban nyújtott segítségéért, valamint témavezetőjüknek Dr. Mucsi Gábornak a szakmai iránymutatásért.

Hivatkozások

- [1] Barótfi I. (2003): Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó, Budapest, ISBN 963286 009 8
- [2] Haidekker B. (2004): Hamu és pernye mint másodnyersanyag. *Hulladékok és másodnyersanyagok hasznosítása*, BME OMIKK, 2004/2.
- [3] Davidovits, J. (2011): Geopolymer chemistry and application. *Institut Geopolimère*, ISBN 9782951482050 pp. 283, 286.
- [4] Kumar, S. – Kumar, R. (2011): Mechanical activation of fly ash: Effect on reaction, structure and properties of resulting geopolymer. *Ceramics International*, Vol. 37, No. 2, pp. 533-541. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2010.09.038>
- [5] Ahmaruzzaman, M. (2010): A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 36, No. 3, pp 327-363 <https://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.003>
- [6] Mucsi, G. – Csöke, B. – Molnár, Z. (2010): Laboratory investigation of geopolymer production from industrial waste materials. *Proceedings of the XIIth International Mineral Processing Symposium 6-8 October 2010*. ISBN 978-975-491-295-1, pp. 1235-1242.
- [7] Máda, F. – Kristály, F. – Mucsi, G. (2015): Microstructure, mineralogy and physical properties of ground fly ash based geopolymers. *Ceramics-Silikáty*, Vol. 59, No. 1, pp. 70-79. http://www.ceramics-silikaty.cz/2015/2015_01_070.htm
- [8] Mucsi, G. – Csöke, B. – Kertész, M. – Hoffmann, L. (2013): Physical characteristics and technology of glass foam from waste cathode ray tube

- glass. *Journal of Materials*, Hindawi Publishing Corporation. Volume 2013, Article ID 696428, 11 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/696428>
- [9] König, J. – Petersen, R. R. – Yue, Y. (2014): Influence of the glass–calcium carbonate mixture's characteristics on the foaming process and the properties of the foam glass. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 34, pp 1591–1598. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2013.12.020>
 - [10] Benhaoua, F. – Ayadi, A. – Stiti, R. N. – Legendre, B. L. (2013): Elaboration and characterization of an insulation material based waste glass. *Verres Céramiques & Composites*, Vol. 2, pp. 1-5. <http://www.univ-setif.dz/revues/vcc/images/archive/Vol02-num02/Article%201.pdf>
 - [11] Nemes, R. – Józsa, Zs. (2006): Strength of Lightweight Glass Aggregate Concrete. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol, 18, no. 5, pp. 710-714. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2006\)18:5\(710\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:5(710))
 - [12] Hoffmann, L. – Józsa, Zs. – Nemes, R. (2003): Üveghulladékból könnyűbeton adalékanyag. „Geofil-Bubbles” – felhasználási lehetőségek. *Építőanyag*, Vol. 55, No. 1, pp. 13-17. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2003.3>
 - [13] Nemes, R. (2013): Könnyűbetonok kopthatósággal szembeni ellenállása. *Építőanyag*, Vol. 65, No. 2, pp. 44–47. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.10>
 - [14] Nemes, R. (2015): Könnyűbetonok fagyasztásvizsgálatának érdekességei. *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>
 - [15] Nemes, R. – Török, B. (2014): Betonacél tapadása különböző könnyű adalékanyagok alkalmazása 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>
 - [16] Kumar, S. – Kristály, F. – Mucsi, G. (2015): Geopolymerisation behaviour of size fractioned fly ash. *Advanced Powder Technology*, 2015. Vol. 26, No. 1, pp. 24-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apt.2014.09.001>

Ref.:

Szabó, Roland – Molnár, Zoltán – Balogh, Tamás – Mészáros, Richárd: *Geopolimer alapú kompozit fejlesztése melléktermékekből* Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 68, No. 1 (2016), 25–30. p. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.5>



ICCET 2016 : 18th International Conference on Concrete Engineering and Technology Zurich, Switzerland • January 12 - 13, 2016

The **ICCET 2016: 18th International Conference on Concrete Engineering and Technology** aims to bring together leading academic scientists, researchers and research scholars to exchange and share their experiences and research results about all aspects of Concrete Engineering and Technology. It also provides the premier interdisciplinary forum for researchers, practitioners and educators to present and discuss

the most recent innovations, trends, and concerns, practical challenges encountered and the solutions adopted in the field of Concrete Engineering and Technology.

Conference Code: 16CH01ICCET

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

Using carbonation to improve Recycled Concrete Aggregate

Source: <http://www.ifsttar.fr/en/online-resources/ifsttar-news/all-news/news-in-detail/article/ameliorer-les-granulats-de-beton-recycle-par-la-carbonation/>



In the next few years, deconstruction will result in very large volumes of waste. What are IFSTTAR's recommendations and why?

Aggregates are the principal constituents of concrete, making up approximately two-thirds of its mass, and consequently the manufacture of concrete accounts for about 40% of today's total aggregate consumption. Aggregates are also a non-renewable resource and becoming increasingly difficult to obtain. The Paris region imports almost half the aggregates it consumes (about 13 million tonnes per year) according to a white paper published by the National Union of Aggregate Producers (UNPG) and it has been estimated that this figure will increase by 5 million tonnes per year (source: DRIEE Ile-de-France) as a result of the Grand Paris project. Under these circumstances successfully manufacturing concrete using less aggregate is crucially important.

At the same time, the volume of waste produced by the deconstruction of end-of-life buildings and infrastructure is increasing and will continue to do so in years to come. The buildings that were constructed between 1950 and 1980 are about to reach the end of their service life, and when they do so they will generate very large amounts of concrete for recycling.

In the Paris Region such waste is currently treated in one of two ways: either it is put in landfill, or it is recycled as low cost fill for road earthworks. The road construction sector will be unable to cope with the arrival of large amounts of waste in the near future and the environmental cost of processing it will significantly increase.

In France, the national Recybéton project, which brings together industry and research centres such as IFSTTAR, aims increase the re-use of materials from demolished concrete by using them as aggregate for new constructions.

However, existing methods for recycling concrete aggregates in concrete are still affected by technical problems. The recycled concrete aggregate produced by crushing concrete is more porous than natural aggregate and its mechanical properties are inferior. Another major problem is due to the manufacturing process used to make concrete with Recycled Concrete Aggregate (RCA). RCA absorbs large amounts of water (between 5 and 10%) and does so slowly, over about twenty minutes. The workability of concrete conventionally mixed made with RCA decreases markedly during transport.

IFSTTAR has therefore investigated the possibility of improving the characteristics of demolished concrete by using carbonation. This is a natural process by which the material absorbs CO_2 through the carbonation of cement hydrates contained in the crushed waste. It occurs because when Portland cement is manufactured from limestone and silica, the limestone and silica are kilned together which decarbonates the limestone releasing large amounts of CO_2 . During concrete manufacture, water is added to the resulting cement resulting in hydration and the creation of hydrates, which are responsible for the concrete's mechanical strength. However, these compounds are not stable, just metastable: in the presence of atmospheric CO_2 , the hydrates are naturally carbonated, reabsorbing CO_2 and slowly retransforming themselves into limestone and silica gel, thereby completing the mineral cycle.

During the service life of a reinforced concrete structure this reaction is harmful as it lowers the pH of the concrete leading to the corrosion of the steel reinforcement. However, after the end of a structure's service life it can be put to good use, in particular for the purposes of recycling. Thus, the first outcome is the improvement in the quality of the RCA obtained from demolished concrete. The second is CO_2 sequestration. This improves the environmental footprint of concrete. Our research shows that carbonation of the cement matrix in concrete produces a material that absorbs less water at a faster rate than the material obtained from non-carbonated concrete, which makes it much more suitable for conventional concrete manufacture.

We have two techniques at our disposal in order to bring about this carbonation process: natural and accelerated carbonation.

NATURAL CARBONATION

This process is based on contact between atmospheric CO_2 and the cement. The simplest way of improving the carbonation kinetics is to increase the contact surface by crushing the demolished concrete. For example, transforming a reinforced concrete slab with a thickness of 20 cm into aggregate of roughly 1cm increases the contact surface available to atmospheric CO_2 by a factor of about 1000. Our findings show that it is possible, in the case of traditional concrete buildings dating from the 1950s to the 1980s, to capture between 50 and 60 per cent of the CO_2 emitted during the carbonation of the limestone. If we include the energy used to crush and transport the material we have shown that this process is able to save between 15 and 20 kg of CO_2 per cubic metre of processed concrete. This carbonation process is, however, slow and means the aggregate must be stored for a long time (several months) before it is re-used. It also requires a considerable amount of space which may make it impractical.

ACCELERATED CARBONATION

The process can be accelerated by working at higher pressures, or even with supercritical CO_2 . A supercritical fluid is one that has been heated above its critical temperature and then compressed above its critical pressure. The physical properties of a supercritical fluid (density, viscosity, diffusivity) are between those of a liquid and a gas. CO_2 becomes supercritical at a temperature above 31°C and a pressure of over 73 bars. It is therefore relatively easy to manufacture, safe (not inflammable or toxic) and is already used successfully in the agrifood industry, to decaffeinate coffee grains, extract the aromas from perfume plants and remove the nicotine from tobacco.

Preliminary tests conducted with the chemical engineering laboratory at Toulouse University have shown that cementitious materials can be carbonated under supercritical conditions to a depth of 1 cm in ten minutes or so. This treatment has the advantage of also being effective in the case of fine fractions (sands) produced during recycling which have a high potential for carbon sequestration. Currently these are not used to remanufacture concrete because of their excessive porosity. However, the procedure still needs a socio-economic appraisal. There is a danger that the high technological cost will mean it will not achieve equilibrium. The verdict will also depend on the price per tonne of CO_2 and the implementation of a carbon tax.

Research has also considered a simpler and less expensive alternative. This consists of placing the aggregate in a CO_2 enriched atmosphere at atmospheric pressure. In this way a 10 cm thick layer of concrete can be carbonated in a few days. One can imagine that a high partial pressure of CO_2 obtained by bubbling CO_2 through a "big bag" of recycled aggregate, could treat it in 2 or 3 months.

At the same time we have developed a carbonation model that can be applied to granular materials. This models the processes described above, and is, in particular, able to take account of the moisture content of the aggregate, which is a very important parameter for the carbonation process (the CO_2 penetrates the concrete as a gas but in order to react it must be dissolved in the interstitial water). The model will make it possible to optimise the duration of contact between the recycled aggregate and the CO_2 and the concentration of CO_2 according to the moisture content of the materials and their microstructure.



IFSTTAR

FRENCH INSTITUTE
OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY
FOR TRANSPORT,
DEVELOPMENT
AND NETWORKS

www.ifsttar.fr

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>



mta ttk

MTA TTK Research Centre for Natural Sciences

The Research Centre for Natural Sciences (RCNS) of the Hungarian Academy of Sciences (MTA) was established by the Hungarian Academy of Sciences with a view to offering better conditions for chemical research with successful scientific results and of higher efficiency in economic terms. The RCNS started with its activity in 1998. The RCNS carries out multidisciplinary research in natural sciences with priority to the following disciplines and research tasks:

- Materials- and environmental chemistry
- Enzymology
- Cognitive neuroscience and psychology
- Molecular pharmacology
- Technical physics and materials science
- Organic chemistry

www.ttk.mta.hu/en



CEWEP

Confederation of European Waste-to-Energy Plants



CEWEP is the umbrella association of the owners and operators of Waste-to-Energy Plants, representing some 394 Waste-to-Energy Plants from 18 European countries.

Membership of CEWEP underlines a Waste-to-Energy Plant's commitment to ensuring high environmental standards, achieving low emissions by operating Best Available Techniques and maintaining state of the art energy production from not otherwise reusable or recyclable materials.

CEWEP aims

- Reducing dependence on landfills
- Quality Recycling
- Boosting Energy Efficiency

What CEWEP does

- A voice for Waste-to-Energy
- Promote public participation
- Promote exchange of experience, research and development

