

építőanyag

A Szilikátipari Tudományos Egyesület lapja

Journal of Silicate Based and Composite Materials

Első Magyar Építőanyag-ipari
Konferencia előadásainak
cikkszerű összefoglalója

2024. november 14-15.

75
éves

a SZILIKÁTIPARI
TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

2024
KÜLÖNSZÁM



Köszöntő

ASZTALOS István ■ Szilikátipari Tudományos Egyesület, elnök ■ asztalos.istvan@szte.org.hu
Budapest, 2024. április



Tisztelt Hölgyeim és Uraim, Kedves Olvasóink!

Nagy megtiszteltetés számomra, hogy én adhatom közre Önöknek az Egyesületünk lapjának, az Építőanyag c. folyóiratnak ezt a különszámát, amely az Egyesület fennállásának 75. évfordulójára rendezett konferencia kiadványa is egyben. A különszám azoknak az előadásoknak a cikkszerű összefoglalóit tartalmazza, amelyek a két napos eseményen elhangzanak. Az előadások mellett ebben a lapszámban megtalálhatják azoknak a szakmai szervezeteknek a felsorolását, amelyek rendezvényünket szakmai támogatásukról biztosították. Ezen kívül elolvashatják még napjaink korszerű építőanyag-gyártóinak hirdetéseit, valamint megtalálják a kiadványban a rendezvény részletes programját is.

Az Első Magyar Építőanyag-ipari Konferenciát az Egyesület hét szakosztálya (Beton, Cement, Finomkerámia, Kő és Kavics, Szigetelő, Téglá és Cserép, Üveg) közösen rendezi 2024. november 14-15-én a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Dísztermében, négy szekcióban.

Ezek a következők:

- Építőanyag történet és klímaváltozás,
- Napjaink építőanyagai és energiahatékonyság,
- Innovatív építőanyagok és körforgásos gazdaság,
- A jövő építőanyagai – CO₂ csökkentés és hasznosítás.

Engedjék meg nekem, hogy köszöntőmben egy rövid visszpillantást adjak az Egyesület történetéről. 1949-ben, az Egyesület alapításakor, a második világháborút követő időszakban a magyar építőanyag-ipar műszakilag és gyártási technológiáját tekintve az egyik legelmaradottabb, legkorszerűtlenebb iparágak közé tartozott. Szervezett építőanyag-iparról ebben az időben nem is beszélhetünk. Bereczky Endre (vegyésszérműnök, egyetemi tanár, tanszékvezető) 1948-ban elhangzott beszédében az építőanyag-ipar kérdéseit, feladatait összefoglalva elindította azt a munkát, mely később az Egyesület feladatává vált.

1949. január 27-én volt az Építőanyag-ipari Tudományos Egyesület alakuló közgyűlése. Siklós Ferenc, az Egyesület első elnöke megnyitó beszédében ismertette az Egyesület célját, felhívta a figyelmet az építőanyag-ipar fontosságára, a

technológiájának korszerűsítésére, tagjai összefogására és az építőanyag-ipari kutatás-fejlesztésre. Az alakulással 4 szakosztály jött létre:

- Cement és Mészipari,
- Üvegipari,
- Kőbánya és
- Kerámiai Szakosztály.

Emellett bejelentették az Építőanyag c. folyóirat megindítását is. Az ezt követő időben több lényeges változás következett be az Egyesület felépítésében. 1952-ben a Kerámiaipari Szakosztály kettévált, és Durvakerámiai, illetve Finomkerámiai Szakosztályként működött tovább. A Durvakerámia Szakosztályon belül 1972-ben létrehozták a Szigetelő Szakcsoportot, mely 1995-ben Szigetelő Szakosztállyá alakult. Szintén ebben az évben a Durvakerámia Szakosztály megváltoztatta nevét Téglá és Cserép Szakosztállyá. 1960-ban az Egyesület felvette a Szilikátipari Egyesület nevet, majd 1962-ben megalakult a Közgazdasági Szakosztály, mely a 90-es évekig működött. 1976-ban létrejött a Cement Szakosztály Beton Szakcsoportja, mely 1998-tól önálló Beton Szakosztállyá alakult.

1990-ben alapvető változás történt. Ettől kezdve az Egyesület — továbbra is a MTESZ tagegyesületeként —, de önálló gazdálkodással működött tovább. Önálló jogi személy lett, egy gyakorlatilag teljesen független szervezet. A Szilikátipari Tudományos Egyesület 1989-től a Fővárosi Bíróság által bejegyzett országos társadalmi és tudományos szervezet, önálló jogi személy, közhasznú szervezet.

SCIENTIFIC SOCIETY OF THE SILICATE INDUSTRY

The mission of the Scientific Society of the Silicate Industry is to promote the technical, scientific and economical progress of the silicate industry, to support the professional development and public activity of the technical and economic experts of the industry.

szte.org.hu/en



TARTALOM

- 6** A beton és a cement története, kialakulása
ASZTALOS István
- 10** Kiegészítőanyagok hatása a cementek és habarcsok tulajdonságaira
LACZKÓ László
- 15** A Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet (SZIKKTI) alapításának 70. évfordulója
WOJNÁROVITSNÉ HRAPKA Ilona ■ LACZKÓ László
- 17** A hazai finomkerámiaipar 1945 utáni története a levéltári források tükrében
Dr. KISS András
- 21** Az üveg ezer arca – Művészet fénytörésben – Tudomány, technika, művészet
BALOGH Eleonóra
- 24** Új vizsgálati módszerek az építőanyagokhoz
Dr. MAJOROSNÉ Dr. LUBLÓY Éva Eszter
- 28** Napjaink cementjei, betonjai, alkalmazási területek
Dr. NEHME Salem PhD
- 31** Korunk hőszigeteléseinek energiahatékonysága, szerepük a körforgásos gazdaságban
VÉSZTŐI Zoltán
- 37** Kerámia téglá- és cserépipari termékfejlesztések napjainkban
KOCSEKHA István
- 41** Ha már üveg legyen kövér!
NÉMETH Árpád András
- 42** Hulladékok szinergikus hasznosítási lehetőségei az építőanyagiparban
SZABÓ Roland
- 47** Alapanyagok hatása a korszerű betontechnológiákra
Dr. NEHME Salem PhD
- 56** A magyar perlit múltja, jelene és jövője
Dr. FARKAS Géza
- 57** Korszerű műszaki kerámia a fenntarthatóság szolgálatában
Prof. Dr. SZÉPVÖLGYI János ■ Dr. KÁROLY Zoltán
- 61** Hazai természetes építőanyagok, mint innovatív építőipari termékek
BIHARI Ádám ■ Dr. MEDGYASSZAY Péter
- 66** Termőképesség helyreállítása egy agyagbányában, innovatív hulladékhasznosítási módszerekkel
Dr. HEIL Bálint ■ HORVÁTH Sándor ■ Dr. KLING István ■ Dr. KOVÁCS Gábor
- 69** Innovatív technológiák az üvegiparban – építőanyagokba integrálható napelemek minősítése
PATTHY Gergely Balázs ■ Dr. JAKAB Miklós ■ Dr. ZÁVODI-Fodor Zsófia
- 74** A cement- és betonipar jövője, fejlesztési lehetőségek
HOFFMANN Tamás
- 76** Vízszigetelések készítése a múltban és napjainkban
HARASZTI László

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

Dr. SIMON Andrea – elnök/president
Dr. KUROVICS Emese – főszerkesztő/editor-in-chief
Dr. habil. BOROSNYÓI Adorján – vezető szerkesztő/senior editor
WOJNÁROVITSNÉ Dr. HRAPKA Ilona – örökös tiszteletbeli felelős szerkesztő/honorary editor-in-chief
TÓTH-ASZTALOS Réka – tervezőszerkesztő/design editor

TAGOK • MEMBERS

Prof. Dr. Parvin ALIZADEH, Dr. Benchaa BENABED, BOCSKAY Balázs, Prof. Dr. CSÖKE Barnabás, Prof. Dr. Emad M. M. EWAIS, Prof. Dr. Katherine T. FABER, Prof. Dr. Saverio FIORE, Prof. Dr. David HUI, Prof. Dr. GÁLOS Miklós, Dr. Viktor GRIBNIAK, Prof. Dr. Kozo ISHIZAKI, Dr. JÓZSA Zsuzsanna, KÁRPÁTI László, Dr. KOCSEKHA István, Dr. KOVÁCS Kristóf, Dr. habil. LUBLÓY Éva, MATTYASOVSKY ZSOLNAY Eszter, Dr. MUCSI Gábor, Dr. Salem G. NEHME, Dr. PÁLVÖLGYI Tamás, Prof. Dr. Tomasz SADOWSKI, Prof. Dr. Tohru SEKINO, Prof. Dr. David S. SMITH, Prof. Dr. Bojja SREEDHAR, Prof. Dr. SZÉPVÖLGYI János, Prof. Dr. Yasunori TAGA, Dr. Zhifang ZHANG, Prof. Maxim G. KHRAMCHENKOV, Prof. Maria Eugenia CONTRERAS-GARCIA

TANÁCSADÓ TESTÜLET • ADVISORY BOARD

KISS Róbert, Dr. MIZSER János

A folyóiratot referálja • The journal is referred by:



INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL
THOMSON REUTERS
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 120.
Tel.: +36-1/201-9360 • E-mail: epitoanyag@szte.org.hu
Tördelő szerkesztő • Layout editor: NÉMETH Hajnalka
Címlapfotó • Cover photo: SIMON Andrea

HÍRDETÉSI ÁRAK 2024 • ADVERTISING RATES 2024:

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
EN.EPITOANYAG.ORG.HU

Online ISSN: 2064-4477
Print ISSN: 0013-970x
INDEX: 2 52 50 • 2024/Különszám



AZ SZTE TÁMOGATÓ TAGVÁLLALATAI SUPPORTING COMPANIES OF SZTE

3B Hungária Kft. • ANZO Kft.
Baranya-Tégla Kft. • Berényi Téglaiipari Kft.
Beton Technológia Centrum Kft. • Budai Tégla Zrt.
Budapest Kerámia Kft. • CERLUX Kft.
COLAS-ÉSZAKKŐ Bányászati Kft.
Electro-Coord Magyarország Nonprofit Kft.
Fátyolüveg Gyártó és Kereskedelmi Kft.
Fehérvári Téglaiipari Kft.
Geoterm Kutatási és Vállalkozási Kft.
Guardian Oroszáza Kft. • Interkerám Kft.
KK Kavics Beton Kft. • KÖKA Kő- és Kavicsbányászati Kft.
KTI Nonprofit Kft. • Lighttech Lámpatechnológiai Kft.
• Messer Hungarogáz Kft.
MINERALHOLDING Kft. • MOTIM Kádkő Kft.
MTA Természetudományi Kutatóközpont
O-I Hungary Kft. • Pápateszéri Téglaiipari Kft.
Perlit-92 Kft. • Q & L Tervező és Tanácsadó Kft.
QM System Kft. • Rákosi Glass Kft.
RATH Hungária Tűzálló Kft. • Rockwool Hungary Kft.
Speciálbau Kft. • SZIKKTI Labor Kft.
Taurus Techno Kft. • Tungsram Operations Kft.
Witeg-Kőporc Kft. • Zalakerámia Zrt.



ELSŐ MAGYAR ÉPÍTŐANYAG-IPARI KONFERENCIA

75 ÉVES A SZILIKÁTIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
BME "K" épület Díszterem (H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.)
A KONFERENCIA PROGRAMJA

FŐVÉDNÖKÖK: **LÁZÁR JÁNOS**

építési és közlekedési miniszter

LANTOS CSABA

energiaügyi miniszter

2024. NOVEMBER 14., CSÜTÖRTÖK

8:30 - 9:00

REGISZTRÁCIÓ

9:00 - 9:10

Konferencia megnyitó - Az SZTE bemutatása és a 75 év rövid története

Asztalos István (CeMBeton-SZTE)

I. SZEKCIÓ

ÉPÍTŐANYAG TÖRTÉNET ÉS KLÍMAVÁLTOZÁS

Levezető elnök: Dr. Salem G. Nehme

9:10 - 9:40

Plenáris előadás - A beruházási és az építészeti törvény építőanyag-ipari vonatkozásai

Határ Renáta építésgazdaságért felelős helyettes államtitkár

9:40 - 10:10

A beton és cement története, kialakulása

Asztalos István (CeMBeton-SZTE)

10:10 - 10:30

70 éve alapították a SZIKKTI-t - Cementek és -kiegészítő anyagaik vizsgálata

Laczkó László (SZIKKTI- SZTE)

10:30 - 10:50

A hazai finomkerámiaipar 1945 utáni története a levéltári források tükrében

Dr. Kiss András (MAKESZ)

10:50 - 11:10

Hőszigetelések fejlődésének hatása az épületek tűzvédelmére és a fenntarthatóságra

Lestyán Mária (RH-SZTE)

11:10 - 11:30

Az agyagalapú építőelemek civilizáció- és kultúraformáló hatása

Kóródy László (művészeti asszisztens, Művészetek Háza Veszprém, Tegulárium-MATÉSZ)

11:30 - 11:50

Az üveg ezer arca - Művészet fénytörésben Tudomány, technika, művészet

Balogh Eleonóra (Ferenczy Noémi díjas üvegművész, műemléki restaurátor szakértő, ügyvezető - Quartz Design Kft.

11:50 - 12:10

KÁVÉSZÜNET

II. SZEKCIÓ

NAPJAINK ÉPÍTŐANYAGAI ÉS ENERGIAHATÉKONYSÁG

Levezető elnök: Laczkó László

12:10 - 12:30

Új vizsgálati módszerek az építőanyagokhoz

Prof. Dr. Lublós Éva (BME-SZTE)

12:30 - 13:00

Napjaink cementjei, betonjai, alkalmazási területek

Dr. Salem G. Nehme (BME-SZTE)

13:00 - 13:20

Napjaink kő és kavicsbányászata, alkalmazási területek

Kárpáti László (PPM-SZTE)

13:20 - 13:40

Napjaink finomkerámiája, alkalmazási területek

Dr. Balázs Csaba (HUN-REN-SZTE)

13:40 - 14:00

Korunk hőszigeteléseinek energiahatékonysága, szerepük a körforgásos gazdaságban

Vésetői Zoltán (AP-SZTE)

14:00 - 14:20

Kerámia téglá- és cserépipari termékfejlesztések napjainkban

Dr. Kocserha István (egyetemi docens, Miskolci Egyetem-MATÉSZ)

14:20 - 14:40

Ha már üveg legyen kövér!
Az üveg kicsit másképp - merre tart most az építőipari üvegfelhasználás - elvárások a 21. században

Németh Árpád András (Guardian Glass, okl. építőmérnök, építész tanácsadó)

14:40 - 15:30

WORKSHOP Szakosztályok véleménycsere

Kárpáti László (PPM-SZTE)

15:30 - 17:00

EST-EBÉDSZÜNET

2024. NOVEMBER 15., PÉNTEK

8:30 - 9:00	REGISZTRÁCIÓ	
9:00 - 9:10	Konferencia megnyitó	Asztalos István (CeMBeton-SZTE)
III. SZEKCIÓ	INNOVATÍV ÉPÍTŐANYAGOK ÉS KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG Levezető elnök: Dr. Balázs Csaba	
9:10 - 9:40	Plenáris előadás - Energiapolitikai aktualitások	Horváth Viktor energiaátmenetért felelős helyettes államtitkár
9:40 - 10:00	Hulladékok szinergikus hasznosítása az építőanyag iparban	Dr. Szabó Roland (ME-SZTE)
10:00 - 10:30	Alapanyagok hatása a korszerű betontechnológiákra	Dr. Salem G. Nehme (BME-SZTE)
10:30 - 10:50	A magyar perlit múltja, jelene és jövője	Dr. Farkas Géza (Perlit-92 Kft., ügyvezető igazgató - SZTE)
10:50 - 11:10	Korszerű műszaki kerámiák és fenntarthatóság	Prof. Dr. Szépvölgyi János/Dr. Károly Zoltán (MTA-SZTE)
11:10 - 11:30	Hazai természetes építőanyagok, mint innovatív építőipari termékek	Bihari Ádám (NaturArch- KTE)
11:30 - 11:50	Termőképesség helyreállítása egy agyagbányában, innovatív hulladékhasznosítási módszerekkel	Dr. Heil Bálint (dékán, egyetemi docens, Soproni Egyetem-MATÉSZ)
11:50 - 12:10	A cementipari jövője	Hoffmann Tamás (Holcim-CeMBeton)
12:10 - 12:30	KÁVÉSZÜNET	
IV. SZEKCIÓ	A JÖVŐ ÉPÍTŐANYAGAI - CO2 CSÖKKENTÉS ÉS HASZNOSÍTÁS Levezető elnök: Vésztoi Zoltán	
12:30 - 13:00	Technológia - stratégia - siker	Dr. Ködmön István (MAKESZ)
13:00 - 13:20	Jövő bányászata: „urban mining”	Prof. Dr. Mucsi Gábor (ME-SZTE)
13:20 - 13:40	Innovatív technológiák az üvegiparban Építőanyagba integrálható napelemek minősítése	Patthy Gergely Balázs (Pannon Egyetem, MSC Hallgató)
13:40 - 14:00	Vízszigetelések készítése a múltban és napjainkban	Dr. Haraszi László
14:00 - 14:20	A biodiverzitás növelése a Wienerbergernél	Bor Anikó (környezetvédelmi munkatárs, Wienerberger zRt.-MATÉSZ)
14:20 - 14:40	Üveggyártásunk múltja - jelene Környezetvédelmi kihívások az üvegiparban Lépéskényszer a fenntartható működésért	Ferenci Péter (Maxterm Kft., műszaki vezető - SZTE)
14:40 - 15:30	WORKSHOP Szakosztályok véleménycsere - Konzultáció, zárzó	Asztalos István (CeMBeton-SZTE)
15:30 - 17:00	EST-EBÉDSZÜNET	

SAKMAI TÁMOGATÓK:



A beton és a cement története, kialakulása

ASZTALOS ISTVÁN • Szilikátipari Tudományos Egyesület

A kezdetek

Cikkemben nyomon követjük annak az izgalmas építőanyagnak a történetét, amelyet már a rómaiak is használtak, és amely mára a legfontosabb építőanyaggá, egyben a földön a víz után a legnagyobb mennyiségben használt anyaggá vált. A gyökerek már korábbiak, mert a beton a habarcsból fejlődött ki. A mai terminológia szerint a 4 mm-nél kisebb szemnagyságú keveréket habarcsnak, az annál nagyobb szemnagyságú betonnak hívjuk [17].

Egyiptomban már Kr. e. 3000-ben használtak szalmával kevert sarat, gipsz-, illetve mészhabarcsot a téglák összekötéséhez. Ugyanebben az időben, Kínában már a Nagy Fal építésekor is használtak egy ragacos rizs habarcsot, melynek kötése erősebb volt a hagyományos habarcsénál. A görögöknél Kr. e. 800-ban Krétán és Cipruson olyan mészből kevert habarcs volt elterjedve, ami keményebb volt, mint később a rómaiak téglá- és mészpórt tartalmazó habarcsa. Mezopotámiában az aszfalton kívül cementet is használtak kötőanyagnak. A babiloni cement fő alkotórésze az Eufrátesztől délre fekvő sivatagban található meszes föld volt, valamint egyfajta hamu keverék. Mind a görögök, mind a rómaiak ismerték a kötőmelékből és habarcsból öntött falazatot, mellyel két sor faragott terméskő között töltötték ki. A nabateusok az ókori Arábiában élt nép voltak, akiknek – mint később a rómaiaknak –, szintén volt egy helyben elérhető anyaga, amellyel vízállóvá tehetők az általuk használt kötőanyagot. A házak tartószerkezetén kívül betonpadlókat és földalatti víztartályokat is építettek.

A mai beton egy ötkomponensű rendszer (adalékanyag, cement, víz, adalékszer és kiegészítő anyagok), melynek kötőanyaga a portlandcement [3]. A rómaiak is alkalmaztak már a mai betonhoz hasonló keverékeket. Vitruvius jóvoltából részletesen megismerhetjük ezek összetételét, amelyet homokból, mészből, zúzott kőből, puteoli földből és természetesen víz segítségével keverték. A komponensek közül igazán izgalmas a „puteoli föld”, amely tulajdonképpen a Baiae környékén (Nápolyi öböl, közel a Vezúv nevű vulkánhoz) bányászott vulkáni hamu. Ennek feltételezett keletkezését Vitruvius részletesen leírja [1]. A római Colosseum fő boltozatait is betonból állították elő [2].

1. A feledés és újragondolás

A Római Birodalom bukását követően nagy átrendeződések történtek, amelynek során számtalan háború átalakította az európai hatalmi erőviszonyokat és a bevándorlásokkal megváltozott a népesség összetétele is. Egy ilyen korszak nem kedvezett az olyan hétköznapi dolgoknak sem, mint a beton, így a rómaiak által felismert tudás is feledésbe merült. A középkorban, a X. és XI. században a rómaiak után fennmaradt építményekből építkezés céljára betontömböket vágtak ki és kőbányának használták azokat. A középkori babona a rómaiak által épített aquaeductot az ördög művének tekintette és senki sem vizsgálta azok eredetét és létrejöttének módját [4] [6].

Ahhoz, hogy a beton ismét napirendre tudjon kerülni, és a mai korban alkalmazott módszereket tudjuk használni, elsősorban a statika és a szilárdságtan törvényeinek kellett fejlődnie és kialakulnia. Ezekben a századokban az arabok lettek az ókor tudományának folytatói, mivel a görög-római szellemi és anyagi kultúrát elnyelte a népvándorlás áradata. A XVIII. század közepén kezdődött el az időközben megalkotott egzakt tudományos módszerek kipróbálása az építési gyakorlatban. A XVIII. század végén és a XIX. század elején kezdtek el foglalkozni a francia és angol kutatók a hidraulikus kötőanyagok behatódott tanulmányozásával. Ezzel kezdetét vette a beton legújabb kori története, amely 1796-ban kezdődött el.

2. A római cement, a portlandcement és a vasbeton feltalálása

Az első cementgyárat az angol James Parker építette fel az angliai Northfleetben 1796-ban. Az eljárás alapját az jelentette, hogy az Angliában található márgagumókból, az ún. Sheppey-kőből állított elő egy új kötőanyagot, és mivel ezen kötőanyag tulajdonságai hasonlítottak a rómaiak által használt kötőanyag tulajdonságaira, ezért azt Parker angolul „roman cement”-nek, azaz magyarra fordítva római cementnek nevezte el. Itt meg kell jegyeznem, hogy a magyar szakirodalomban ezt az anyagot mindenhol – szerintem tévesen – románcementnek nevezik. A hiba feltehetőleg onnan származik, hogy Magyarországra kezdetben import „roman cement” érkezett, amit a magyar nyelv rögtön „románcementre” magyarított. Tudni kell azonban, hogy ezt a cementet angol nyelvterületen fejlesztették ki és annak a románokhoz semmi köze sincsen. Ebben a cikkben ezért – a szakirodalommal ellentétben – a Parker-féle római cement kifejezést használom.

Magyarországon az 1800-as évek végi és 1900-as évek eleji nagy beton és vasbeton építkezések során elsősorban Parker-féle római cementet használtak. Ennek megfelelően Parker-féle római cementet használtak Budapesten, a Nagykörúton belüli házsorok kiépítéséhez, a csatornahálózat létesítéséhez, hídalapok készítéséhez. A Lánchíd alapjaihoz is Parker-féle római cementet használtak. A cementet a budai parton létesített égető- és őrlő üzemben állították elő, a szükséges márgát a bácskai Belcsényből rendelték 1840-től kezdődően [7].

Joseph Aspdin volt az első, aki a mai értelemben vett portlandcementet előállította. A kötőanyag szürke színű volt és nagyban hasonlított az Angliában sokra tartott építőkőhöz,

a Portland-stone-hoz, azért Aspdin a kötőanyagot portlance-mentnek nevezte el.

A francia Joseph Monier kertész volt, aki virágcserepek készítésével is foglalkozott és a betont is felhasználta erre a célra. 1849-ben arra jött rá, hogy ha a betont vashuzalokból készített vázzal megerősíti, akkor a virágcserep már nem olyan törékeny.

Szintén Franciaországban született Joseph Louis Lambot, aki már az 1840-es években állított elő „fercement”-nek nevezett anyagból virágcserepeket, víztartókat és egyéb használati tárgyakat. Mivel saját birtokkal rendelkezett, amelyen egy tó is volt, ugyan ebből az anyagból 1848-ban megépített egy csónakot, hogy a tavon ezzel közlekedjék.

3. A portlandcement alapú vasbeton szerkezetek megjelenése

Az igazi vasbetont első ízben a szintén francia Francois Coignet alkalmazta még 1855-ben két épületnél is, amelyek egyike még ma is megtekinthető. Folytatta a rómaiak által részben már alkalmazott „öntött fal” fejlesztését, amely később a pane-los építkezésekben valósult meg.

Időközben Anglia is kezdett magára találni, mert a cementgyáros William Boutland Wilkinson szintén a saját házát építette meg vasbetonból Swansonban. Ezt követően megsokasodtak a szabadalmak, amelyet például olyan ma is jól ismert nevek fémjeleznek, mint a francia Francois Hennebique vagy a német Wilhelm Gustav Dyckerhoff [5].

Magyarországra a vasbeton Franciaországból érkezett német közvetítéssel. Németországban 1881-ben megvették Monier szabadalmát, és próbaterhelésekkel le is ellenőrizték annak működését. Ennek alapján fektette le Mathias Koenen a vasbeton első elméletét, miszerint az acélbetétek a húzást, a beton pedig a nyomást veszi fel.

Meg kell még említenünk Wünsch Róbert magyar cement technikus és építési vállalkozó nevét, aki a Monier-rendszerrel egy időben szabadalmaztatta építési rendszerét, amely előnyösebb volt a Monier-rendszerénél. Wünsch Róbert neve összeforrott a Millenniumi Földalatti vasút építésével is, mert a föld-, illetve betonmunkát és szerelést Wünsch Róbert budapesti vállalkozóra bízták.

4. A korszerű betonszerkezetek kialakulása

A méretezések további fejlődéséhez – többek között – szükség volt a beton nyomószilárdságának előrebecslésére is. Erre vonatkozóan két módszer alakult ki. Az egyik az 1892-ben lefektetett geometriai modell, amely a cementkő arányát viszonyítja a teljes térfogathoz. Az 1906-ban publikált másik módszer azt állapította meg, hogy a nyomószilárdság a víz és a cement tömeg arányától függ, amelyet Zielinski Szilárd és Zhuk József tett közzé. Ugyanerre a megállapításra jutott az amerikai Duff A. Abrams is 1918-ban [8].

Mivel teherhordó szerkezetekről beszélünk, nagyon fontos a felelősség kérdése. Hammurabi törvénykönyve a Kr.e. XVII. századból az építőmestert halállal büntette, ha az általa megépített épület összeomlott és az a tulajdonos halálát okozta. Később szokássá vált, hogy a tervezőnek kell a szerkezet alá állnia a próbaterhelések alatt. Így amikor 1903-ban elkészült

a szegedi víztorony, Zielinski Szilárdnak a víztorony alatt kellett állnia, amíg azt vízzel fel nem töltötték [13].

1860 és 1900 között az akkori Magyarország területén a lábatlani, a beocsini (ma Szerbia), a nyergesújfalui, az Óbuda-újlaki cementgyár mellett Mogyoróskán, Lédecen (ma Szlovákia), Gurahoncon és Brassóban (ma Románia) épültek cementgyárak. Ez lehetővé tette a kötőanyag árak csökkenését, mivel a hazai építőipar már nem szorul importra. Ezzel a betonszerkezetek készítése Magyarországon is elindult diadalmas útjára, amely napjainkban is tart. A lábatlani cementgyár, amelyet Konkoly-Thege Balázs komáromi földbirtokos alapított 1868-ban, már 1876-ban megkezdte a portlandcement gyártását is [9–12].

5. A portlandcement elterjedése a világban

A portlandcement gyártás közbenső terméke a „klinker”, amelyet hasonlóképpen szinte mindenhol így hívnak. A németalföldről származó „clinkaert vagy clinker” szót a 18. században vették át Németországban. Az átvétel magyarázata a német „klinken” (hangzik) szó, mivel a kő keménysége és minősége meghatározható a feldolgozott anyag kiválóan csengő hangjából is. Ma már az egész világ szinte minden országában működnek portlandcementet előállító gyárak.

A Parker-féle római cement és a portlandcement angliai bölcsője tagadhatatlan, azonban Németország viszonylag gyorsan versenytársa lett az angoloknak. A német cementgyárak nemcsak belföldre és Európa más országai számára termeltek, hanem igen jelentős exportot is lebonyolítottak, így Németország hamar nemzetközi cement nagyhatalommá vált Anglia mellett.

Az első ismert orosz cementgyár Szentpéterváron épült fel 1829-ben, az első lengyel pedig 1857-ben jött létre Grodziecban. A mai Szerbiában 1869-ben, Horvátországban 1865-ben, Csehország 1871-ben épült fel az első cementgyár. A mai Románia területén három cementgyár indult el 1890-ben, Görögország pedig 1911-ben csatlakozott a cementgyártók táborába pireusi üzemével.

Törökországban az első cementgyár 1928-ban valósult meg Ankarában, Franciaországban 1848-ban Le Teil faluban, míg Svájcban a cementgyártás 1830 körül kezdődött el kis családi vállalkozásokban. 1872-ben felépült az első svéd gyár is Lomma településen. Ausztriában 1830 körül indult el a cementgyártás Tirolban. Észak-Olaszországban az első olasz „cementgyár” egy kis faluban, Palazzolo sull’Oglióban épült fel.

Japánban 1873-ban kezdték el megépíteni az első kísérleti cementgyárat Fukagawában. Korea még 1930-ban is csak kis mennyiségben állított elő cementet, Vietnámban az első helyi gyárat 1899-ben építették fel Haiphongban. Indiában az első kis cementgyár csak 1904-ben épült fel Washermanpetben.

A mai Kínai Népköztársaságnak igen komoly szerepe van a világ cementiparán belül, hiszen ma Kína adja a világ cement termelésének több mint 50%-át. A kötőanyagok fejlesztése során Kína egyedülálló utat járt be. A korai észak- és dél-kínai dinasztiákban az úgynevezett „San-He” talajt széles körben használták már az i.sz. 5. századtól kezdve. A kínai cementipar kezdetei Hongkongban és Makaóban jöttek létre. Csak az 1900-as évek elején épült fel Kuangtung tartományban az első kínaiak által birtokolt gyár.

Dél-Amerikában Argentína volt az első ország, ahol cementgyár épült 1872-ben Rosarioban. A második szereplő a cementpiacon Brazília volt, ahol 1892-ben épült fel a Rodovalho-i üzem. Guatemalában 1899-ben, Uruguayban 1911-12 között, Chilében 1906-ban, Venezuelában 1907-ben, Mexikóban 1906-09 között épültek fel az első gyárak. Ezeket követték Peruban az 1922-ben, Ecuadorban az 1923-ban, Kolumbiában az 1925-ben és Bolíviában az 1928-ban felépült üzemek. A cement térnyerése tehát ebben a régióban is folyamatos volt.

Egyiptomban az első üzem Massarában épült fel 1895-ben. Egyiptomot Algéria követte, Marokkóban pedig csak az I. világháborút követően jött létre egy kis üzem. Tunéziában 1931-ben, Líbiában még később, csak 1961-ben jött létre saját cementgyár. Dél-Afrikában az 1920-as években valósult meg az ország saját cementipara.

Ausztráliában a hazai cementipar kialakulása lassan haladt és csak 1920-ra jöttek létre Ausztrália tartományaiban az első hazai cementgyárak.

Átnézve minden földrészt és szinte minden országot láthatuk, hogy a 19. század végén és a 20. század első 20 évében széles körben elterjedt a cementgyártás és megindult, továbbá óriási mértékben felvirágzott ez az iparág. 1960-ra a Föld szinte minden országa létrehozta a saját cementiparát segítve ezzel mindenhol a gazdaságos építést [5] [14].

6. A betonkészítés eszközei, gépek és berendezések

Az adalékanyag megfelelő mennyiségének meghatározásához egykor un. köböző ládát ($1\text{ m} \times 1\text{ m}$ alapoldalú) használtak és azt egy zsák (50 kg) cementhez igazították. A keverést lapáttal végezték valamilyen szilárd anyagból kialakított keverőlemezen. Először szárazon keverték össze az anyagokat legalább háromszori átlapátolással. Ezt követte a víz hozzáadása rózsás öntözőkannából, miközben a keveréket kétszer újból átlapátolták. A megkevert betont talicskákkal szállították az előre elkészített fa zsaluzatokba. A tömörítést Magyarországon kézi döngöléssel végezték [7] [16].

Az amerikai Frank B. Gilbert volt az első, aki létrehozott egy olyan berendezést – Gilbert keverőt –, ami már könnyebbé tette ezt a nehéz fizikai munkát. A szintén amerikai Frederik L. Ransome mérnök, építész és építőipari vállalkozó a betonkeverők fejlesztésére összpontosított. A szállítás gyakorlati megvalósítása a német Robert Guthman nevéhez fűződik. A transzportbetont először a hamburgi Jürgen Heinrich Magens építész és építőmester használta. Ezzel egy időben különösen az USA-ban ismerték fel az építési helyszínekre szánt, előre megkevert beton előnyeit.

A legelső tehergépjármű a világ első működőképes gőzautója volt, melyet Nicolas-Joseph Cugnot épített 1771-ben. Az igazi áttörést a belső égésű motorok feltalálása jelentette. 1896-ban Gottlieb Daimler, a Daimler AG alapítója, Stuttgartban megépítette az első belső égésű motorral szerelt teherautót „Phönix” néven. Ezzel létrejött a beton szállításának lehetősége is. További lendületet a közúti teherszállításnak a dízelmotor feltalálása jelentette.

Említést kell tennünk még ezen a helyen a villanymotorról is, hiszen napjainkban már az elektromos hajtású gépkocsik

használatra gyakorlattá vált. Az elektromos energia mechanikus energiává való átalakítását Michael Faraday angol tudós mutatta be 1821-ben. Az első villanymotort Jedlik Ányos készítette 1825-ben, a gyakorlatban is alkalmazhatóvá pedig Werner Siemens német fizikus tette. Ma a betonkeverőink meghajtása mind villanymotorral működik.

Átnézve a betonkészítés legfontosabb berendezéseit, megállapíthatjuk, hogy azok közül a keverés és a szállítás gépesítése jelentette a legfontosabb előrelépést. Ma már ezekkel sikerült kiváltani a nehéz fizikai munkát és a betont emberi kéz érintése nélkül tudjuk megkeverni és az építkezés helyszínére szállítani.

7. A betonkészítés speciális anyagai, az adalékszerke

A mai betonok kötőanyaga a portlandcement, amelynek teljes szilárdulásához a keverővíz mennyiségének csak kb. 40%-ára van szüksége. Kizárólag a jobb bedolgozhatóság érdekében adunk a cementhez ennél a 40 %-nál több vizet. Ez a felesleges víz elpárolog és kapillárisokat hagy maga után. A kapillárisok – más szóval a beton pórustérfogata – befolyásolják a cementkő vízáteresztő képességét, amelyeken keresztül a beton minden más károsító anyagot is képes magába fogadni. A cementkőben lévő pórusok számát és nagyságeloszlását a víz és a cement aránya (víz/cement-tényező), a tömörítés mértéke és a hidratáció foka befolyásolja. Ezek közül a víz/cement-tényezőt és az ezzel összefüggő tömöríthetőséget tudjuk betonadalékszerke (elsősorban képlékenyítők és folyósítók) adagolásával hatásonosan befolyásolni [15] [18].

Az első felismerések már nagyon régen megtörténtek, hiszen az i. e. 3. század és i. sz. 17. század eleje között megépített kínai Nagy Fal építésénél már szerves adalékanyagokat is alkalmaztak, amelyek a mai modern adalékszerke előfutárainak tekinthetők. Ugyanakkor már a rómaiak is rájöttek, hogy bizonyos anyagok, mint a tej, a vér, a zsír, illetve egyes szerves anyagok, mint a melasz, a tojás, a rizspép javítják a keverék bedolgozhatóságát. Tényként kell tehát elfogadnunk, hogy az adalékszerke története egyidős a beton történetével.

1850 után kezdődtek el azok az első kísérletek, amelyek már a beton-technológiának ezzel a kérdéskörével foglalkoztak. Rájöttek arra, hogy a szóda meggyorsítja a cementes keverékek kötését. Ezzel ellentétes hatást vált ki a cukor, amely késlelteti azt. A kalcium-klorid kötés gyorsító hatására az első szabadalmat Németországban adták be 1873-ban. K. Winkler cementhabarcshoz használható vízzáró adalékszerke kapott szabadalmat Svájcban 1910-ben. Duff A. Abrams 1918-ban jelentette meg Design of Concrete Mixtures című Kutatási jelentését, amely már az adalékszerke témakörével is foglalkozott. Magyarországon az 1930-as évek közepétől gyártották a svájci Tricosal cég tömítőszereit és kötés gyorsító adalékszerke.

1937-39 között az Egyesült Államokban jöttek rá arra, hogy a betonban mesterségesen létrehozott mikro méretű légbuborék-rendszer fagy- és olvasztósó-állóságot kölcsönöz a betonnak. A képlékenyítők (lignin bázisúak) megjelenésével sikerült valamelyest csökkenteni a víztartalmat és javítani a bedolgozhatóságot. Az igazi áttörést azonban a folyósítók (melamin-, naftalin- és vinilpolimer bázisúak) megjelenése hozta, amelyekkel már jelentős vízmegtakarítást lehetett elérni és a tömöríthetőség is jelentősen javult [19].

Mára pedig szinte mindenhol a világon kizárólagosan használják az ún. PCE (polikarboxilát-éter) bázisú szereket – a lignin bázisúak mellett. A PCE bázisú szerek hatása időben jelentősen kitolható, így a beton akár három órán keresztül is bedolgozható marad. Ezeknek a szereknek a használatával készíthetők el az ún. öntömörödő betonok (SCC) is, amelyek alkalmazása esetén már vibrációs tömörítésre sincs szükség, mert a beton magától tömörödik. Ez a betonfajta munkavédelmi szempontból is jól teljesít, hiszen elmarad a vibrátorok keltette jelentős zaj-hatás [18] [20].

Irodalomjegyzék:

- [1] Vitruvius: Tíz könyv az építésről. Képzőművészeti Kiadó, Budapest, 1988.
- [2] James W.P. Campbell – Will Pryce: A téglá világtörténete. Kossuth Kiadó, Budapest, 2004.
- [3] Dr. Ujhelyi János: Betonlexikon. Építésügyi Tájékoztatói Központ Kft., Budapest, 2006.
- [4] Andai Pál: A mérnöki alkotás története. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1959.
- [5] Nick Gromicko – Kenton Shepard: The History of the Concrete, International Association of Certified Home Inspectors, 2015
- [6] Andrea Palladio: Négy könyv az építésről. Képzőművészeti Alap Kiadványai, Budapest, 1982
- [7] Balázs György: Beton és vasbeton I. – Alapismerek története. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1994.
- [8] Palotás László: Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. – Fa-Kő-Fém-Kötőanyagok. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1979.
- [9] Bereczky Endre – Reichard Ernő: A magyar cementipar története. Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet – Cement és Mészművek, Budapest, 1970.
- [10] Talabér József: Cementipari kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [11] Koltai Imre – Mihócs Ferenc – Riesz Lajos: A cementipar története, Magyar Cementipari Szövetség, Budapest, 2008
- [12] Riesz Lajos: Cement- és mészgártási kézikönyv, Építésügyi Tájékoztatói Központ, Budapest, 1989.
- [13] Lampl Hugó – Sajó Elemér: A beton. „Patria” Irodalmi Vállalat és Nyomdai Részvénytársaság, Budapest, 1914.
- [14] Rainer Nobis: Illustrated History of Cement and Concrete – The Exciting Development of two Outstanding Building Materials. ZVD Kurt Döringer GmbH & Co. KG, Heidelberg, 2021.
- [15] Asztalos, I.: Kutatás-fejlesztés és innováció a betoniparban. Beton 2006. december, 3-7. oldalak
- [16] Mesterházi, L.: Budapest Anno... Corvina Kiadó, 1979. Fotó: Klösz, Gy.
- [17] Asztalos István: A beton története I. – XV. rész, Beton c. lap 2020/6 – 2023/2 lapszámok
- [18] Löschnig, P. – Asztalos, I.: A beton tartósságának javítása beton adalékszerekkel. Beton 1997. december, 3., 20-22. oldalak
- [19] Buday, T.: Betonadalékszerek. ÉTK Kft. Budapest, 1999
- [20] Okamura, H. – Ouchi, M.: Self-compacting concrete – Journal of Advanced Technology Vol. 1,



CEMKUT

A 305/2011/EU rendelet (CPR) alapján 1414 azonosító számon bejelentett, a 275/2013. (VII. 16.) Korm. rendelet alapján kijelölt Tanúsító és Műszaki Értékelő szervezet. Akkreditált vizsgálólaboratórium.

Szakértelem biztos alapokon



Vizsgálatok, mérések:

- Cement
- Mész
- Beton
- Habarcok
- Beton termékek
- Gipsz alapú anyagok
- Üveg- és kerámiaipar
- Mintavétel, minta-előkészítés
- Környezetvédelem és munkaegészségügy



Termék és ÜGYE tanúsítás

Műszaki értékelés (ETA, NMÉ)



EHS szolgáltatások



Tanácsadás



Kutatás

1034 Budapest, Bécsi út 122-124. - 1300 Budapest, Pf.:230
+36 1 388 3793 - cemkut@cemkut.hu - www.cemkut.hu



Kiegészítőanyagok hatása a cementek és habarcsok tulajdonságaira

LACZKÓ László • SZIKKTI Labor Szilikátkémiai Anyagvizsgáló-Kutató Kft.

Bevezetés

Napjainkban a cementgyárak termékportfóliója folyamatosan változik, egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a nagy kiegészítőanyag tartalmú cementek. Éppen ezért fontos tanulmányozni, hogy a különböző kiegészítőanyagok hogyan befolyásolják a cementek és a betonok tulajdonságait. Jelenlegi munkánkban bemutatjuk a kereskedelmi forgalomban lévő CEM I 52,5 R cement és különböző kiegészítőanyagok (granulált kohósalak, metakaolin kőszénpernye, mikroszilika) felhasználásával készített kísérleti cementek vizsgálati eredményeit. Kísérleti munkák a hidratációs hő, a cementkő porozitásának, valamint a cementekből készített különböző korú habarcsok kloridmigrációs tényezőjének mérésére irányultak. Az elért eredményeket a 2024. november 14-15-én megrendezésre kerülő Első Magyar Építőanyag-ipari Konferencián mutatjuk be.

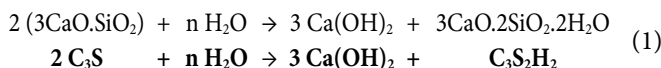
1. Hidratációs hő meghatározása fél-adiabatikus módszerrel

A cementhidratáció során a pép viszkozitása fokozatosan növekszik, majd egy idő után teljesen megköt és cementkő képződik.

A portlandcement klinkerásványai vízzel reakcióba lépnek, ennek során szilárd, vízben oldhatatlan hidráttermékek képződnek [1,2].

1.1 A szilikát klinkerásványok hidratációja

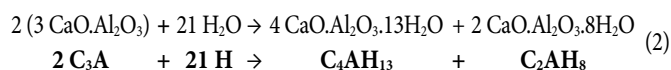
Az alit (C_3S) viszonylag gyorsan reagál a vízzel, mely reakció (ld. 1. egyenlet) során a kb. $C_3S_2H_2$ összetételű tobermorit és $Ca(OH)_2$ (portlandit) keletkezik.



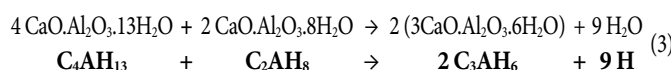
A $C_3S_2H_2$ összetételű tobermoritban a $CaO:SiO_2$ arány 0,8 ... 1,5 között változhat.

A belit (C_2S) hidratációja az alitéhoz hasonló, de lényegesen lassabban megy végbe.

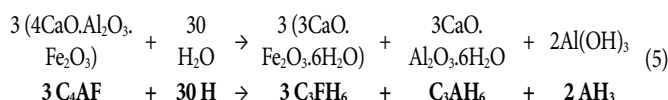
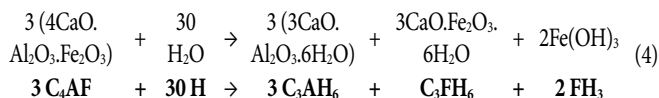
A trialkárium-aluminát (C_3A) hidratációja a (2) és (3) egyenletekkel leírható kémiai változás.



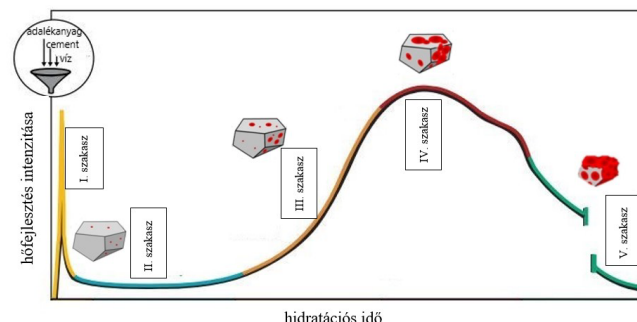
Az instabil hidrátvegyületek időben stabil hidráttermékekké alakulnak:



Ha a klinker sok brownmillerit (C_4AF) tartalmaz, akkor hidratációjakor kolloid $Fe(OH)_3$ és $Al(OH)_3$ is képződik (4; 5. egyenletek) és ez az C_3A szemcséket bevonva lassítja a hidratációs folyamatot.



A klinkerásványok hidratációjának jellegzetes hőfejlesztési görbéjét az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra A szilikát klinkerásványok hidratációjának szakaszai [3]

Az I. szakasz intenzív, nagy hőfejlődéssel járó, rövid ideig tartó reakció, melyet részben a nedvesedési hő, részben a kalcium-szilikátok hidrolízise, a Ca^{2+} és OH^- ionok oldatba jutása idéz elő.

A II. szakasz a néhány (4-5) órán át tartó, lassú hőfejlődéssel járó indukciós periódus. E szakaszban kialakulnak a későbbi kristályfázisok gócai és a klinkerszemcséken féligáteresztő réteg képződik, amely a hidratációs reakciók sebességét az ionok diffúziójának csökkentése révén lassítja. E szakasz teszi lehetővé a cementpép, a friss beton több órán át lehetséges bedolgozhatóságát.

A III. szakaszban (akcelerációs periódus) újabb erőteljes hőfejlődés észlelhető. Ennek oka, hogy a szemcséket bevonó réteg lepattan és új, még hidratálatlan felületek képződnek. Ebben a szakaszban a hidratáció sebességét kezdetben a kémiai reakció sebessége befolyásolja, majd a hidratált réteg vastagságának növekedésével a víz egyre lassabban jut át e rétegen, azaz a hidratáció mértékét a diffúzió határozza meg.

A IV. (decelerációs) szakasz kezdete a diffúzióvezérelt hidratáció kialakulása, amelyben a hidratáció és a hőfejlődés sebessége egyre csökken, de még sokáig tart.

Az V. az állandósult állapotú (steady state) szakasz.

Az egyes szakaszok időtartama csak hozzávetőlegesen adható meg, mivel több tényezőtől is függ [4]:

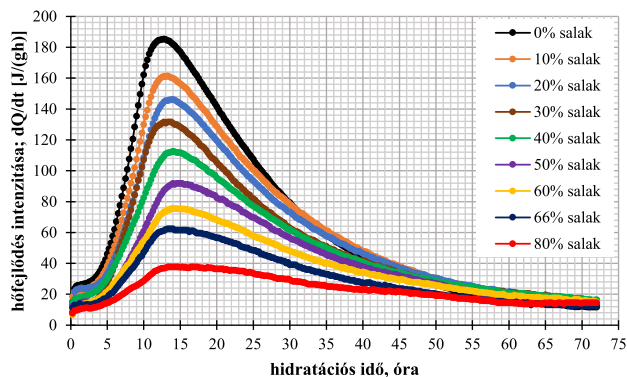
- klinker szemnagysága (őrlésfinomság),
- klinkerásványok kristálymérete,
- kristályosodottság,
- a keverővíz mennyisége,
- kiegészítőanyagok minősége és mennyisége,
- egyéb anyagok (pl. kötőgyorsítók, kötőkésleltetők stb.) minősége, mennyisége.

2. Mérési eredmények

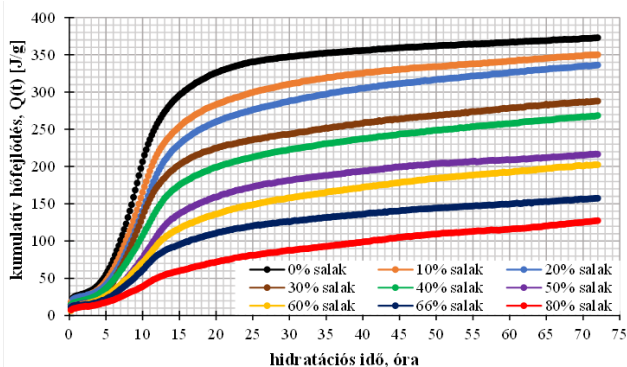
A portlandcementek és a kiegészítőanyagot tartalmazó kísérleti cementek hidratációs hőjének mérési eredményeit (féladibatikus módszerrel az MSZ EN 196-9:2010 szabvány [5] szerint szabványhabarcsan [6] mérve, $v/k = 0,5$ mellett) az 1-4. táblázatok és 2-5. ábrák szemléltetik.

Hidratációs idő, óra	100% CEM I 52,5 R + 0% granulált kohósalak	90% CEM I 52,5 R + 10% granulált kohósalak	80% CEM I 52,5 R + 20% granulált kohósalak	70% CEM I 52,5 R + 30% granulált kohósalak	CEM I 52,5 R + 40% granulált kohósalak	50% CEM I 52,5 R + 50% granulált kohósalak	40% CEM I 52,5 R + 60% granulált kohósalak	34% CEM I 52,5 R + 66% granulált kohósalak	20% CEM I 52,5 R + 80% granulált kohósalak
	Hidratációs hő, J/g								
24	338,57	296,62	273,38	233,71	210,51	170,61	146,40	118,51	79,24
41	356,26	326,53	306,13	259,12	238,35	195,38	173,35	137,80	99,80
48	360,76	332,84	314,82	266,64	246,81	202,19	181,85	142,99	107,71
72	372,87	350,15	336,28	287,92	268,37	216,59	202,32	157,57	127,34

1.táblázat Különböző mennyiségű granulált kohósalakot tartalmazó kísérleti cementek hidratációs hője, 24; 41; 48 és 72 óras korban



2.a ábra A granulált kohósalak kiegészítőanyagot tartalmazó kísérleti cementek hőfejlési sebességi görbéi

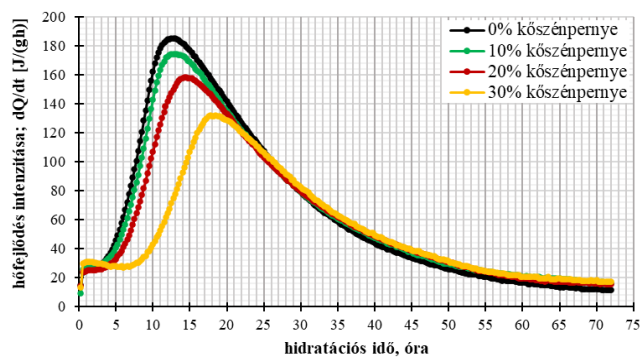


2.b. ábra A granulált kohósalak kiegészítőanyagot tartalmazó kísérleti cementek cement hőfejlési sebességi görbéi

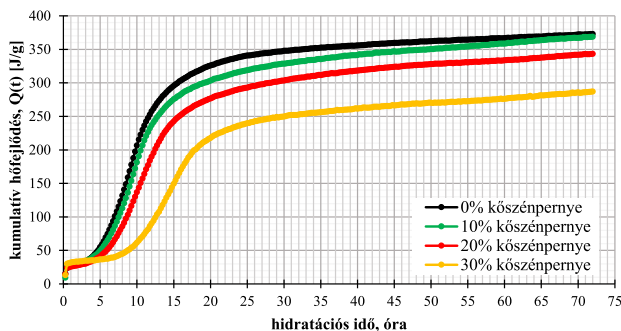
A **granulált kohósalak** vízzel való reakciója során a szemcsék felületén képződő gélserű réteg gátolja a hidratációt, ezért a hidratáció elősegítéséhez aktiváló anyagok jelenléte (pl. portlandit) szükséges, mely a klinker hidratációja során képződik. A kötőanyag klinker tartalmának csökkenésével, a granulált kohósalak tartalom növekedésével a hidratáció némi késéssel indul, az indukciós periódus (II) hosszabbodik. A hőfejlődés megindulásának időbeli eltolódása a granulált kohósalak mennyiségétől, fizikai tulajdonágaitól, valamint kémiai és ásványi összetételétől függ [7,8,9,10].

Hidratációs idő, óra	100% CEM I 52,5 R + 0% kőszénpernye	90% CEM I 52,5 R + 10% kőszénpernye	80% CEM I 52,5 R + 20% kőszénpernye	70% CEM I 52,5 R + 30% kőszénpernye
	Hidratációs hő, J/g			
24	338,36	316,51	290,68	236,31
41	356,28	342,98	319,28	263,12
48	360,85	348,83	326,25	269,27
72	372,80	368,65	343,21	286,81

2.táblázat Különböző mennyiségű kőszénpernye kiegészítőanyagot tartalmazó kísérleti cementek hidratációs hője, 24; 41; 48 és 72 óras korban



3.a ábra Kőszénpernye kiegészítőanyagot tartalmazó CEM I 52,5 R cement hőfejlési sebességi görbéi



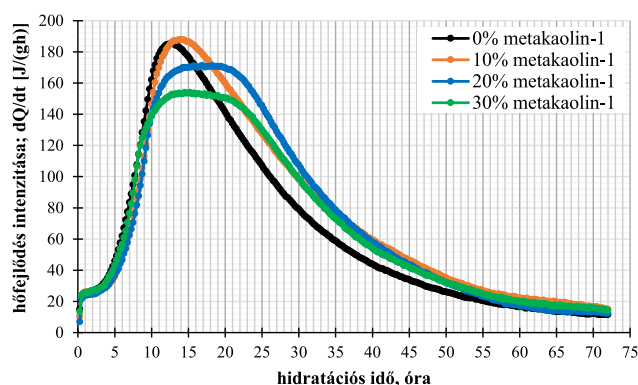
3.b. ábra Kőszénpernye kiegészítőanyagot tartalmazó CEM I 52,5 R cement hőfejlési sebességi görbéi

A cement egy részének **kőszénpernyével** való helyettesítése az oldott Ca^{2+} mennyiségének csökkenéséhez vezet, így növekszik a Ca^{2+} telítettség elérésének ideje. Ezért a pernye növekvő

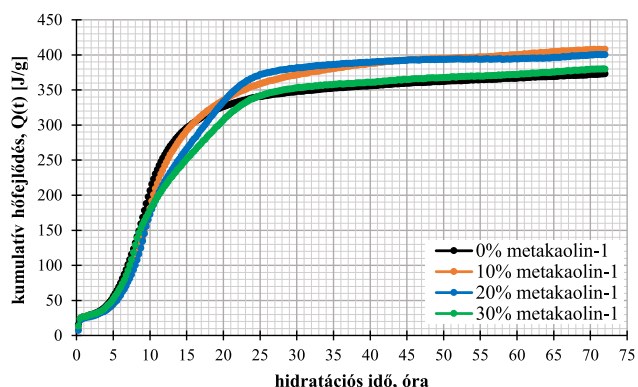
menyisége a korai hidratációt késlelteti, az indukciós periódus időtartamát növeli [10].

Hidratációs idő, óra	100% CEM I 52,5 R + 0 % metakaolin-1	90% CEM I 52,5 R + 10 % metakaolin-1	80% CEM I 52,5 R + 20 % metakaolin-1	70% CEM I 52,5 R + 30 % metakaolin-1
	Hidratációs hő, $\frac{J}{g}$			
24	338,36	355,22	366,95	337,05
41	356,28	388,39	390,28	361,86
48	360,85	393,80	393,11	366,80
72	372,80	407,75	400,39	379,69

3.táblázat Különböző mennyiségű metakaolin-1 kiegészítőanyagot tartalmazó kísérleti cementek hidratációs hője, 24; 41; 48 és 72 órákban



4.a ábra metakaolin kiegészítőanyagot tartalmazó CEM I 52,5 R cement hőfejlesztési sebességi görbéi



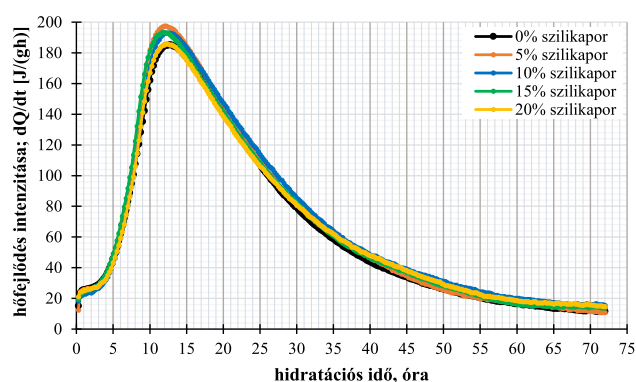
4.b ábra metakaolin kiegészítőanyagot tartalmazó CEM I 52,5 R cement hőfejlesztési görbéi

A **metakaolin** adagolásával a klinker mennyisége csökken, így a metakaolinnal való reakcióhoz szükséges Ca^{2+} ionok mennyisége is.

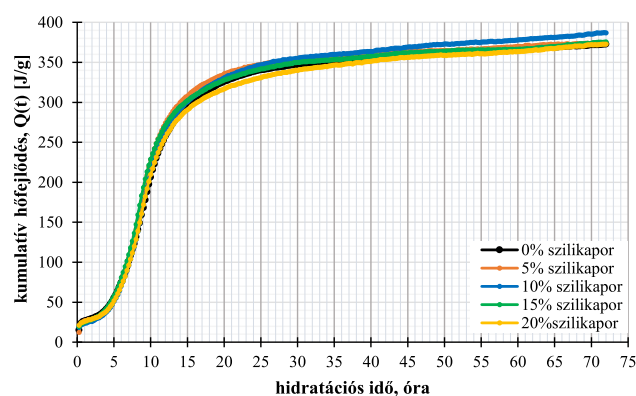
A metakaolin arányának növekedésével pórusoldatokban lévő Ca^{2+} ion megkötésének sebessége növekszik, meghaladja a portlandit képződés sebességét [11].

Hidratációs idő, óra	100% CEM I 52,5 R + 0 % szilikapor	95% CEM I 52,5 R + 5 % szilikapor	90% CEM I 52,5 R + 10 % szilikapor	85% CEM I 52,5 R + 15 % szilikapor	80% CEM I 52,5 R + 20 % szilikapor
	Hidratációs hő, $\frac{J}{g}$				
24	338,57	345,86	344,32	339,39	328,86
41	356,26	362,91	365,31	358,19	352,72
48	360,76	364,61	371,61	363,54	358,15
72	372,87	374,31	387,03	375,45	372,94

4.táblázat Különböző mennyiségű szilikaport tartalmazó CEM I 52,5 R cementek hidratációs hője, 24; 41; 48 és 72 órákban



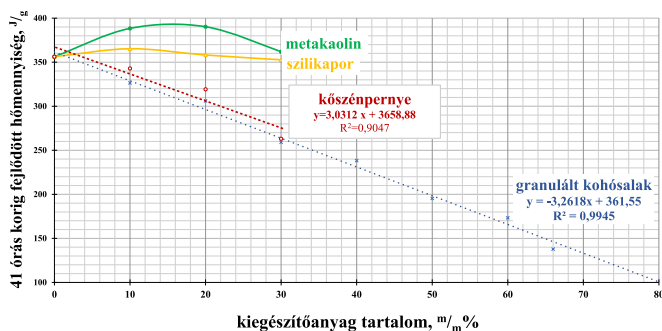
5.a ábra szilikapor kiegészítőanyagot tartalmazó kísérleti cement hőfejlesztési sebességi görbéi



5.b ábra szilikapor kiegészítőanyagot tartalmazó kísérleti cement hőfejlesztési görbéi

A **szilikapor** max. 15%-os adagolása a hidratációs hőt kis mértékben növeli, e feletti mennyisége viszont csökkenti.

A szilikapor hidratációja során $HSiO^-$ / SiO^{2-} ionok kerülnek oldatba, melyek a klinkerásványok hidratációja során képződő $Ca(OH)_2$ -dal C-S-H gél képeznek. Az akcelerációs periódusban a szilikapor elősegíti a cement hidratációját. A diffúzióvezérelt decelerációs periódusban viszont a hidratálatlan cementszemcsék felületén lévő vastagabb hidratációs réteg a hidratációt késlelteti [11].



6. ábra A vizsgált kiegészítőanyagok mennyiségének hatása a cementek hőfejlésére

A kötőanyagok granulált kohósalak és kőszénpernye tartalmának növekedésével a hidratációs hő egyenes arányban csökken (6. ábra)

3. Pórusméret-eloszlás a cementkőben és kloridion migráció a habarcsban

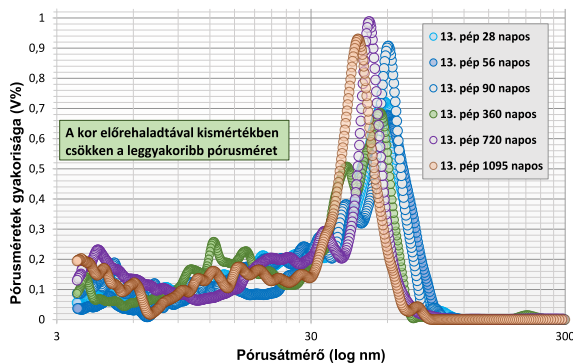
A kiegészítőanyagok alkalmazása a betonszerkezetek tartóssága szempontjából is kiemelkedő jelentőségű. A vasbetonszerkezetek esetén különösen fontos a kloridion behatolás minél nagyobb mértékű csökkentése. Egy és két kiegészítőanyagot tartalmazó különböző korú megszilárdult cementhabarcsokon vizsgáltuk a kloridbehatolás mértékét. Összefüggést állapítottunk meg a cementkő pórusméret-eloszlása és a kloridmigrációs tényező között.

A 28, 56, 90 napos, 1, 2 és 3 éves 0,4 víz-kötőanyag tényezőjű cementkő porozitását és pórusméret-eloszlását POREMASTER 60 GT típusú higanypenetrációs poroziméterrel mértük. Ugyanilyen összetételű és korú habarcsok kloridmigrációs tényezőjét is meghatároztuk [12,13,14,15].

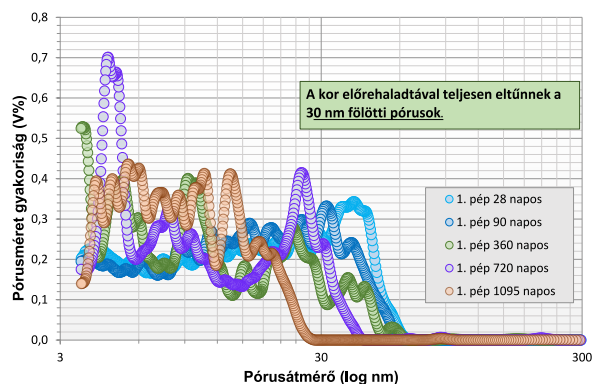
4. Mérési eredmények

4.1 A cementkő pórusméret-eloszlásának változása a kor függvényében

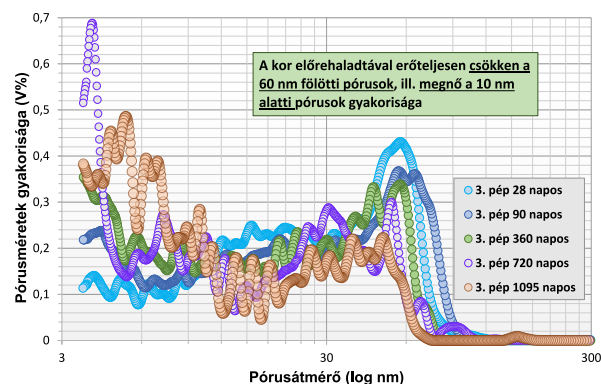
Az összes kiegészítő anyag kedvező hatású a cementkő „finompórusainak”, azaz a mezopórusok (2 – 50 nm) kialakulása szempontjából. A kiegészítőanyagok alkalmazásával a betonok és habarcsok kloridmigrációs tényezője csökkenthető, a kloridbehatolással szembeni ellenállóképességük növekszik [16,17,18].



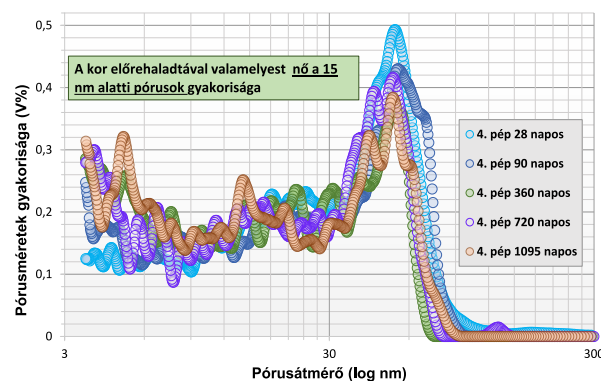
7.a ábra CEM I 52,5 R cement felhasználásával készült cementkő (v/k=0,4) készült cementkő pórusméret-eloszlása



7.b ábra 75% CEM I 52,5 R + 7% metakaolin + 18% kőszénpernye felhasználásával készült cementkő (v/k=0,4) pórusméret-eloszlása



7.c ábra 75% CEM I 52,5 R + 7% kőszénpernye + 18% granulált kohósalak felhasználásával készült cementkő (v/k=0,4) pórusméret-eloszlása

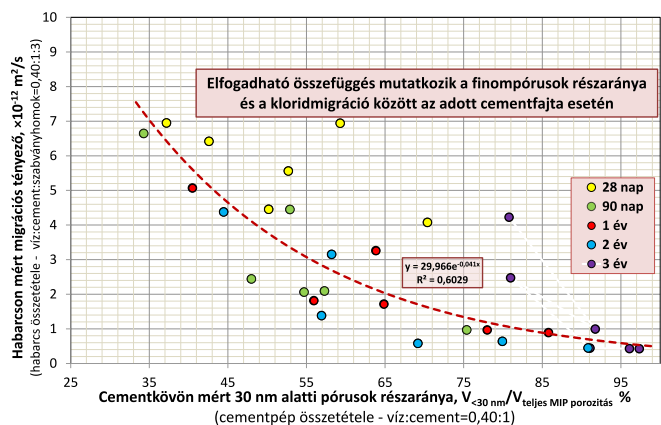


7.d ábra 80% CEM I 52,5 R + 20% granulált kohósalak felhasználásával készült cementkő (v/k=0,4) pórusméret-eloszlása

4.2 A cementkő pórusméret-eloszlásának változása és a kloridmigrációs tényező közötti összefüggés

A porozitásmérésekhez elkészített cementkő minták összetételével megegyező, 0,4 víz-kötőanyag tényezőjű, 28, 56, 90 napos, 1, 2 és 3 éves korú habarcs mintákon az NT Buld 492 szabvány [15] szerint vizsgáltuk a kloridbehatolás mértékére jellemző kloridmigrációs együtthatót. Méréseink és számításaink alapján a kiegészítőanyagot tartalmazó cementkövek esetén összefüggés állapítható meg a kloridmigráció és a 30 nm alatti pórusok részaránya között (8. ábra).

A betonszerkezetek tartósságának javítása céljából a második generációs EC-2 (EN 1992 Eurocode 2 Betonszerkezetek tervezése) szabványt kiegészítik az élettartam becslésével is. Ebből a szempontból nagy jelentőségűek a transzportfolyamatokat, az ion- és molekulamigrációt tanulmányozó eljárások. Az ion- és molekuladiffúziós vizsgálatok, így pl. a szén-dioxid (karbonátosodás) és a kloridion migrációjának mérése segítséget nyújt a betonacél szerkezetek korróziós kockázatának tervezéséhez. Ezt alapozzák meg a bemutatott kloridmigrációs és porozitás vizsgálatok.



8. ábra A CEM I 52,5 R cement, valamint a különböző kiegészítőanyagokkal (metakaolin, granulált kohósalak, kőszénpernye) készített különböző korú habarcsok kloridmigrációs tényezője a cementkő 30 nm alatti pórusok részarányának függvényében

5. Összefoglalás

Munkánkban tanulmányoztuk a kiegészítőanyagok hidratációs hőre, a cementkő porozítására és a cementhabarcs kloridmigrációs tényezőjére gyakorolt hatását.

A következő fontosabb megállapításokat tettük:

1./ A különböző kiegészítőanyagok felhasználása eltérően befolyásolja a cementek hidratációs hőjét:

- **Granulált kohósalak kiegészítőanyag** alkalmazásával (10-80%) cementek hidratációs hője csökkent és a hőmérséklet-maximum fokozatosan a hosszabbodott, egyre ellaposodóbb jellegű volt.
- A **kőszénpernye kiegészítőanyag** (10-20%) hatása hasonló, mint a granulált kohósalaké, de a hőfejlés maximuma időben eltolódik.
- A cement hidratációs hőjét a **szilikapor** (10-20%) adagolása lényegesen nem befolyásolja.
- **Metakaolin** (10-20%) a cement hidratációs hőjét növeli és a hőmérséklet maximum ellaposodása jellemző. A hidratációs hő csökkenése a metakaolin 20% feletti adagolása esetén tapasztalható.

2./ A „tisza” cementkövek esetében a hidratációs idő növekedésével megfigyelhető pórusméret „finomodás” az 50-140 nm közötti mikropapillárisok „fogyásának” tulajdonítható.

3./ A kiegészítő anyagot tartalmazó cementkő esetén összefüggés állapítható meg a kloridmigráció és a 30 nm alatti pórusok részaránya között. Minél nagyobb a 30 nm alatti pórusok részaránya, annál kisebb a habarcsra mért kloridion-migrációs tényező.

4./ A kis kloridmigrációs tényezőjű cementkövekben a hidratáció során a 60-100 nm alatti átmérőjű pórusok gyakorisága folyamatosan növekszik a kisebb pórusméretek irányába. A kiegészítő anyag(ka)t tartalmazó cementeknél a 4-5 nm alatti pórusok arányának ugrásszerű növekedése jellemző. A CEM I cementek felhasználásával készült cementkövek esetén ez nem figyelhető meg.

Irodalomjegyzék

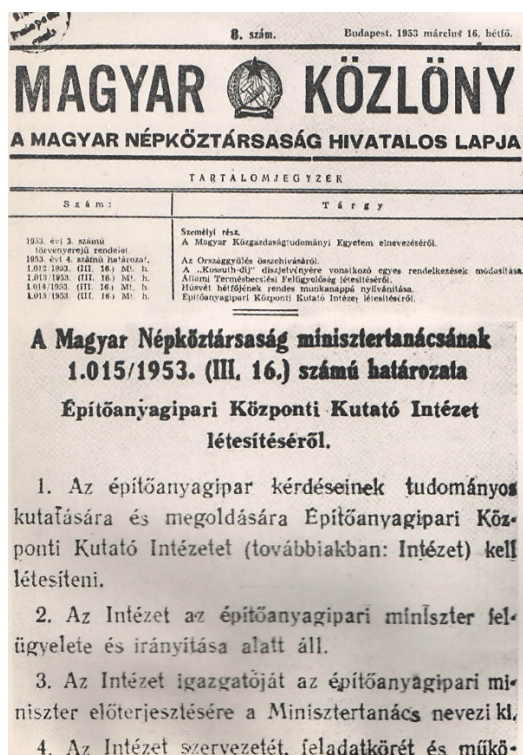
- [1] Talabér József: Cementipari Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, 1966
- [2] Riesz Lajos: Cement és mészgártási kézikönyv, Építésügyi Tájékoztatói Központ, Budapest, 1989
- [3] <https://www.slideshare.net/rizwansamor/hydration-of-cement>, megtekintés dátuma: 2022. 02.15.
- [4] SZIKTI Tudományos közlemények 18. Opoczky Ludmilla: Vízépítési cementek, 1967
- [5] MSZ EN 196-9:2010 szabvány: Cementvizsgálati módszerek. 9. rész.: Hidratációs hő. Féladiabatikus módszer
- [6] MSZ EN 196-1:2016 szabvány: Cementvizsgálati módszerek. 1. rész.: A szilárdság meghatározása
- [7] Mrákovicsné Török Katalin: Kohósalakok hidraulikus tulajdonságainak gyors megállapítására szolgáló módszerek, Építőanyagipari Központi Kutató és Tervező Intézet (ÉaKKI) 113. sz. jelentése 1960
- [8] Barbara Klemczak, Maciej Batog: Heat of hydration of low-clinker cements; J Therm Anal Calorim (2016) 12:1351-1360
- [9] Hoon Moon, Sivakumar Ramanathan, Prannoy Suraneni, Chang-Seon Shon, Chang-Joon Lee and Chul-Woo Chung: Revisiting the Effect of Slag in Reducing Heat of Hydration in Concrete in Comparison to Other Supplementary Cementitious Materials; Materials 11(10), 2018; DOI:10.3390/ma11101847
- [10] Sakir Erdogan, Ihsan Omur, and Erol Yilmaz: Pozzolan Effect on the Hydration Heat of Cements Incorporating Fly Ash, Obsidian, and Slag Additives, Advances in Civil Engineering, 2021
- [11] El-Hadj Kadri, Said Kenai, Karim Ezziane, Rafat Siddique, Geert De Schutter: Influence of metakaolin and silica fume on heat of hydration and compressive strength development of mortar, Applied Clay Science 53. (2011) p.704-708
- [12] Jóźwiak-Niedźwiedzka D., Effect of fluidized bed combustion fly ash on the chloride resistance and scaling resistance of concrete, RILEM TC 211-PAE Final Conference on Concrete in Aggressive Aqueous Environments. Performance, Testing and Modeling, Toulouse, France, 3-5 June, 2009, Vol. 2,556-563.
- [13] Tang L., Chloride transport in concrete – Measurement and prediction, Ph.D. Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, Publication P-96:6, 2010
- [14] MSZ EN 12390-18:2021 A megszilárdult beton vizsgálata. 18. rész: Kloridmigrációs együttható meghatározása
- [15] Nordtest Method NT Build 492:1999 Concrete, Mortar And Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient From Non-Steady-State Migration Experiments
- [16] K. Kopecskó, Gy. Balázs: „Effect of GGBS Additive on Chloride Ion Binding Capacity of Slag Cements,” Hungary, Proceedings of the 3rd CCC (CCC2007) organised by Hungarian Group of fib, 2007
- [17] P. Bamforth, „Improving the durability of concrete using mineral admixtures,” Concrete durability in the Arabian Gulf, Proceedings, 1995
- [18] H. G. a. I. J. M. Midgley, „The penetration of chlorides into hardened cement pastes,” Cement and Concrete Research, 1984

A Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet (SZIKKTI) alapításának 70. évfordulója

WOJNÁROVITSNÉ HRAPKA ILONA • LACZKÓ LÁSZLÓ

SZIKKTI Labor Szilikatkémiai Anyagvizsgáló-Kutató Kft.

A Magyar Népköztársaság minisztertanácsa 1953-ban Építőanyagipari Központi Kutatóintézet létrehozásáról döntött (1. ábra).

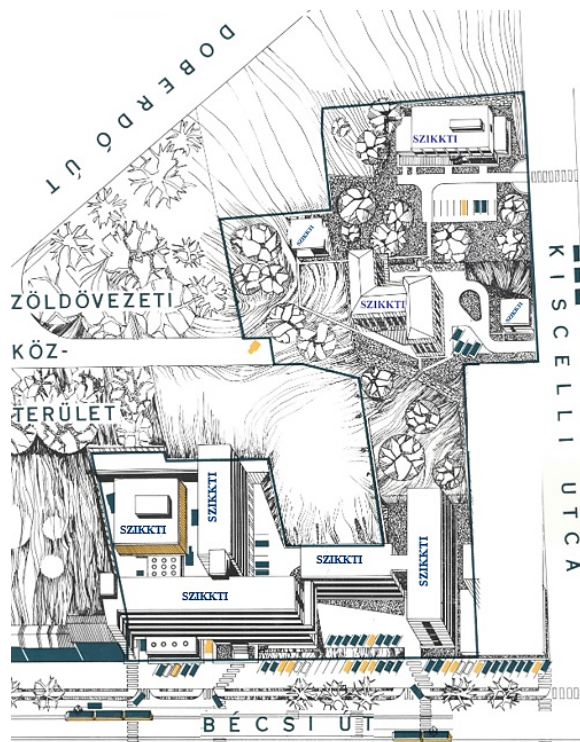


1. ábra A Magyar Közlöny 1953. március 16-án megjelent száma

Az Építőanyagipari Központi Kutató Intézet (ÉaKKI) kezdetben Kőbányán, a Bihari utcában működött, majd az 1960-as évek második felében felépült a Bécsi úti székház (2. ábra), illetve több épület a 3. kerület Bécsi út – Kiscelli utca – Doberdó út által határolt területen (3. ábra).



2. ábra A Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet Bécsi úti székháza



3. ábra A Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet épületei

A folyamatos profilbővülés miatt az intézet neve a fennállása során többször változott:

- 1953 Építőanyagipari Központi Kutató Intézet (ÉaKKI)
- 1966 Szilikátipari Központi Kutató Intézet (SZIKKI)
- 1967 IPARTERV Szilikátipari Tervező irodájának beolvasásával az intézet új neve: Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet (SZIKKTI)
- 1996 SZIKKTI felszámolása
- 1995 SZIKKTI Szilikatkémiai Osztálya SZIKKTI Labor Szilikatkémiai Anyagvizsgáló-Kutató Kft. néven folytatja tevékenységét.

Az intézet leghosszabb (1964-1983) ideig hivatalban lévő igazgatója Dr. Talabér József professzor Úr (4. ábra) volt. Irányításával építették fel a SZIKKTI Bécsi úti székházát, amelyet európai hírű kutatóintézetté fejlesztett. Vezetése alatt a SZIKKTI az egész magyar szilikátipar fejlesztésének a mozgatórugója lett, összehangolva az alapkutatás-fejlesztés és technológiai megvalósítás feladatait, kijelölve a távlati fejlesztés irányait.

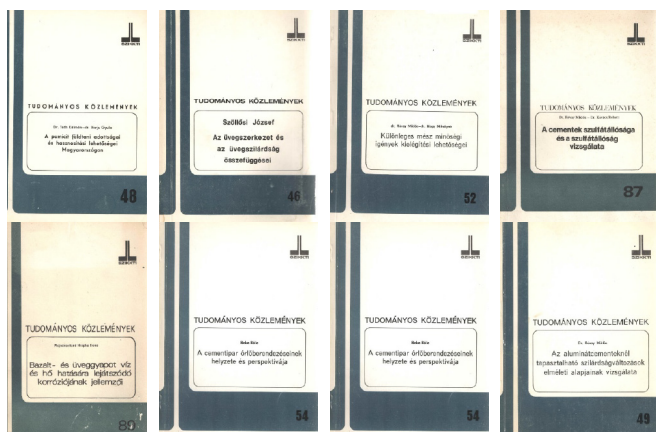


4. ábra Dr. Talabér József



5. ábra Talabér József Cementipari kézikönyv (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966)

Az intézet korszerűen felszerelt és műszerezett laboratóriumokkal, gazdag könyvtárral rendelkezett. Létszáma a szilikátipari nagyberuházások időszakában 1200 főre növekedett. A tervező-technológiai részlegek mellett a kutatás-fejlesztés: az üveg, durvakerámia, finomkerámia, különleges anyagok, cement, beton, szilikátkémiai, energetikai, automatizálási és távlati fejlesztési osztályokon folyt. Az Intézet kutatói, munkatársai élvonalban publikáltak, az ipar és oktatás számára is jól használható tudományos közleményeket (6. ábra) jelentettek meg, pályadíjakat nyertek, szabadalmak kidolgozásában és egyetemi oktatásban vettek részt. Talabér professzor úr nemcsak mint intézetigazgató, hanem mint közéleti személyiség, az Szilikátipari Tudományos Egyesület (SZTE) elnöke, egyetemi oktató és tudományos kutató is jeleskedett.



6. ábra A SZIKKTI által kiadott néhány Tudományos Közlemény

Az 1980-as évek közepétől elkezdődött a hanyatlás, megszűntek a nagyberuházások, csökkent a kutatási megbízások száma, megszüntették a hatósági felügyeletet ellátó Építésügyi és Városfejlesztési Minisztériumot (ÉVM), végül a Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézetet is felszámolták.

1995-ben a SZIKKTI Különleges Anyagok Osztályából és a Finomkerámia Osztályából alakult a SZIKKTI Kft., melynek tevékenysége 2007-ben megszűnt.

1995 után a kutató-vizsgáló részlegek közül az egykori SZIKKTI Cement- és Betonosztályából alakult a Cemkut Kft, valamint a Szilikátkémiai Osztályból létrejött SZIKKTI Labor Kft. maradt fenn. A SZIKKTI Labor Kft. ügyvezetői feladatait az osztály egykori tudományos főmunkatársa, Dr. Wojnárovitsné Dr. Hrapka Ilona (okl. vegyészmérnök, MTA doktora) látja el.

A SZIKKTI Labor Kft. jelenlegi teljes tevékenysége a szilikátipari anyagok vizsgálata, kutatása és fejlesztése, valamint a rotációs viszkoziméterek akkreditált kalibrálása, forgalmazása. A vállalkozás a Nemzeti Akkreditáló Hatóság (NAH) által akkreditált független kalibráló- és vizsgálólaboratóriumokból áll.

A folyamatosan bővülő vizsgálati portfólió főbb területei:

- Szilikátipari nyersanyagok, félkész- és késztermékek (cement, beton, üveg, finomkerámia, téglá, cserép, szigetelő és tűzállógyártmányok) speciális műszaki kerámiák kvalitatív fázisösszetételének, valamint hőmérséklet függvényében lejátszódó tömeg és entalpia változásának vizsgálata.
- Kémiai és fizikai tulajdonságok vizsgálata (kristályszerkezet, fázisösszetétel, morfológia, termoanalitika)
- Porminták (ipari porok és munkahelyi légtérből vett respirábilis porminták) kristályos SiO_2 -tartalmának, nehézfém- és nyomelem tartalmának meghatározása.
- Cementek, kőanyag-halmazok, adalékanyagok habarcs-hoz és betonhoz, keverővizek vizsgálata.
- Különböző anyagok kémiai- és elemösszetételei vizsgálata (röntgenanalitikai, elektronsugaras, optikai spektrometriás, elektroanalitikai és klasszikus analitikai módszerekkel).
- Betonadalékszerek vizsgálata.
- Szervetlen szintetikus szálanyagok korróziójának, szál-erősítő termékek tulajdonságainak vizsgálata. Különleges minőségű szálanyag-összetételek kidolgozása.
- Környezetvédelemmel kapcsolatos vizsgálatok (pl. azbeszttartalom, szabad kovásvartalom, nehézfémek, nyomelemek stb. meghatározása).
- CO_2 -kibocsátás vizsgálata különböző nyersanyagok esetén.
- Műemlékvédelemmel kapcsolatos vizsgálatok.
- Ipari hulladékok hasznosítása, újrafeldolgozása.
- Kutatási, fejlesztési és szakértői megbízások teljesítése komplex vizsgálati módszerek alkalmazásával.

A SZIKKTI Labor Kft. tagja a

- Szilikátipari Tudományos Egyesületnek;
- Magyar Kerámia Szövetségnek;
- Magyar Téglá és Tetőcserép Szövetségnek.



Szilikátipari Tudományos Egyesület

Magyar Kerámia Szövetség

Magyar Téglá és Tetőcserép Szövetség

A jövőben szeretnénk a SZIKKTI Labor Kft. tevékenységét területi és létszámbővítéssel tovább fejleszteni. Ez azonban csak a szilikátipar, illetve a teljes építőanyag-ipar széleskörű összefogásával valósulhat meg.

Célszerű lenne a legmodernebb vizsgálóberendezésekkel felszerelt központi laboratóriumot létrehozni, amely az egész iparág fejlődéséhez, korszerű termékek kialakításához nagymértékben hozzájárulna.

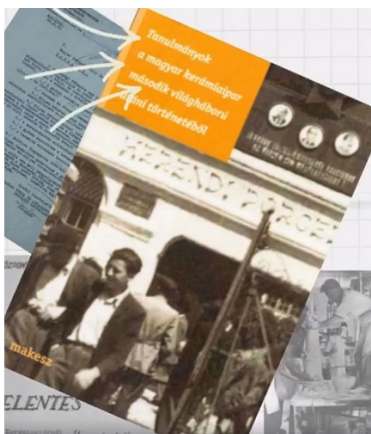
A hazai finomkerámiaipar 1945 utáni története a levéltári források tükrében

DR. KISS ANDRÁS

1. A kutatásokról és azok levéltári forrásairól

Az elmúlt évtizedekben hiányoztak a finomkerámiaipari vállalatok és az ágazat egészét érintő ipartörténeti alap kutatások is. Túri András, a Magyar Kerámia Szövetség elnökének kezdeményezésére 2018-ban alap kutatások indultak a magyar kerámiaipar történetének levéltári forrásokon alapuló szisztematikus feltárására.

A kutatásba személyesen kívül bekapcsolódott Dr. Szűts István Gergely levéltáros, majd Pálfi József, a Hollóházi Porcelángyár egykori vezérigazgatója is. A 2018-ban elindult kutatás kezdetben a magyar kerámiaipar XX. századi történetének egy rövid, mégis igen fontos, államosításkori időszakát vette vizsgálat alá. Az első eredményeket a Magyar Nemzeti Levéltár és a Magyar Kerámia Szövetség által 2019 júniusában rendezett ipartörténeti konferencián mutatták be. A konferencián elhangzott előadások és a további kutatásokon alapuló tanulmányok 2021-ben egy kötetben kerültek kiadásra [Kiss András – Szűts István Gergely (szerk.): Tanulmányok a magyar kerámiaipar második világháború utáni történetéből. Magyar Kerámia Szövetség, Budapest, 2021.] (1. ábra).



1. ábra A „Tanulmányok a magyar kerámiaipar második világháború utáni történetéből” című kötet borítója

A tanulmányokon keresztül egyrészt bepillanthattunk a tradíciókban gazdag kerámiaipari cégek történetébe, másrészt a magyar kerámiaipar államosításkori történetét feldolgozó hiánypótló munkák az ágazat eddig ismeretlen időszakát és folyamatait tárták az olvasó elé. A kiadvánnyal a kerámiatörténet iránt érdeklődők egy közel kétéves kutatás első eredményét vehették kézbe. A kiadványról 2021-ben Kocsis Piroska főlevéltáros tollából recenzió látott napvilágot (Kocsis Piroska: Államosítás a magyar finomkerámiaiparban. *Levéltári Közlemények*, XCII. évf., 2021. 332–338.). A gaz-

daságtörténeti megközelítés mellett a szerzők törekedtek arra is, hogy az ágazat társadalomtörténeti vetületeit is bemutassák. Ennek során képet kaphattunk a kerámiaipari munkásság életmódjáról és munkaviszonyairól, amely különösen – más iparágakéhoz hasonlóan – a második világháborút követő hiperinflációs időszakban volt a leginkább tragikus. A tanulmánykötet megjelenése már régóta váratott magára, ugyanis addig mindössze egyetlen összefoglaló, szintézisszerű munka állt rendelkezésre a finomkerámiaipar hazai fejlődéséről, mely Grofcsik János és Reichard Ernő tollából jelent meg 1973-ban (2. ábra). Munkájukon keresztül nemcsak a laikus érdeklődő nyerhet betekintést a kerámiaipar gyártmányainak csoportosításába, hanem az ipartörténetben mélyebben elmélyülni kívánó olvasó is. A kötetből megismerhetjük a magyarországi agyagművesség kialakulásának kezdeteit, az első magyarországi majolikagyár alapítását Holicson, valamint a finomkerámiai szövetkezetek létrejöttét.



2. ábra Grofcsik János (1890–1977) vegyészmérnök igazolványképe, 1940-es évek (Forrás: Alföldi Elvira magántulajdona)

Fontos megemlíteni, hogy a 2018-ban megkezdett munka eredményeire építkezve a kutatócsoport célul tűzte ki az alap kutatások folytatását, mely a technológia és a design témakörével egészült ki. A célkitűzés nem egy-egy vállalat történetének a megírása – jóllehet a korábbi kutatások sem ezt a célt tűzték ki maguk elé –, hanem a kerámiaipari ágazat fejlődéstörténetének, gazdaság- és pártirányításának átfogó bemutatása áll a középpontban. A kutatók tehát szakítani kívántak az eddig elterjedt vállalat-történeti nézőponttal, amely a már említett *A magyar finomkerámiaipar története* című monográfiában is tetten érhető. A kutatás időhatára a kronológiai szemléletet követve az 1950-es évektől napjainkig terjed. Ennek oka az, hogy az ágazatnak a második világháborút követő szervezeti változásai, irányítási

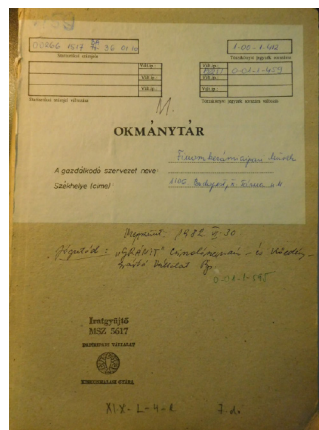
mechanizmusa a tervgazdaság rendszerében új struktúrát és termelési módszereket igényelt. Fontos kiemelni azt is, hogy a kutatás valójában nem köthető konkrét köztörténeti dátumhoz (pl. 1945, 1950, 1956, 1968 stb.), mivel az elsősorban a korszakokon átívelő folyamatokra, változásokra, azok eredményeire vagy éppen hátrányaira helyezi a hangsúlyt. A fentiek alapján a gazdaságtörténeti jellegű alap kutatásoknak mikro- és makrotörténeti irányai is vannak. Mikrotörténeti abban az értelemben, hogy egyes vállalatok fejlődésén, átalakulásán keresztül bemutatható a kerámiaipari ágazat irányítási mechanizmusa, a vállalatok „egymásrautaltsága”, érdekeltiségi rendszere vagy éppen a szocializmus időszakában kevésbé hangzottatott profitorientáltság, érdekellentétek és versenyhelyzet, melyek átvezetnek a rendszerváltást követő piacgazdaság és a privatizáció időszakába. A kutatás makrotörténeti szempontját az ágazat irányításának vizsgálata jelenti, melybe egyaránt beletartozik kormánysszervek, a pártsszervek és nem utolsósorban a vállalatirányítói réteg tevékenysége. Mindezek egyttvéve kölcsönösen határozták meg egy-egy vállalat felfutását, egy térség, város és társadalmának fejlődését, átalakulását. Az egyes vállalatok szocializmuskori lobbitevékenysége pedig kiemelt figyelmet kap a projekt során.

A témához történő közeledés során fontos szempontot jelent a vidékre telepített kerámiaipari vállalatok kérdésköre, melynek célja a vidék iparosítása, az egykor mezőgazdasági foglalkoztatottak helyben történő elhelyezkedésének, átképzésének vagy szakképzésének támogatása volt. A kutatás megkerülhetetlen irányát jelenti a Kádár-rendszer mementójává vált házgyári, paneltechnológiára épülő építőanyagipar vizsgálata is. Az építőanyag-iparra a kerámiaipar és mint a szakma egyfajta „húzóágazataként” tekinthetünk, ugyanis az ötéves tervekben lefektetett lakásépítési programok a különféle burkolóanyagok és szaniterárúk gyártásán keresztül közvetlenül is hozzájárultak az ágazat dinamikus fejlődéséhez. A kutatás mindazonáltal nem mehet el a kerámiaipari ágazat rendszerváltáskori, újabb átalakulásának, egy új vállalkozói réteg kialakulásának a vizsgálata mellett sem. A nagymúltú kerámiaipari vállalatok átalakulásának, megszűnésének és kényszerű felszámolásának gazdaságtörténete a mai napig fehér foltját jelentik a (gazdaság) történetírásnak. Az intenzíven 2023-ban indult kutatás célja felhívni a figyelmet a kérdés társadalomtörténeti vetületeire, a piacgazdaságra történő átállás vállalati és egyéni sorsokat meghatározó szempontjaira, melyben hangsúlyos szerep jut az *oral history* módszerének is. A kutatás olyan kérdésekre is választ keres, miszerint milyen közvetlen és közvetett okok vezettek egy-egy sikeres vagy sikertelen év eredményeihez, milyen politikai, gazdaságpolitikai és diplomáciai háttér munka zajlott ezekben az években, nem utolsósorban a nemzetközi fogyasztási szokások alakulása hogyan befolyásolta a gyártást, a technológiai- és termékfejlesztést. A magyar finomkerámiaipar 1945 és 1989 közötti történetének kutatása természetesen komplex megközelítést, átfogó és valójában korszakokon átívelő vizsgálatot igényel, amelynek során gazdaság- és társadalomtörténeti, valamint technológiatörténeti szempontú megközelítés a legcélravezetőbb.

2. A levéltári forrásbázis

A finomkerámiaipar történetét eddig feldolgozó munkákból éppen a levéltári források hiányoztak. Ahhoz, hogy a finomkerámiaipar 1945 utáni folyamatait rekonstruálhassuk, a legszükségesebb, az államszocialista korszak gazdaságirányító szerveinek irataival szükséges kezdeni. A korszak legfontosabb központi gazdasági forrásai a Gazdasági Főtanács, a Népgazdasági Tanács, az Országos Tervhivatal és a minisztériumok irataihoz kötődnek. A fent említett gazdasági csúcsszervek iratai a kutatások során azért is megkerülhetetlenek, mivel meghatározó szerepet tölthettek be az ország 1945 utáni gazdasági talpra állításában és hozzájárultak a központosított tervgazdasági rendszer létrejöttéhez.

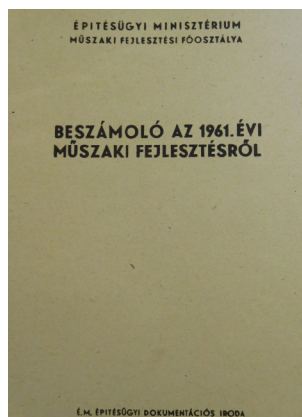
Fontos irategyüttest alkotnak a Pénzügyminisztérium (PM) Bevételi Főigazgatóság állagában fennmaradt finomkerámiaipari vállalati törzskönyvek is. Az iratok azért is különösen értékesek, mivel nemcsak az államosítás időszakában keletkezett cégbírósági és átalakulási dokumentumok találhatók meg benne, hanem a szocialista korszak szinte valamennyi vállalatának nyilvántartása. Hozzá kell tenni, hogy a dossziék között fellelhetők az ágazati irányító szervek, például az ipari központok nyilvántartásai, a vállalatvezetők aláírási mintái és kinevezései, a telephelyek és gyáregységek címei, a cégek névváltozásai, változás-bejelentő lapjai. Mindez azért is érdekes, mert a finomkerámiaipari vállalatokat is érintő bonyolult átszervezések folytán nehezen követhetők nyomon az egyes névváltoztatások (3. ábra).



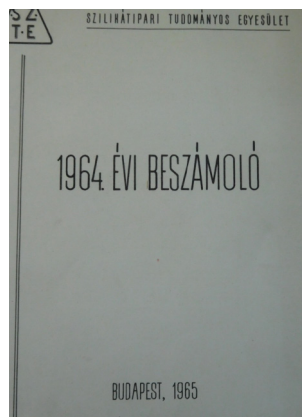
3. ábra A Finomkerámiaipari Művek törzslapja, 1982.
(Forrás: HU-MNL-OL-XIX-L-4-I-459, 7. doboz, Pénzügyminisztérium Bevételi Főigazgatóság, Vállalatok törzskönyvei)

A felettes (irányító) szervek iratai is hasonlóan fontosak, mivel megtalálhatók bennük az ágazat közvetlen irányítását végző hatóságok iratai. A finomkerámiaipari vállalatok minisztériumi felügyeleti szerve 1945-től az Iparügyi Minisztérium, azon belül is a XIV. főosztály, azaz a Mész-, Cement- és Üvegipari Igazgatóság volt. Itt találhatjuk a finomkerámiaipar vállalataival folytatott levélváltásokat is. Sajnálatos módon az igazgatóság iratainak kutatásához mindössze egyetlen doboz áll rendelkezésünkre. A felettes szervek levéltári forrásai között jelentkező hiányt pótolhatják a nagyobb porcelángyártók iratai, amennyiben az irataik természetesen fennmaradtak. A herendi és a pécsi Zsolnay-gyárra, világhírű művészeti stílusa, vezetőik hazai és nemzetközi kereskedelmi kapcsolatai

miatt a kommunista hatalom is kiemelten figyelt. A vállalatok hiteligényléseik kapcsán kiterjedt levelezést folytattak a minisztériumokkal, köztük a Pénzügyminisztériummal is vagy a Magyar Nemzeti Bankkal. Nem mehetünk el szó nélkül a témánk szempontjából oly fontos gazdasági kormány szerv, az Építésügyi Minisztérium 1949 és 1967 közötti közel 400, az Építés- és Városfejlesztési Minisztérium 1967 és 1989 közötti 300 iratfolyómétert kitevő iratainak kutatása mellett. Kevésbé köztudott, hogy a Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet 1953 és 2000 közötti iratait 646 kisdobozban, megközelítőleg 78 iratfolyóméterben a Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltár Gazdasági Levéltári Osztálya őrzi. A sort természetesen még tovább folytathatnánk a szintén megkerülhetetlen és a döntéshozatal szempontjából releváns pártiratok tanulmányozásának kérdésével, melybe beletartoznak a felsőbb pártszervek, ún. vezetőttestületek (politikai bizottság, központi bizottság, titkárság), valamint az állampárt szakpolitikai (elsősorban gazdaságpolitikai) szervei (4. és 5. ábra).



4. ábra Beszámoló az 1961. évi műszaki fejlesztéséről, 1962. (Forrás: HU-MNL-OL-XIX-D-3-I, 22. doboz, Szokup Lajos miniszterhelyettesi iratai)



5. ábra A Szilikátipari Tudományos Egyesület 1964. évi beszámolója, 1965. (Forrás: HU-MNL-OL-XIX-D-3-jj, 48. doboz, Építésügyi Minisztérium, Műszaki-fejlesztési főosztály)

3. Válaszok a „Mi történt?” kérdésére

Az 1945 utáni magyar történelmi események drámai hatású változásokat eredményeztek Magyarország politika-, gazdaság- és társadalomtörténetében egyaránt. A finomkerámiaparban végbemenő 1945 utáni folyamatok vizsgálatokor nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt a tényt sem, hogy a hatalmat és a gazdasági kulcspozíciókat magukhoz ragadó kommunisták a gazdaságirányítás rendszerét az ország szovjetizálásának jegyében alakították át. A finomkerámiapiari vállalatok 1945 után kísérletet tettek a világháborúban szétzilált ágazat és kereskedelmi kapcsolataik talpra állításában. A finomkerámiapiari vállalatok a második világháborútól az ágazat átszervezéséig javarészt megtartották korábbi termékszerkezetüket, melynek során igen különböző és eltérő értékű termékeket gyártottak. A széles termékpalettát az építési kerámiatermékek (pl. falburkoló csempe, padlóburkoló lap), a lakásfelszerelési finomkerámiapiari termékek (mosdókagyló, WC-csésze), a háztartási edények és dísz tárgyak (pl. étkészletek, vázák és figurák), a műszaki porcelánok (pl. villamosszigetelők) és csiszolókorongok jelentették.

Az államosítást követően, az ország iparosításával párhuzamosan azonban egyre nagyobb igény jelentkezett a porcelánszigetelők gyártására. Ennek eredményeként számos vállalatnál csökkent és háttérbe szorult a művészi porcelánedény és díszmű gyártása. Az államosításokat követően a finomkerámiapiar egészét érintő változások kettős hatást eredményeztek az ágazatban és a szakmában egyaránt. Egyrészt a döntések sorozata lehetőséget teremtett az ágazatban az addig egyáltalán nem, vagy kisszerűbben gyártott termékek megjelenéséhez. Másrészt azonban a tradicionális szakmai tapasztalat, kerámiapiari tudás és a művészeti alkotómunka a kiterjedt nemzetközi kereskedelmi kapcsolatokkal valójában háttérbe szorult és visszafejlődött.

Ami a finomkerámiapiar külkereskedelmét illeti, elmondható, hogy a második világháborút követő államosítások során a termelő vállalatok esetében nemcsak a gyártást, hanem az értékesítést is központosították, közvetlen állami irányítás alá szervezték. 1949-ben állami kézbe került az ARTEX Nemzeti Vállalat (később ARTEX Külkereskedelmi Vállalat), amely a finomkerámiapiar termékeinek közvetlen exportját intézte. A külkereskedelem újra szervezése egyszerre volt politikai és gazdasági kérdés, hiszen a legfontosabb felvevő piacok 1948-at megelőzően – a belföld mellett – elsősorban Nyugat-Európa volt, amely ideológiailag szembenálló félnek számított. A szocialista országok kereskedelmi kapcsolatainak kiépítése mellett a legfőbb devizaforrást – ki nem mondottan – azonban továbbra is az úgynevezett kapitalista országok intézték.

A Rákosi-rendszerben a díszműáru gyártással ellentétben köztudottan a műszaki porcelán gyártása kapott elsőbbséget. Mindemellett elmondható, hogy a finomkerámiapiar ágazatát a (gazdaság) politika részéről jelentkező folyamatos szervezeti változtatások jellemezték. Ennek számos oka volt, köztük a díszműáru-gyártás visszaszorulása, az ország villamosításával és az ötéves tervekben meghatározott grandiózus építkezésekkel jelentkező nyersanyagigény-és alapanyag-felhasználás, stb (6. és 7. ábra).



6. ábra Porcelánszigetelő üzem. Termékek próbája és előkészítése csomagolásra, 1947. (www.fortepan.hu 73047)



7. ábra Porcelánszigetelő felhasználási formája, 1946.
(www.fortepan.hu 72990)

Az 1950-es évek végétől és az 1960-as évek elejétől ismételtelen megfigyelhetők az ágazat teljes irányítását érintő szervezeti változások, profilmódosulások. 1963. július 1-jével az országban akkor működő hét porcelángyárból az Építésügyi Minisztérium (ÉM) egy nagyvállalatot, az ÉM Finomkerámiaipari Országos Vállalatot (FOV) hozta létre. 1968-tól a vállalat neve Finomkerámiaipari Művek (FIM) lett. A Finomkerámiaipari Művek valójában az ipar valamennyi gyárát irányította, termelését és működését tröszt jelleggel koordinálta.

Mindent összevetve, a finomkerámiaipari vállalatok a megalakulásuktól az 1948. évi államosításig jelentős utat jártak be, sok esetben a gyárak által felépített hírnevet az államosítás sem tudta megtépázni. A finomkerámiaipar meghatározó vállalatainak hírneve, termékeik minősége – ha egy-egy időszakban néha megkopva is –, de mind a Rákosi-, mind pedig a Kádár-rendszerben megmaradt, ami egészen a rendszerváltásig fennmaradt és abból a vállalatok is profitálni tudtak.



Fortepan / Horváth József
Herendi Porcelángyár

Az üveg ezer arca – Művészet fénytörésben – Tudomány, technika, művészet

BALOGH ELEONÓRA • Ferenczy Noémi díjas üvegművész, Red Dot díjas designer

A szilikátok egyik legsokoldalúbb és legtitokzatosabb anyaga az üveg.

A megdermedt folyadék (1. ábra), amely a mai napig számos kérdést tartogat kutatói számára és amely megjelenésének, létezésének elemi feltétele az univerzumból érkező fény, amit a transzmisszió és a reflexió törvényszerűségei mentén – egyedülálló módon „használ”.

Mindannyiunknál jobban tudva és értve a fizikát és a kémiát.

Az üveg nagy utat tett meg természetes állapotától, napjainkig. A vulkáni tevékenység, a koncentrált energiájú vilámcsapás elemei erejétől a tudatos alakításig, a természet legkülönbözőbb rétegeitől a hétköznapi használati tárgyainkig.



1. ábra Az üveg megjelenési formái

Az üveget napjainkban már neves galériák, múzeumi kollekción és ikonikus épületek ünnepelt anyagaként tartjuk számon. Mindez mára olyan természetes, mint az ősember által tudatosan pattintott, kagylós élő szerszám, – az obszidián használata.

Az üveg használatának, alkalmazásának évezredes íve tekintélyes. A művészi önkifejezés választható anyagaként azonban nehezített pályát jelent, hiszen a szenzibilis gondolkodásmód mellett a matéria alapos ismerete – alapkövetelmény.

Az anyagot formáló, alakító üvegművészek létezésünk kérdéseit és válaszait a transzcendens fény segítségével, annak közreműködésével kutatják és tárják elénk. Üvegben írt fényüzeneteik precíz tartalmi-formai megfogalmazásaikkal összetett, kalandos, embert próbáló vállalkozások, melyek nagyban eltérnek a tradicionális művészeti ágaktól.

A kortárs magyar üvegművészet ebben a szellemben keresi helyét folyamatosan, lépésről-lépésre meghódítva az érdeklődő, műértő közönséget a szobrászat, a festészet, a murális művészet, az építészet, a design, valamint az értékmentés és restaurálás területén egyaránt.

Üvegművésznak lenni egyfajta létforma, gondolkodásmód, állapot, egyben fokozott felelősség. Aki üveghez nyúl, nem élhet vissza az anyag szépségével, öncélú, szemfényvesztő

módon. Soha nem lehet célja pusztán az álmétkodók elkápráztatása. Az anyag hideg és meleg tulajdonságait ismerő üvegművész nem elégszik meg a talmi csillogással. Tudatos alkotóként, az anyag tulajdonságainak ismeretében keresi annak újabb és újabb arcait, amikor kérdéseit és közlendőit üvegben írja. Végtelen szabadsággal, egyben fegyelmezetten, hiszen a matéria – mint állandó Tanítómester – szüntelenül tükröt tart, szembesít hibáinkkal, tévedéseinkkel. Ezek az alapjai a merészen kísérletező, mindig új irányokat kereső üvegművész attitűdnek.

Az üveg páratlan tulajdonságai, változatos megjelenési formái, szerteágazó kutatási területei, valamint mára már elvitathatatlan szerepe a művészetekben kellő alpnak bizonyult ahhoz a Magyarország által is jegyzett nemzetközi előterjesztéshez, – amely a 2021. május 18- i ENSZ Közgyűlésen – a 2022-es évet, az Üveg Nemzetközi Évének nyilvánította.

Az ünnepi év kapcsán a szakmának lehetősége nyílt a II. Ipar és Tervezőművészeti Szalon Kiállításon egy széleskörű kortárs bemutatkozásra és méltó megemlékezésre a magyar üveg méltatlanul elfeledett innovátorairól, akik munkásságukkal megkerülhetetlen módon írták át az üveg nagy könyvét nagy hatást gyakorolva az utánuk következő alkotókra, egészen napjainkig.

Honi üvegművészeink történeti sorát elsőként említve Pantocsek Leo Valentint, a zlatnói üvegyár vegyész-kémikusát, aki az üvegrozsa tudatos megjelenítésével 1860-ban feltalálta az irizáló üvegfelületet. Találmányát húsz évvel később követte a bécsi Lobmayer és több, mint harminc évvel később alkalmazta a világhírű L. C. Tiffany. Az, hogy mindez a világ számára kronológiai alapokon is elfogadott legyen, abban óriási érdeme volt dr. Varga Vera művészettörténésznek, aki tudományos kutatásai mentén elvitatta Tiffanytól, a tévesen neki szignált, egyébként világraszóló felfedezést (2. ábra).



2. ábra Irizáló felületű üvegek - Pantocsek Leo Valentin, Zlatno, Magyar Iparművészeti Múzeum tulajdona

Keveset tud a közvélemény az 1961-ben bejegyzett magyar szabadalomról, a karcagi Fátyolüvegről, melyet Veil Glass néven „hallgatott el” a világ elől a szocialista marketing-kommunikáció. A találmányt Veress Zoltán és a még ma is köztünk élő Suha Zoltán vegyészek jegyzik.

Dr. Veress Zoltán művészeti alaptanulmányai mellett egyetemi szinten képezte magát a kémia, az ásványtan és fizika területén. Sokoldalú érdeklődése mögött egy folyamatosan kísérletező polihisztor állt, aki nagy utat járt be a gyári előállítású színes üveg olvasztásától a hőálló edényeken keresztül a híradástechnikai üvegek fejlesztéséig. Ez utóbbi munkájáért, valamint egy biológiai szűrőberendezés feltalálásáért Kossuth-díjat kapott, melyet – az 1956-os események kapcsán, pártkönyv égető munkatársaival szolidaritásban, ugyanakkor saját pártkönyv híján – egyszerűen elégetett.

Suha Zoltán vegyész-mérnök alkotótársa és szellemi partnere volt Veress Zoltánnak az üvegyári kísérletekben. Közös munkájuk eredményeként, jött létre a világon egyedülálló a Fátyolüveg, amely a legbelső rétegű, vékony üveghártya mérnöki pontosságú, tudatos megrepesztésén alapul.

A formák döntő többségét Suháné Somkúti Katalin tervezte, a hatvanas-hetvenes évek formavilágát tükröző stílusban. A Fátyolüveg a világ számos nagy múzeumi gyűjteményében megtalálható. Gyártása a Karcag-Berekfürdői Üvegyár 1990-es bezárásával és lerombolásával együtt megszűnt (3. ábra).



3. ábra Fátyolüvegek – Veress Zoltán, Suha Zoltán, 1960-70, Karcagi Üvegyár – Mitter Imre gyűjtemény

Történeti jelentőségű a Párizsból hazatérő, középiskolai üveges oktatást talpra állító Báthory Júlia munkássága, aki a Kisképző üveg szakán, kísérleti darabok készítésére specializálódott huta létrehozásával megtette a hazai, meleg alakítású stúdióüveg mozgalom kezdő lépéseit. A sort erősítette továbbá Bohus Zoltán és Horváth Márton életútja, akik üvegművészek generációit oktatva folytatták a Paulikovics Pál és Z. Gács György által megalapított egyetemi képzés legjobb hagyományait, egyben a magyar stúdióüveg mozgalmat is életre keltették. Közülük számos alkotó indult el a világhír felé.

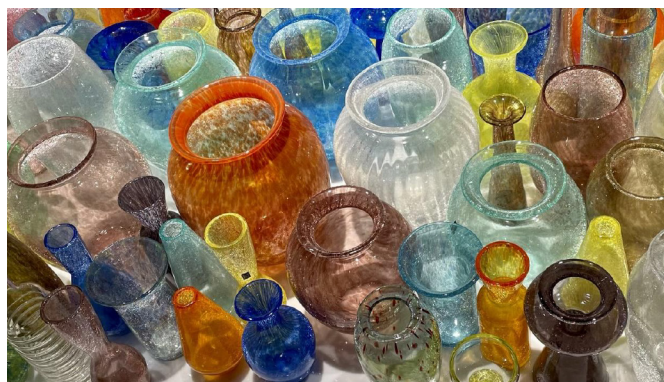
Figyelemre méltó továbbá a Farkas Éva és Buczkó György nevéhez fűződő úgynevezett „Rogyasztott Üveg” 1971-es szabadalma is, amely talán a legnagyobb hatással van a kortárs üvegművészek tárgyalakító munkásságára.

Az építészeti üvegművészet – középkori előzményeinek pusztulása okán – a Kiegyezés idején ébredt fel tetszhalott állapotából. Ennek a folyamatnak kiemelkedő és megkerülhetetlen alkotója volt Róth Miksa, aki nemzetközi színvonalú szakmai tudása mellett kiváló teoretikus habitusával nemcsak alkotásait, de írásait is ránk hagyta, követendő példaként. Szellemiségét, az anyagot mélyen megélő tudását számos világkiállítási nagydíjjal, aranyéremmel díjazták.

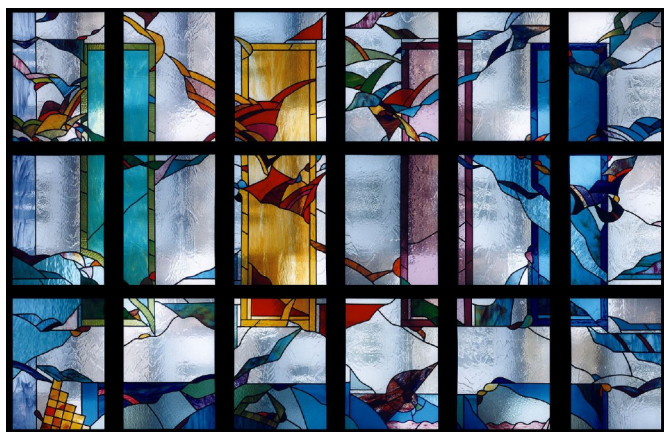
A kommunizmus idején csekély mennyiségű építészeti üvegművészeti alkotás jöhetett létre Magyarországon. Ezek alkotói döntően képzőművészek voltak, akik hagyományos, ismert technológiákkal, többnyire ólomsínes összeépítéssel hozták létre murális munkáikat. Ez idő tájt a nemzetközi üvegművészet, az elismert építészeti társművészetek előkelő pozícióját tudatosan betöltve, korszakalkotó műtárgyak létrehozásával törte az utat üvegekben, térben és fényben.

Az igazi áttörés a rendszerváltást követően történt, amikor a szabad kereskedelem lehetővé tette a különleges alapanyagokhoz és technológiákhoz való hozzáférést, ezáltal szárnyakat adva – az üvegyárak híján – a döntően magánműtermekben alkotó üvegművészek számára.

A magyar építészeti üveg számon tartott kortárs alkotásai – többek közt – Hefter László, Gaál Endre, Köblitz Birgit, Fűri Judit és Balogh Eleonóra nevéhez fűződnek, de jegyzünk építészeti üveget Kertészfi Ágnes, Kovács Keve és Cserba László munkásságában is. Ezek a művek a különböző megközelítésmódok és változatos technikai megoldások mentén markánsan meghatározzák alkotóik művészi oeuvre-jét (4-8. ábra).



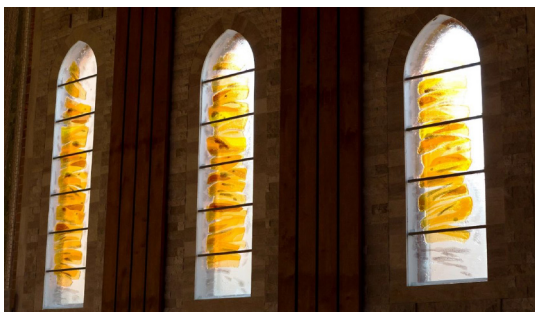
4 ábra Hefter László Évszakok, – magántulajdon / fotó: heftergallery.hu /



5 ábra Gaál Ende – Pázmándi Antal, Benczúr utcai ház homlokzata / fotó: Köztérkép, Göröntsér Vera /



6. ábra Köblitz Birgit, Szent Angyalok templom / fotó birgit-koeblitz.hu /



7. ábra Fűri Judit, „In memoriam Endre Ady” / fotó: judit-furi-glassartist /



8. ábra Balogh Eleonóra, Borzaspusztai erdei kápolna apszisüvegei / fotó: Balogh E. /

Az üvegművészet él és élni akar... Folyamatos helykeresésben, állandó megújulásban keresi helyét környezetünk alakításában.

Az üveg művészei egy kivételes anyag formálóiként teszik le névjegyüket a vizuális kultúra hazai palettáján.



Fortepan / Szalay Zoltán
Orosházi Üvegyár

Új vizsgálati módszerek az építőanyagokhoz

DR. MAJOROSNÉ DR. LUBLÓY ÉVA ESZTER • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Absztrakt

Az építőipar rohamos fejlődésével nagyon gyorsan vezetnek be az anyagokat, meghatározásra kerülnek a jellemző mechanikai tulajdonságok, de néhány anyagjellemző meghatározása hiányos. Illetve egyes esetekben csupán egy anyagjellemző megadása félrevezető is lehet.

Jelen pillanatban az anyagok háromdimenziós belső szerkezetéről elég kevés információ áll a rendelkezésünkre, ezért tűztünk ki célul, hogy az anyagok belső szerkezetét és annak esetleges változását nyomon kövessük roncsolásmentesen és három dimenzióban, ami nagyon fontos előrelépés lenne világszinten is. Gondoljunk bele milyen piaci előnnyel járna, ha egy épület, vagy egy híd szerkezet állapotát egy mérés alapján meg tudnánk határozni. Erre egy az orvostudományban már jól ismert módszert alkalmaztunk a komputer tomográfiát (CT).

A CT alkalmazása hozzájárul számos mérnöki (anyagtani) probléma (szulfát duzzadás, belső le-romlással járó fagyasztás, alkáli szilikát duzzadás) megoldáshoz, vagy bizonyos folyamatok (fagyhámlás, sav hatás) megértéséhez. Fontos kérdés, hogy a CT-vel, és a mérések alapján behatárolható lehet egy adott leromlás mértéke például tűz, illetve magas hőmérséklet hatására bekövetkezett károsodott réteg vastagsága.

1. Hogyan működik a CT?

A CT (Computed Tomography) a szakirodalomban gyakran számítógépes tomográfia néven ismeretes, mely a radiológiai diagnosztika egyik ága. A számítógépes tomográfia (Computed Tomography – CT) vizsgálatokkal a minták háromdimenziós elemzése válik lehetővé.

Egy minta kis léptékű (mm) térbeli belső felépítéséről a legtöbb módszerrel nehéz megbízható módon, roncsolásmentesen képet alkotni. Hagyományos optikai vagy elektronmikroszkóppal roncsolásmentes módon csak felületi kép készíthető. A minta felszeletelése után lehetőség van egy-egy vékony szeletről további képek készítésére is, de ez meglehetősen időigényes, és a szeletek elkészítésekor megváltozhat a minta belső szerkezete, így a háromdimenziós eredeti belső szerkezetre a legtöbb esetben nehéz megbízható módon következtetéseket levonni. A hagyományos röntgenképek tartalmazzák a teljes három-dimenziós belső szerkezet vetületi képét, azonban egyetlen ilyen felvételtől nem nyerhető ki a mélységi információ. A röntgen számítógépes tomográfiával (X-ray computed tomography, CT) lehetővé válik a teljes háromdimenziós belső szerkezetéről a képfalkotás anélkül, hogy szükség volna a minták előkészítésére vagy kémiai fixálásra.

A CT készülékek röntgensugárzást használnak a felvételek elkészítéséhez, de a sugarak nem filmet exponálnak, hanem detektorok segítségével érzékelik a röntgensugarakat, majd a detektorokból nyert elektromos jelekből készül el számítógép segítségével a rekonstruált keresztmetszeti kép. A tomográfias felvételek kialakításának igen változatos módjai is léteznek [1]

A CT alapelve, hogy a vizsgált testet több irányból is meg lehet röntgenezni, majd a létrejött abszorpciós profilokból egy számítógép segítségével rekonstruálható a test keresztmetszete. Ahhoz, hogy több irányból is felvétel készülhessen a vizsgált objektumról, rendszerint a sugárforrást mozgatják a test körül, míg a mozgását követi a detektorsor az áttellenes oldalon.

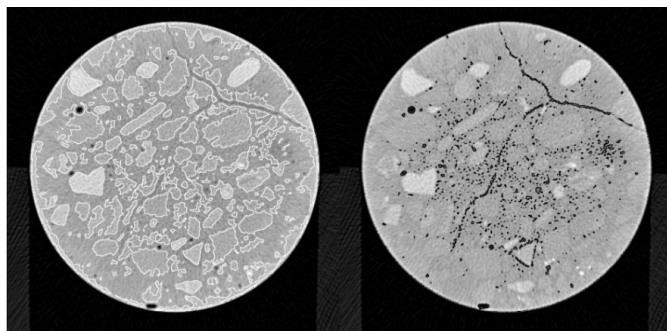
Ha meg akarjuk vizsgálni egy objektum belső struktúráját és felépítését (becslést szeretnénk mondani az anyagokról, amikből felépül), de nem szeretnénk roncsolni se az anyag szerkezetét, se a benne lévő anyagokat, akkor korlátozott az eszköztárunk, amit bevetethetünk. Ha a vizsgált objektumnak nem csak a felületét, hanem 2D – 3D tulajdonságait is tudni szeretnénk, ebben az esetben jó megoldást nyújthat a CT. A CT, azaz a komputer tomográfia ezért jött létre, hogy síkszerű röntgensugár nyalábbal információt szerezzünk az objektum belső tulajdonságairól. Ez a radiológiai diagnosztika egyik ága, amely számítógép segítségével térben rekonstruálja a vizsgált mintát.

A komputer tomográfiát elsősorban orvosi vizsgálatokra használják. Ma már nem kérdés, hogy ha részletes képet szeretne kapni a szakorvos páciense egyik szervéről, akkor fejlett diagnosztikai eszközöket használ. Ezek közül az egyik legkiemelkedőbb a CT készülék. Alkalmazását az 1970-es években kezdték el, azonban ekkor még rendkívül fejletlen, homályos képet eredményezett a vizsgálat, mely hosszú idő alatt készült el. A készített felvételek minősége és a vizsgálat ideje meg sem közelítette a mai szintet. 80×80 felbontású képek készültek, öt percet igényelt a rögzítése egy-egy képkockának. Összehasonlításként ma körülbelül 1024×1024 mátrixú képeket szeletenként akár 0,3 másodperc alatt tudnak a szakorvosok készíteni [2].

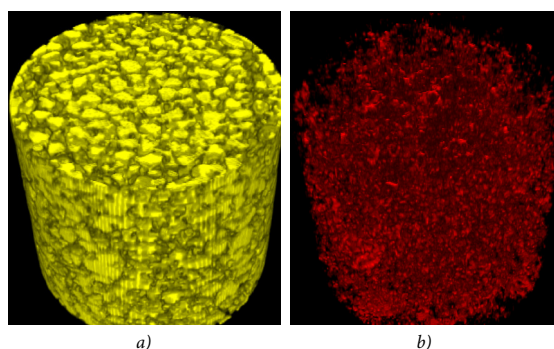
Felmerül a kérdés, hogy vajon működhet-e ez a vizsgálati módszer építőanyagokon is, nem csak emberi testeken. A válasz igen, bár az építőanyagok sűrűség tartománya más, mint az emberi testé, viszont nagyban közelíti a csontok sűrűségét. Így lehet az, hogy eredményes vizsgálatokat végezhetnek, például építőanyagokon is (beton, aszfalt, stb.).

2. Mit tudunk a CT-vel mérni?

A komputertomográfias (CT) felvételeken a vizsgálat tárgya szeletekre bontva látható, ez első közelítésben úgy kezelhető, mint egy szeletfelbontásnak megfelelő sűrűségkép az adott anyagokról (1. ábra). Ezen sűrűség képen jól kirajzolódnak a vizsgált tárgy különböző sajátosságai (alkotók, pórusok, repedések). A szeletek egymás utáni lejátszásával gyakorlatilag bele láthatunk az anyag szerkezetébe. A szeletek egymás utáni elemzésével a vizsgált test térbeli szerkezete feltérképezhető (2. ábra).

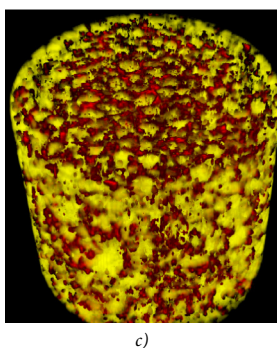


1. ábra Az adalékanyag- (fehér körvonal) és pórusrendszer (fekete körvonal) CT rétegfelvételen (beton próbatest) [3,4]



a)

b)



c)

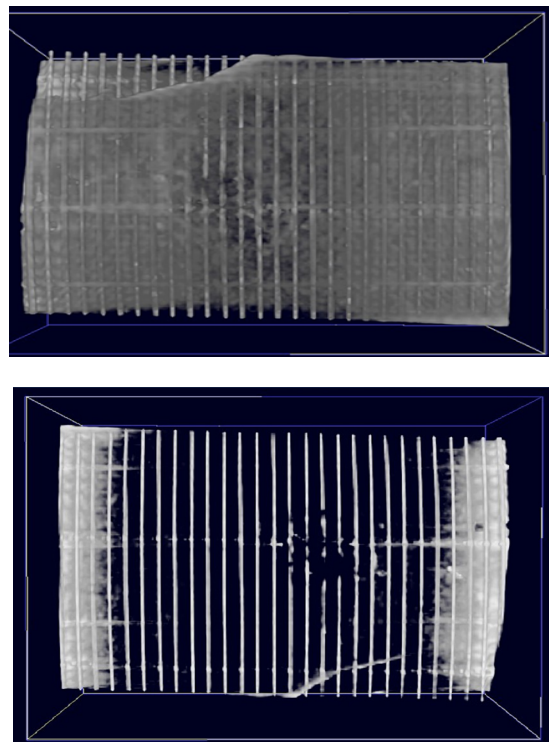
2. ábra A minta 3 dimenziós felvétele. a) adalékanyag eloszlás, b) pórus eloszlás, c) adalékanyag és a póruseloszlás [3,4]

A számítógépes tomográfiával (X-ray computed tomography, CT) lehetővé válik a teljes három-dimenziós belső szerkezetről a képképzés.

2.1 Acélbetétek állapotának felmérése és a korrózió okának megmagyarázása [5]:

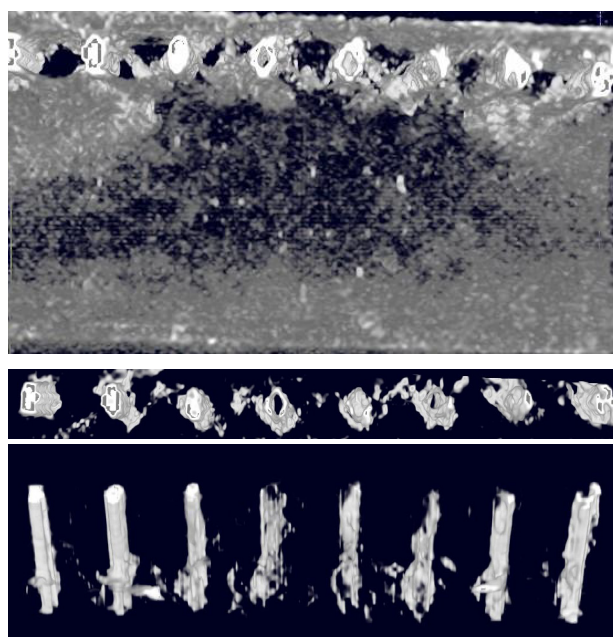
A CT méréseknek nagy jelentősége van a rekonstrukciós munkák során. Vasbetonszerkezetek esetén az acélbetétek állapota fontos, hiszen az acélbetétek veszik fel a húzóerőt. Más

vizsgálati módszerrel az állapotukra vonatkozóan keveset, szinte semmit sem tudunk mondani. A SENTAB (feszített vasbeton cső) csövekről készült CT felvételen jól látható, hogy a rozsdásodott foltok (3 folt) alatt az acélbetétek elszakadtak (3. ábra).



3. ábra Az elszakadt acélbetétek [5]

A nagy rozsdafolt alatt a beton károsodását (kiüregelődését) is megfigyeltük. Az üreg közvetlen környezetéről felvételeket készítettünk. A megállapíthatjuk, hogy az acélbetétek környezetében kisebb sűrűségű rész látható. A 4 ábrán az elszakadt acélbetétek keresztmetszetét láthatjuk. A felvételeken megfigyelhető, hogy az acélbetétek közepén kiüregelődés van.



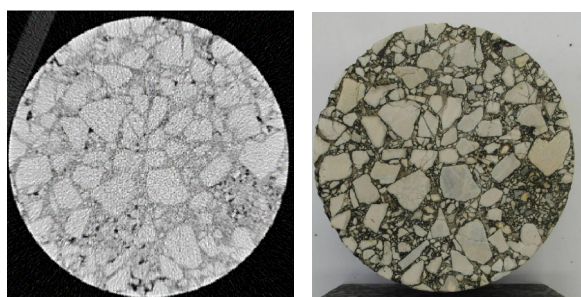
4. ábra A szakadási környezet vizsgálata [5]

2.2 Aszfalt összetétel vizsgálata bedolgozási hibahelyek felmérése [6,7]

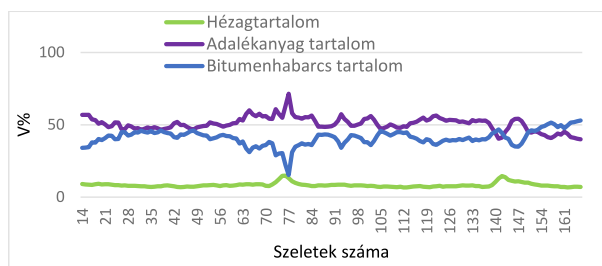
CT vizsgálat magmintákon végzett roncsolás mentes, nagy felbontású (akár $0.06 \text{ mm} \times 0.06 \text{ mm} \times 0.06 \text{ mm}$) 3D anyagvizsgálat, melynek eredménye egy digitális, első közelítésben a sűrűséggel arányos adatrendszer. A módszerrel a laborba szállítandó magminták paramétereit lehet nagy felbontásban 3D-ben meghatározni.

A CT mérések felhasználása segítségével a hagyományos laborvizsgálati eredmények kiértékelése is megbízhatóbbá válik. Az aszfalt tartósságát nagymértékben befolyásolja az aszfalt pórusszerkezete.

Ha az aszfalt pórusszerkezetébe bele látunk, és teljes mértékben ismerjük, akkor az aszfaltról kiegészítő információt kaphatunk, melyeknek vizsgálata analitikai módszerekkel csak részben lenne lehetséges. Az MSZ EN 12697-6:2012 testsűrűség vizsgálat és a MSZ EN 12697-5:2010 hézagmentes testsűrűség vizsgálat, valamint a MSZ EN 12697-8:2003 hézagtartalom vizsgálat teljes kiváltása és pontosabb meghatározása válik lehetővé a CT-vel.



a) Egy keresztmetszetről készült CT felvétel, és azonos területről készült keresztmetszeti csiszolat [6,7]



b) Aszfalt mintában az adalékanyag-, a hézag- és a kötőanyag-tartalom eloszlása, valamint a réteghatárok azonosítása

5. ábra A minta szegmentálása és kiértékelése a CT felvételek alapján [6,7]

A CT segítségével meghatározható lesz a rétegeken belüli adalékanyag szemeloszlás, ami laboratóriumi vizsgálatokkal nem lehet meghatározni. Mindezek mellett károsodott (repedezett, nyomvályús) szerkezetek vizsgálat is lehetővé válik, amit a laboratóriumi vizsgálatokkal nem lehetett volna elvégezni. A károsodás mértéke is meghatározható lesz, így javításuk is egyszerűbbé válik. A CT által előállított 3 dimenziós

képet digitális formája miatt a végeselemes modellezésekhez is használhatjuk, ami segítségével az útpályaszerkezet teherbírása becsülhető, számítható lehet.

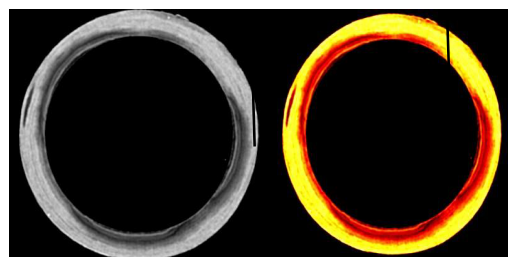
A felvételeken a különböző sűrűségű anyagokat szétválasztottuk, szegmentáltuk (5. ábra). A CT felvételek feldolgozása és elemzése Matlab környezetben írt algoritmusokkal, automatikus módon, előre beállított paraméterekkel történt. Az adalékanyagok, kötőanyagok és a pórusok szegmentálása küszöböléssel (thresholding) történt. A kialakított algoritmusok egyenként elvégzik a CT felvételeken a szegmentálást (Russ, 2011), majd elemzés után előállítják a szeletenkénti térfogatszázalékos statisztikákat. A módszer határai közé tartozik, hogy orvosi CT-vel a 4 mm alatti adalékanyag szemcsék nem szegmentálhatóak, ennek szegmentálása csak mikro vagy nano CT-vel megoldható, de ez építőanyagok esetén a korlátozott minta méret miatt nem, vagy csak nehezen alkalmazhatóak ezek az eljárások.

Aszfalt minta esetén a hézagtartalom eloszlás alapján a réteghatárok is egyértelműen beazonosíthatóak (4. ábra), mivel a réteghatároknál a hézagtartalom jelentősen megnő. Ennek oka, hogy a burkolat készítésekor hideg aszfalt felületre meleg réteget visznek fel, és az összedolgozás során a két réteg között egy nagy hézagtartamú rész keletkezik.

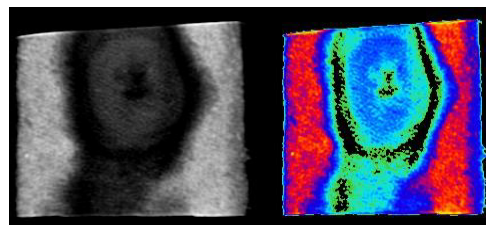
2.3 Gyártási hibák és a leromlási állapot tényleges felmérése [8]

A 6. ábrán az azbesztcement csőről készült komputertomográfiai felvétel látható. A CT felvételen a károsodott helyen a cső teherbíró részének elvékonyodása tapasztalható. A CT felvétellel élességének módosítás után a levált felület jól elkülöníthető a CT képeken, úgy ahogy a metszetről készült fényképfelvételen is. A képen a világosabb színek a magasabb Hounsfield értékű (sűrűségű) területeket adják meg, a sötétebb részek pedig az alacsonyabb sűrűségű részeket. A sűrűség csökkenésből mindig valamilyen anyagszerkezeti leromlásra következtethetünk.

A 6. ábrán a károsodott rész környezetét láthatjuk. Jól látszik, hogy a károsodott a sűrűség értéke jelentősen csökkent, ami azt jelenti, hogy az anyag sűrűsége is jelentősen csökkent. A sűrűségcsökkenés nem egyenletesen következik be, hanem rétegesen, ez a réteges sűrűség csökkenés magyarázza azt a tényt, hogy más roncsolásmentes vizsgálat elég nehezen kivitelezhető.



a) az azbeszt cső keresztmetszete



b) a károsodott rész környezete

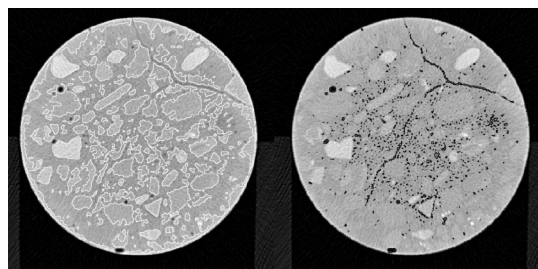
6. ábra Az azbeszt csővekről készült felvételek [8]

2.4 Tűzkárosult betonszerkezetek állapotfelmérése [9,10]

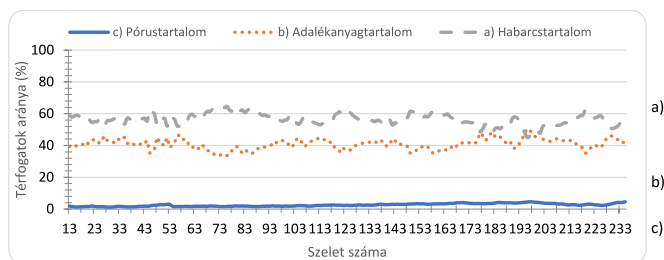
Két órás tűzterhelésnek alávetett, tűzkárosult tübbing elemből magmintát (7. ábra) fűrtünk. A magmintáról CT felvételeket készítettünk. A felvételeken az adalékanyagokat, a cementhabarcsot és a pórusokat szétválasztottuk (8. ábra). A kialakított algoritmusok egyenként elvégzik a CT felvételeken a szegmentálást, majd elemzés után előállítják a 9. ábrán és a 10. ábrán is látható, szeletenkénti térfogatszázalékos statisztikákat. Az eredmények táblázatos formában rögzítjük, és további statisztikai számításokra is lehetőséget biztosítanak, nem csupán szeletenként, hanem a teljes magmintára vonatkozóan is.



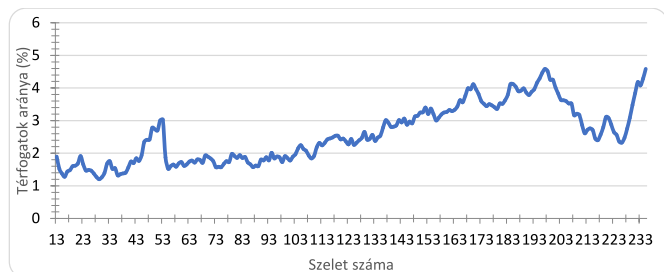
7. ábra A tűzkárosult szerkezetből vett magminta [9]



8. ábra Az adalékanyag- (fehér körvonal) és pórusrendszer (fekete körvonal) CT rétegfelvételén [9]



9. ábra Az adalékanyag, cementkő és a pórusok eloszlása az egyes szeleteken belül [9]



10. ábra A pórusok eloszlása az egyes szeleteken belül (9. ábra felnagyított képe) [9]

A görbéken látható csúcsok azzal magyarázhatók, hogy a szeleteken belül eltérő lehet az adalékanyag és a habarcstartalom. Jól látható, hogy a 100. jelű szelettől a porozitás megnő, ezért a pórustartalmat külön is ábrázoltuk (9. ábra). A 200-230 jelű szeletek közötti alacsony porozitásértéket a magas adalékanyag tartalom magyarázza (lásd 8. ábra b) jelű görbe). Ezek alapján a beton felület felső 100 mm vastagságú része károsodottnak tekinthető, ami szilárdságcsökkenésre utal.

3. Összefoglalás

A CT alkalmazás az építőanyagoknál egy világszínvonalon is új innovatív ötletnek számít, számos ipari megbízás is alátámasztja a kutatás piacképességét és aktualitását. Tekintettel arra, hogy ez egy új kutatási terület nagyon fontos, hogy a régi hagyományos labormérések és az új módszer közötti összefüggést világosan definiálni kell, hogy ez a módszer majd később önálló mérési módszerként is használható legyen. Gondoljunk bele milyen piaci előnnyel járna, ha egy épület, vagy egy híd-szerkezet állapotát egy mérés alapján meg tudnánk határozni.

Az építőanyagok részletes térbeli, belső felépítéséről nehéz megbízható módon, roncsolásmentesen képet alkotni. Optikai vagy elektronmikroszkóppal csak felületi kép készíthető. A mikroszkópos módszerek alkalmazása esetén a minta felszeletelése után lehetőség van egy-egy vékony szeletről további kép készítésére is, de ez meglehetősen időigényes, és a szeletek előkészítésekor megváltozhat a minta belső szerkezete.

A szokványos röntgenképek tartalmazzák a teljes háromdimenziós belső szerkezet vetületi képét, azonban egyetlen ilyen felvételtől nem nyerhető ki a mélységi információ. A számítógépes röntgen tomográfiával (X-ray Computer Tomography, CT) lehetővé válik a képalkotás a teljes háromdimenziós belső szerkezetéről anélkül, hogy szükség volna minta előkészítésre vagy kémiai fixálásra.

Az építőanyagok belső szerkezete számunkra nagyon fontos, hiszen az anyagok tulajdonságait és tartósságát nagymértékben befolyásolja a belső szerkezetük. Nem elég az anyagok (kémiai) megadása, ha az anyagok belső szerkezetébe bele látunk, és megismerjük, akkor sok kiegészítő információt kaphatunk, melyeknek megszerzése analitikai módszerekkel csak részben lenne lehetséges.

A CT alkalmazása az építőiparban forradalmasíthatná az anyagvizsgálatokat, hiszen a tartóssági vizsgálatokat lényegesen felgyorsíthatnánk, a folyamatok pontos megértése alapján

Az anyagok belső szerkezetének háromdimenziós leképezése új lehetőségeket nyújt majd a numerikus modellezésben is.

Irodalomjegyzék

- [1] Földes, T., Kiss, B., Árgyelán, G., Bogner, P., Repa, I. (2000) Application of medical computer tomograph measurements in 3D reservoir characterization EAGE SAID Conference, Paris, France Conference Volume November.
- [2] Bogner P., Földes T., Závoda F., Repa I. (2003) A CT és MR vizsgálatok lehetőségei a szénhidrogénkutatásban, Magyar Radiológia 2003. október pp. 231-237.
- [3] Balázs L. György, Lublőy Éva: Possibilities of computed tomography (CT) for diagnosis of concrete structures In: D Choi, T Tang (szerk.) 6th Int Conference of Asian Concrete Federation, 2014, pp. 34-37.
- [4] Lublőy Éva, Balázs L. György, Kapitány Kristóf, Barsi Árpád, Földes Tamás: Tűzkárosodott vasbetonszerkezet vizsgálhatósága CT-vel, VASBETONÉPÍTÉS 16:(4), 2014, pp. 86-90
- [5] BME Szakértői vélemény, 1000 mm átmérőjű SENTAB CSŐ, Csőtörés: 2012. júl. 1., Budapest XI. ker. Orly utca 2. vizsgálati eredmények és a tönkremenetel lehetséges okai, Készítették: Balázs, L. Gy., Lublőy Éva, Csányi Erika, Czoboly Olivér, 2012 BME reg. szám: 43894 -003/ EA-2012
- [6] Lublőy Éva, Ambrus Dávid, Földes Tamás: Hézagtartalom mérése aszfalt próbatéseken CT-vel MAGYAR ÉPÍTŐIPAR 64:(4), 2014, pp. 161-165
- [7] Lublőy Éva, Földes Tamás, Ambrus Dávid, Kapitány Kristóf, Barsi Árpád: Útpályaszerkezetből vett fűrt magminták szemrevételezése és értékelése CT-vel, ÉPÍTŐANYAG 66:(3), 2014, pp. 64-67
- [8] Czoboly Olivér Attila: Lehetséges leromlási folyamatok ellenőrzése Sentab típusú nagy átmérőjű, feszített vasbeton nyomócső esetén, TDK BME, 2013
- [9] Balázs L. Gy., Lublőy É., Földes T. (2015) Let's look at inside by x-ray computed tomograph (CT), Stuctural Conctere Journal
- [10] NVKP 16-0019 pályázat keretében : Geosoft BT és Tomogeo Kft valamint a BME CT mérési és értékelési kutatási jelentések

Napjaink cementjei, betonjai, alkalmazási területek

DR. NEHME SALEM PhD • BME, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Absztrakt

Az üvegházhatás miatt a CO₂-kibocsátás komoly problémát jelent az egész világon. A fenntarthatóság kritikus kérdés, emiatt sok ország elkötelezte magát a CO₂-kibocsátás csökkentése mellett [1]. A cement- és betontechnológia számos fázisa befolyásolhatja a fenntarthatóságot. A cement gyártása során jelentős mennyiségű szén-dioxid szabadul fel, ami hozzájárul a globális klímaváltozáshoz vezető üvegházhatású gázok kibocsátásához. A kiegészítő kötőanyagok (SCM) alkalmazása, a minimális cementtartalmú betonkeverékek aránya, valamint a beton tartósságának növelése a fő szempont a betonipar fenntarthatósága felé.

A természetes puccolának kémiai tulajdonságai és a puccolán aktivitása lelőhelytől függően változik. Ezen anyagok puccolános aktivitása szilíciumtartalmú összetevőikkel és fizikai hatásaikkal függ össze.

A kiegészítő kötőanyagokat (SCM) széles körben használják betonkeverékekben a cement helyettesítésére a betonban és a habarcsban. Ez a beépítés kedvező, mivel csökkenti az összköltséget, kiküszöböli a környezeti hatásokat, növeli a hosszú távú szilárdságot és tartósságot.

Kulcsszavak: CO₂, fenntarthatóság, Cement, Beton, tartósság, karbonlábnyom

1. Bevezetés

A mostani rohanó és gyakran változó világban az építőiparban is lépést kell tartania a változással, emiatt az építőanyagokat gyártó cégek is fel kell venniük a kesztyűt. Újabb, innovatív termékeket kell előállítaniuk. Figyelembe véve a fenntarthatóságot, az életciklus szemléletet, a karbonlábnyomot és akár nullára csökkenteni a CO₂ kibocsátást. A kutatóknak készenlétben kell lenniük és segíteniük kell az újabb szabályozások előkészítését.

Sok munkát a kivitelezők már csak úgy nyernek el, ha igazolni tudják, hogy mennyivel csökkentették a kibocsájtott szén-dioxid mennyiségét az építőanyagok, elsősorban a beton alapanyagainak, a cementnek a kiválasztása során. Elfelejtkeznek a kalciumhidroxid körforgásról (beton karbonátosodása), az erdők telepítésének fontosságáról, amelyek mind fontos szerepet játszanak a széndioxid megkötésében. Ha megfelelő minőségben, tartósabb építőanyagokat állítuk elő, akkor hosszabbítjuk az élettartamot.

A fentiek alapján a szakmának az alábbi fő feladatokkal kell foglalkoznia:

- Innovatív alkotó anyagok fejlesztése,
- A beton tulajdonságainak és teljesítményének javítása,
- A beton típusai és a hozzájuk kapcsolódó eljárások, üzemek és az építőiparban való felhasználásukra vonatkozó technikák,
- Tesztelési (vizsgálati) és minőség-ellenőrzési folyamatok.

2. Cement kiegészítőanyagai

A karbonlábnyom csökkentése miatt az Európai Unió megfogja tenni a szükséges lépéseket, új szabályokat fog létrehozni, hogy megszüntesse, vagy a minimálisra szorítsa a CEM I típusú cement gyártását. Ha a II. típusú kiegészítőanyagok mennyisége (kohósalak, pernye) is csökken az erőművek bezárása miatt, akkor 2 lehetőségünk lesz:

1. I típusú inert anyagok pl. mészkőliszt, bazaltliszt, kvarcliszt....
2. II típusú puccolános anyagok alkalmazása (pl. perlit, zeolit, trassz...), amelyeknek a vízmegkötő képessége magas, így a cement eltarthatóságát és minőségét is befolyásolják, emiatt újabb szabályokat kell készíteni, hogy a betonüzemekben lehessen adagolni és a betonüzemi kötőanyag egyenértékű legyen a mint a cementgyárakban készült cementek, természetesen megfelelő minőség-ellenőrzés mellett.

A karbonlábnyom csökkentése érdekében a betonüzemek szerepe felértékelődik, ami aztán újabb irányelvek kidolgozásához vezethet. Amennyiben ez így alakul (a tendencia ezt mutatja), akkor az MSZ 4798:2016 és MSZ 4799 (2023 december) szabványokat és azok mellékleteit akár évente felül kell majd vizsgálni. Továbbá bővíteni és kiegészíteni kell majd, hogy aktualizálni tudjuk a jövő elvárásainak, pl. ha egy betonüzem CEM I vagy II típusú cementhez fog adagolni bármilyen kiegészítő anyagot, akkor azt hogyan lehet összevetni a cementgyári szabványos cementekkel, mert egyelőre csak a cementgyárak adhatnak ki teljesítmény nyilatkozatot a cementekről.

Nagy munka áll előttünk. Önzetlenül, mindent beleadván kell tevékenykednünk a szakma és az Országunk érdeke miatt. A szakma széleskörű összefogására van szükség, mert egy szervezet vagy egyetem önmagában nem tudja megoldani a feladatot. Eddigi tapasztalataim alapján sajnos kevesen vagyunk, akik részt vállalunk ebben a nemes feladatban, de reméljük a jövőben ez változni fog.

3. Beton fajták

Több „új” fajta betont ismerünk pl. újrahasznosított betonok, öntömörödő betonok, 3D nyomtatott betonok, szálerősítésű betonok, nagy és ultra nagyszilárdságú betonok, de sajnos az elterjedésük sok akadályba ütközik pl. szakértelem hiánya,

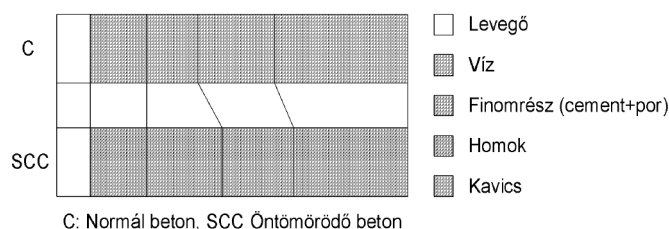
nem megfelelő minőségellenőrzés, ragaszkodás a hagyományos megoldásokhoz (Ha eddig így csináltam, most miért kell változtatnom...).

3.1 Újrahasznosított betonok

Az elterjedését elsősorban gazdasági (drágább) és minőségyenletőségi (inhomogénebb) okok gátolják, de ezen felül a nem megfelelő szabályozási rendszerek is gondot okoznak. Az „óbeton” elszállítása, aprítása és visszaszállítása, a megfelelőség igazolása okozhat nehézséget. Itt jön a hatóság szerepe, hogy mennyire tudja segíteni ezt a folyamatot. Nem csak a követelmények és a büntetések (pl. aprítás közben a felszálló por felfogásában) kiszabása a feladata.

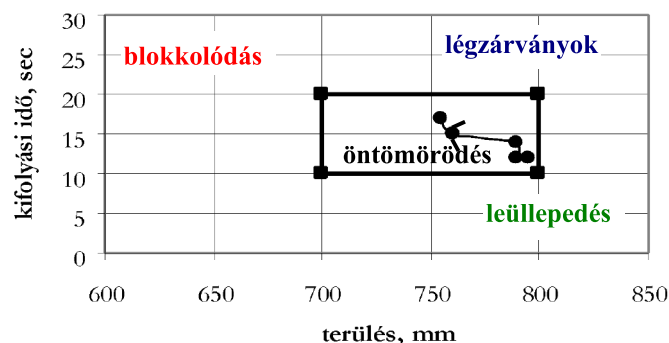
3.2 Öntömörödő betonok

A szabályozás hiánya miatt sokáig nem lehetett alkalmazni a hídépítésben. A 2023 áprilisban hatályba lépő új e-Út előírásai alapján már lehet. Japánban és a világ többi részén a nagyvárosokban a zajterhelés csökkentése miatt magas arányban használják.



1. ábra A normál beton és az öntömörödő beton összetevői [V %], [2]

Az öntömörödő betonok konzisztenciáját (terülését) és kifolyási idejét kell mérni. Öntömörödő betonként akkor működik jól a keverék, ha a négyzet által határolt terület belső tartományba esik (lásd 2. ábra).



2. ábra Az öntömörödő beton bedolgozhatósági tartománya

Az öntömörödő beton érzékenyebb a vízadagolásra, az alapanyagok homogenitására (pl. fajlagos felületre, adagolás pontosságára). Szigorúbban kell venni a korlátokat, mint a betonszabványban adott tartományok.

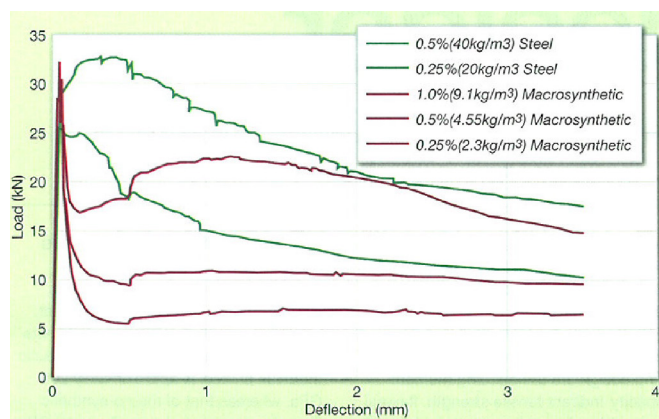
3.3 3D nyomtatás

A digitalizáció és a digitális technológia az építőipar minden ágazatát elérte, a hagyományos vasbeton építési módot is beleértve. Folyamatosan nő az érdeklődés a digitális eszközök, a

folyamatok és a 3D betonnyomtatás iránt is. A digitalizáció az új irány és a hajtóerő, amelynek célja a termelékenységek javulása és az építésiidő.

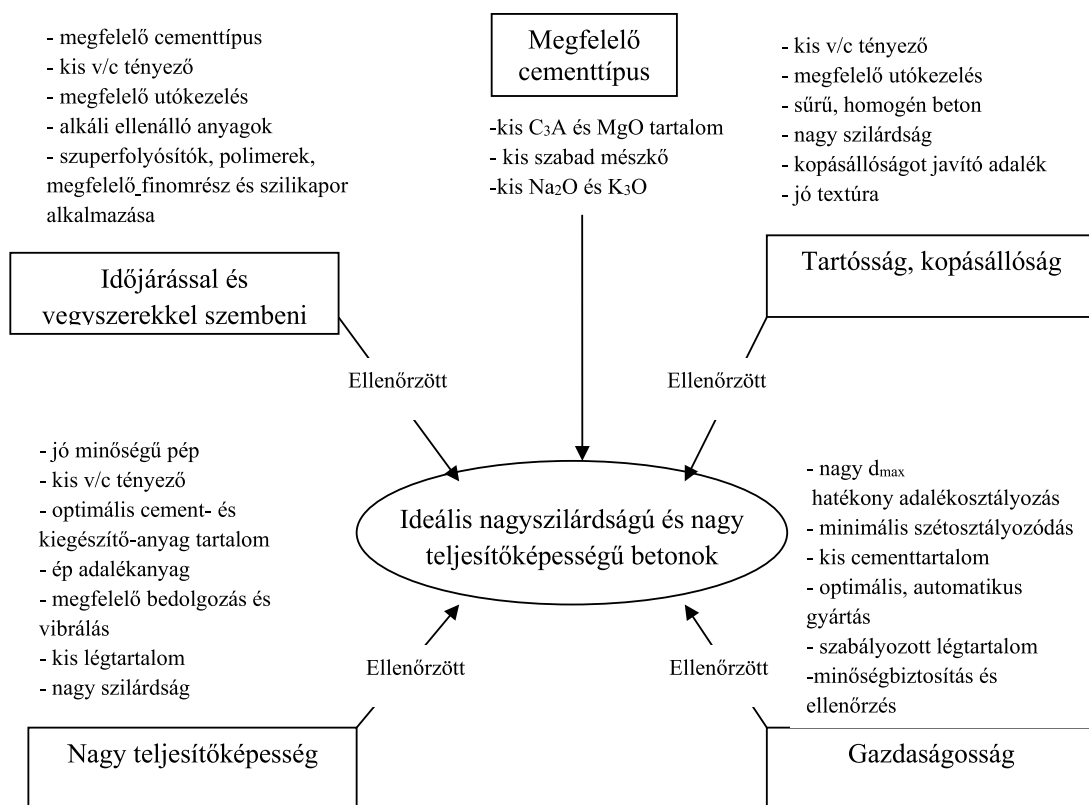
A 3D betonnyomtató egy olyan eszköz, amely különféle beton alapanyagok felhasználásával külön öntőforma nélkül képes megvalósítani számítógépes 3D-s modelleket. A 3D betonnyomtatásnak nevezett technológia meghatározása nem minden esetben pontos, ugyanis a hagyományos beton nem alkalmas 3D nyomtatásra. Eltömítené a fúvókát és az extrudált réteg eldeformálnának a következő réteg súlya alatt, továbbá nem tapadnának megfelelően egymásra. A jelenleg rendelkezésre álló technológiák és anyagok egyedi. A Loughborough-i kutatócsoport szabadalmaztatott 3D betonnyomtatási (3DCP) technológiát fejlesztett ki teljes körű építőipari és építészeti alkalmazások gyártására. A 3D betonnyomtatás akkor fog tudni széles körben elterjedni, ha a rendelkezésre álló olcsóbb helyi alapanyagokból betontechnológus szakértelmével lehetőség nyílik alacsonyabb költségű szerkezetek és épületelemek gyártására. Ha egy betontechnológus 3D betonnyomtatással szeretne foglalkozni, akkor alaposan meg kell ismerni az alapanyagok tulajdonságait, viselkedését, hogy az alkalmazási területnek leginkább megfelelőt tudja kiválasztani. Figyelembe kell venni az alkalmazhatósági lehetőségeket. Például tömegbetonnak nem használható, a magas cement és finomrész tartalma miatt magas a hidratációhoz fejlődése is, ami repedéseket okoz. Alkalmas lehet azonban bonyolult geometriájú homlokzati panelek kialakítására, amelyet nem lehet költséghatékonyan előállítani a hagyományos eljárásokkal. A hagyományos betonozással ellentétben a betonnyomtatás helyigényesebb folyamat. Gyakran több méter magasságot, szélességet és hosszúságot is be kell járnia a fúvókának miközben extrudálja a betont. Emiatt a 3D betonnyomtatók általában portális vagy robotkaros rendszerben készülnek.

3.4 Szálerősítésű betonok



3. ábra Szálerősítésű betonok erő lehajlási diagramjai [3]

Világszerte egyre több helyen használnak szálerősítésű betonokat. A szálak előnyös tulajdonságainak kihasználása hazánkban is előtérbe került. Habár nálunk eddig a szálajták közül az acél szálak terjedtek el nagyobb mértékben, a műanyag (szintetikus) szálak alkalmazása az utóbbi időkben kezd felzárkózni. Ennek az az oka, hogy sajnos még ma is mindkét száltól ugyan-



4. ábra Nagyszilárdságú betonok követelményei [4]

azt a hatást várják el, holott e két típusnak a betonra gyakorolt hatása élesen eltérő. Míg az acél szálakat, ill. nagy húzó-szilárdságú szálakat elsősorban a beton szívósságának növelésére, addig a műanyag mikorszálakat a fiatal beton tulajdonságaira kifejtett hatásuk miatt és az utóbbi időben a makroszálak a beton szívósságának kismértékű növelésére is alkalmazzuk.

A térbetonok illetve az iparipadlók is hajlamosak a repedésekre, aminek okai lehetnek a képlékeny ülepedés, zsugorodás a túlzott kivérzés miatt, vagy a korai- gyors kiszáradás miatti zsugorodás, plasztikus zsugorodás, térfogatnövekedés, technológiai okok, stb. [5]

3.5 Nagy és ultra nagyszilárdságú betonok

A betonokat elsősorban a nyomószilárdságuk szerint szokták osztályozni. Az MSZ 4798:2016 betonszabvány nagyszilárdságú betonnak nevezi a C55/67 – C100/115 közötti betonokat.

A nagy és ultra nagyszilárdságú betonok készítéséhez több névleges magasabb szilárdságú cementet kell használni, azonban így a karbonlábnym szempontjából nem biztos, hogy megfelel az elvárásoknak. Azonban fontos megjegyezni, hogy a tartósság és az élettartam jelentős növekedése is a karbonlábnym csökkentését eredményezi oly módon, hogy a használati élettartamot növeli. A nagy és ultra nagyszilárdságú betonok készítésekor figyelembe kell venni a 4. ábra tartalmát.

4. Összefoglaló

Az a cél, hogy a szakemberek ne csak a betontechnológia területén belül szerezzenek mélyreható ismereteket a legkülönbözőbb témákról, hanem minden más építőanyag gyártását

is ismerjék. Azért, hogy a gyártás során keletkező selejt vagy melléktermékek kiküszöbölhessék vagy újra fel tudják használni akár egy másik folyamat alapanyagaként.

A szakma magas szintű gyakorlóinak az egyetemekkel együttműködve minél hamarabb pillanatképet kell adniuk a beton világának a jelenlegi és várható jövőbeni helyzetéről. Remélem, hogy a szakmai újságok rendszeres időközönként felülvizsgálatot tartanak, hogy megfelelően tükrözni tudják az anyagok, technikák, új technológiák (pl. 3D betonnyomtatás) és szabványok változásait, továbbá a digitalizáció terén az építőiparban való erős lemaradásunkat a többi ágazatokhoz és országokhoz képest is be kell hozni. Digitalizáció segítségével a munkaerő és a szakértelem hiányát tudjuk pótolni.

Irodalomjegyzék

- [1] B. Ozer, M. Hulusi Ozkul (2004): The influence of initial water curing on the strength development of ordinary. Portland and pozzolanic cement concretes, Cement and Concrete Research, 34, (1), 2004, 13-18.
- [2] Okamura, H. and Ouchi, M. (2003): „Self-compacting Concrete”, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5-15, April 2003.
- [3] Ratcliffe, R (2009): Steel fibre reinforced concrete (SFRC) for tunnel segments, Australian Tunneling Society april 2009
- [4] Edward G. Nawy (1996): „Fundamentals of high strength high performance concrete” Logman Group Limited pp.23
- [5] Salem G. Nehme (1996): Sugárvédő beton minőségellenőrzése és hőmérséklet ellenőrzése, Proceedings 1st International, PH. D. Symposium, Bp., May 1996.

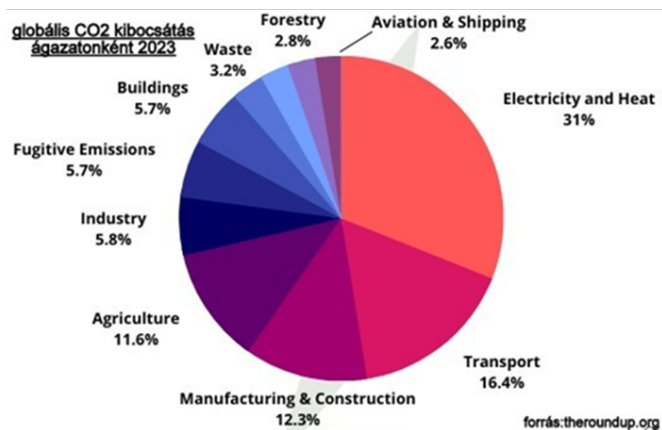
Korunk hőszigeteléseinek energiahatékonysága, szerepük a körforgásos gazdaságban

VÉSZTŐI ZOLTÁN • SZTE Szigetelő Szakosztály

1. Túlfogyasztás és klímamelegedés.

A klíma felmelegedését legnagyobb mértékben az energiafogyasztás és az ezzel járó üvegházhatású gázok kibocsátása okozza. Az Európában elfogyasztott energia 41%-a az épületek üzemeltetésére fordítódik, amelyből 75%-ot a fűtés-hűtés energiaigénye teszi ki.

Magyarország az idén május 25.-n érkezett az ökológiai túllövés napjához, az év további részében a jövő generációi részére fenntartott erőforrásokat fogyasztjuk. Ez a nap az EU-ban május 5.-e, míg a globális túllövés napja augusztus 01.-re esik.[1] A túlfogyasztás és a klíma felmelegedése visszafordíthatatlan folyamatokat eredményez a föld valamennyi biomsziszterében. Az IPCC 2023-as jelentése [2] a század végére a minimum 1,5-2,0 °C-os átlaghőmérséklet emelkedést tényként kezeli. A Kárpát-medence vonatkozásában egy a kormány által 2020-ban elfogadott jelentés [3] alapján 2100-ra akár 3,5-4,5 °C fokkal is emelkedhet térségünk átlaghőmérséklete. Mindeközben a CO₂ kibocsátás tovább nő, 2023-ban rekordmagasságot ért el [4]. Azonnal cselekedni kell! Magyarország az EU klíma-rendeletben vállalta, hogy 2050-re karbonsemlegessé válik, az erre irányuló tervek most készülnek. Az üvegházhatású-gáz kibocsátó iparágak közül az energia szektor és a közlekedés mögött az építőipar a legszennyezőbb, a globális kibocsátás 39% ért felel. (1. ábra)



1. ábra

A karbonsemleges építőanyagok alkalmazásával, az épületek energiaigényének csökkentésével hatékony eredményeket lehet elérni. Erre szükség is van, mert Magyarországon 2024-től az új épületek csak közel nulla energiaigényűek lehetnek, a 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet a műszaki feltételeket, az EU-s EPBD szabályozás pedig energetikai irányelveket írja elő. Ez év március 12.-n frissült az EPBD, amely hatalmas előrelépés-

ként tartalmazza az épületek teljes-élettartamú széndioxid kibocsátás (WLC-Whole Life Carbon) kezelését. Kötelezően a teljes épületre vonatkozóan egyelőre csak az üzemeltetéssel kapcsolatban felmerülő nem megújuló energiaigénnyel és CO₂ kibocsátási értékekkel kell foglalkozni, amely azonban nem vezet helyes eredményekhez. Pedig a célok egyértelműek: energiatakarékosság és környezetvédelem.

2. A szigetelés meghatározása

Az épületek hőtechnikai számításait az MSZ 24140 alapján lehet elvégezni, ez már tartalmaz nedvességtechnikai-állagvédelmi ellenőrzést is. A hőszigetelőanyagok fizikai tulajdonságai nagymértékben függenek a hőmérséklettől és a páratartalomtól. Az MSZ EN ISO 10456 ad segítséget a deklarált értékek átszámításához, igaz csak 0-30 °C átlaghőmérséklet között érvényesen. A szabványok használata önkéntes, bármilyen a fizika ismert és bizonyított törvényei szerinti számítás is elfogadott megnyitva az utat a haladó innovatív megoldások előtt. Az épületfizikai számítást egyszerűsített vagy részletes módszerrel lehet elvégezni. Az egyszerűsített (gyakorlatilag kézi) számítás ugyan elfogadott az épületminősítésknél, azonban csak nagyságrendileg ad pontos eredményt és nem minden esetben igaz az az általános vélekedés, hogy a biztonság javára téved. [5] A részletes számítás lehet stationer állapotban numerikus végelelemes módszerrel vagy időben változó dinamikus szimulációval. Ez utóbbi veszi figyelembe a legtöbb fizikai folyamatot, így legjobban közelíti a valóságot, azonban minden számítás csak annyit ér, mint amennyit a bemenő adatok érnek. Az adatoknak pontosnak és megbízhatónak kell lenni, azonban az építőanyagok legalapvetőbb fizikai tulajdonságairól korlátozottan állnak rendelkezésre mért adatok, pedig nagy szükség lenne minden esetben a szorpciós és deszorpciós izotermákra, a hő- és páradiffúziós tényezőkre, a nedvességtartalomtól függő hővezetési tényező diagramokra. A számítástechnikai erőforrások növekedése és a szimulációs szoftverek bővülése ellenére a tervezőmérnökök az anyagok és a rétegrend kiválasztásánál többnyire az általuk jónak gondolt „jól bevált” panelekkel dolgoznak. A hőszigetelés kiválasztása legtöbbször a deklarált hővezetési tényező és a költségek alapján történik. Ez tévedés! Az ennyire leegyszerűsített megközelítés rendkívül káros, magával hozva az egyébként újépítésű házak külsőfelületi algásodását belső oldali penészesességét és a betegház szindrómát. A hővezetési tényező az állandósult állapotokat jellemzi, ami egy épületnél sohasem valósul meg, az időben változó hőáramlási viszonyokat a hődiffúziós tényező írja le. Ezen

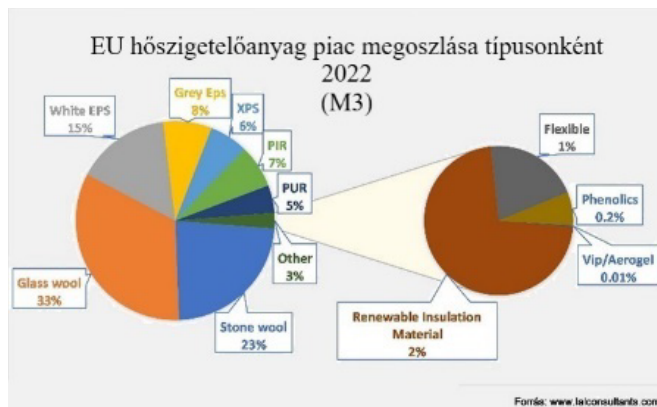
anyagjellemző szerinti összehasonlítás sem helyes bár a valóságot jobban közelíti, ugyanis egy adott szigetelés hatékonysága nagyban függ a szerkezeti kialakítástól, bonyolultságtól, a nedvességtartalomtól, pára- és nedvességvezetési képességtől, a földrajzi helytől.

Az épületeink egyre bonyolultabbá válnak és minden egyes hatással van az összes többire, így a komplex méretezés, valamint az épületautomatizálás következmények nélkül megkerülhetetlen, legyen szó high-tech, öko-tech, smart-tech/slow-tech vagy low-tech építészetéről. A három jól elkülönülő irányzatnak közös céljai vannak: fenntartható, környezettudatos és energiahatékony épületek létrehozása. A legszélesebb körben alkalmazott módszer a számítógépes szimulációval támogatott, korszerű anyagokkal, a modern épületszerkezetekkel a lehető legracionálisabb megoldást kereső smart-tech/slow-tech. Mivel az anyaghasználata a nagyipari tömegtermelésen alapul, magas gépészeti kitettség mellett a belső és külső környezet teljes elszigetelésére törekszik és nagyon sok kompozit anyagot használ, ezért a hosszútávú fenntarthatósága kérdéses. Sokkal nagyobb potenciál rejlik a másik két irányzatban. A high-tech kutatásokon alapuló rendkívül összetett szempontrendszerű, a fizikai folyamatok/tünemények ötletes kihasználásával, a gépészeti berendezések minimalizálásával, de teljes automatizálással csökkenti a környezeti terhelést és az energiaigényt. Az egészséges otthon teremtése és a természet megóvása jellemzi a környezettel szoros kapcsolatban álló low-tech építészetet. Magas élőlátás igényével, helyi hagyományokon nyugvó, első sorban helyben elérhető anyagokat használó építészet, ami korszerű is lehet. Magyarországon is van már ilyen technológiával készült passzívház, egészen pontosan szalmabála napház. Fontos megemlíteni, hogy a low-technél használt anyagok természetes ásványi vagy megújuló növényi és állati eredetűek, amelyek karbonlátnyoma a teljes életciklusra vetítve legtöbbször negatív. A hőszigetelésük tekintetében sok esetben kedvezőbbek az általánosan használt szigetelőanyagoknál, mivel hőcsillapításuk, hőkéssleltetésük két-háromszorosa az utóbbiaknak. Ez a nyári túlmelegedés kockázatát csökkenti. A mai lakóépületek többségét az uralkodó trend szerinti légtömör épületburok, a statikai állékonyaságig elvékonyított falazat, a kedvező áron kínált műanyaghab hőszigetelés vastagságának minden határon túli növelése, a páradiffúzió szerkezeti kialakítás jelentőségének elbátortellizálása és a tökéletlen szellőztető rendszer – már ha van egyáltalán – jellemzi. Legalább a kényes csomóponti kialakításokra kellene nagyobb figyelmet fordítani, mert kerámia falazóelemeken alkalmazott nagy páradiffúziós ellenállású külsőoldali szigetelések bizonyos helyeken – pl.: nyílászáró-fal csatlakozási környezetében – páratartóldáshoz vezetnek és nedvességhidak alakulnak ki, amelyek csökkentik a szerkezet hőellenállását [7].

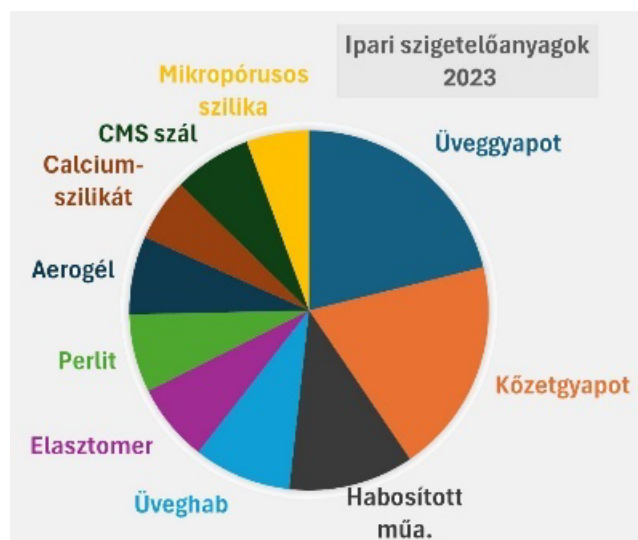
3. A szigetelőanyag-piac

A globálisan leggyártott hőszigetelő anyagok mennyisége jelentős: 274,2 millió m³/év (2022), ebből Európa cca. 25%-al veszi ki a részét. (2.ábra) Az épület-hőszigetelő piacot három anyagfajta uralja hasonló arányban, ezek a műanyaghabok, az kőzetgyapotok és az üveggyapotok. [6] Az összes többi szige-

telőanyag 3%-os részesedéssel osztozik. Ezek között találjuk a megújuló természetes anyagokat, mint a fagyapot, cellulóz, kender, szalmabála, gyapjú, parafa és a környezetbarát ásványi hőszigetelőanyagokat mint a perlit vagy a vermikulit.



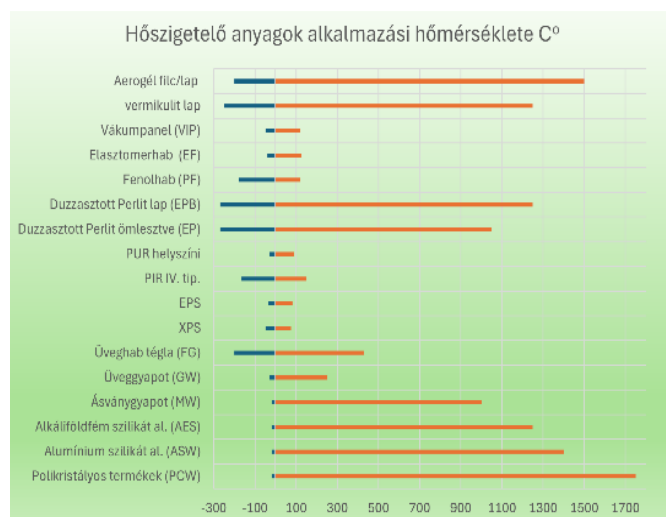
2. ábra



3. ábra

Az ipari hőszigetelések piaca más összetételű, a magas műszaki követelmények miatt az ásványi eredetű szigetelőanyagok kerülnek előtérbe. (3.ábra) Tűzálló szigetelésként 600 °C-ig alkalmazható a kőzet- és üveggyapot, magasabb hőmérsékletekre duzzasztott perlit, vermikulit, kalciumszilikát szigetelőanyagok felelnek meg. A kőzetgyapothoz hasonló technológiával gyártott kalcium-magnézium-szilikiumoxid (CMS) tűzálló anyagok az azbeszt kiváltására lettek kifejlesztve. Egyik nagy csoport a szervesetlen mesterséges amorf alumínium-szilikát tűzálló kerámia szálak (RCF). Ezek közé tartoznak a környezetbarát alkáli-alkáliföldfém-szilikát alapanyagú (AES) szigetelőpaplanok, az alumínium-szilikát gyapotok (ASW), táblák és idomok, valamint a legmagasabb hőűrésű Polikristályos gyapotok (PCW), amelyek 63% feletti alumíniumoxid tartalmúak. A gyapotok sűrűsége 60-165 kg/m³, a formázott termékeké 200-700 kg/m³. Tűzálló kötőanyaggal és vermikulit vagy perlit ásványi szigetelőanyagokkal készült lapok, csőhéjak 1000-1200 °C-ig használhatók. A legújabb hazai innováció a cementmentes puccolános kötőrendszerű perlit építő-

lemez. Az ipari technológiák kriogenikus szigetelésének leggyakrabban használt anyaga a kriogen duzzasztott perlit és a mikropórusos aerogél filc. A habosított műanyagok leggyakrabban az épületépészeti és technológiai csővezetékek hidegszigetelési területén használatosak. (4. ábra)



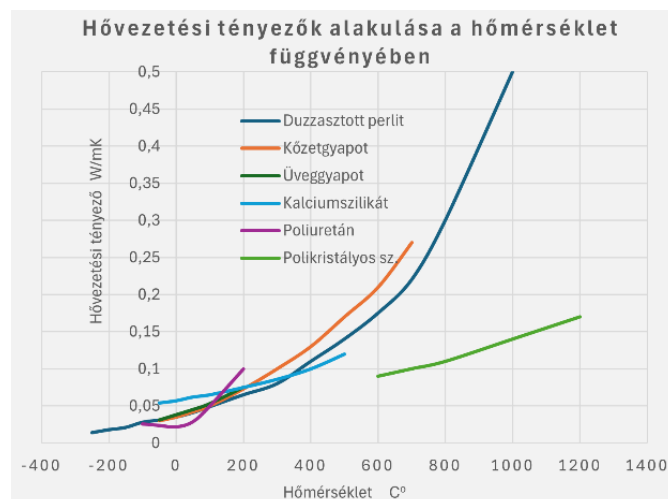
4. ábra

4. Hőszigetelőanyagok energiahatékonysága

Az energiahatékonyság jelentése egyszerű megfogalmazásban az energia hatékony termelése és felhasználása. Szigetelőanyagok esetén ráfordításként a termék alapanyagainak jövesztését, gyártást, beépítést, karbantartását, majdani bontását, újrahasznosítását vagy ártalmatlanítását, és az ezekkel kapcsolatos logisztikát foglalja magában. A nyereség pedig a megtakarított hűtési-fűtési energia, kevesebb ÜHG kibocsátás, komfortos lakótér.

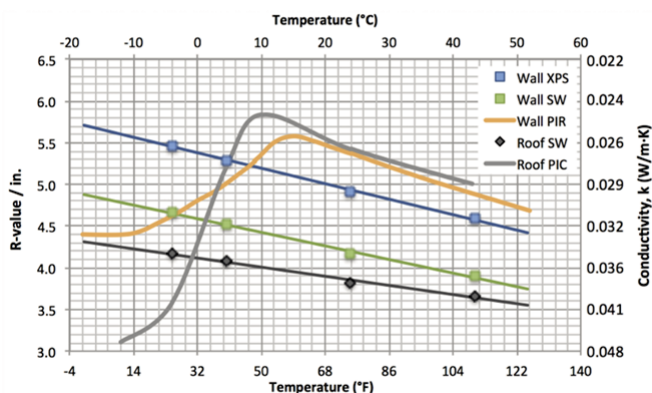
A szigetelőanyag energiahatékonyságának vizsgálatakor tudnunk kell, hogy a közétett λ érték nem tükrözi megfelelően a használati állapotot és a hőhíd csak egy tényező, ami befolyásolja az épületszerkezet teljesítményét, ezzel nagyságrendileg összemérhető hatású a hőmérséklet, a nedvességtartalom, a sűrűség, az öregedés, a hőcsillapítás, a hőkeletetés, a légmozgás, a nyomás és persze a szigetelés vastagsága. A nagy hőmérsékleti különbségek miatt ez az effektus az ipari szigeteléseknél halmozottan jelentkezik. Érdekes jelenség, hogy a hőmérséklet emelkedésével az elektromosan vezető anyagok egyre hőszigetelőbbé válnak, míg a dielektrikumok egyre hővezetőbbek lesznek. Általánosságban elmondható, hogy a szálas anyagok érzékenyebbek a hőmérséklet-nedvesség-sűrűség változásra. A legtöbb anyagnál a függvény közel lineáris, kivételt képeznek a zártcellás habosított szigetelések. A hővezetési tényező kedvezőtlen változását eleinte a habosítógáz fázisváltásai, majd az öregedés során a cellákból elillanó gáz helyét kitöltő levegő okozza. Korábban halogénezett szénhidrogéneket használtak a habosításhoz, mint triklór-fluor-metánt (R-11 vagy CFC-11), azonban ózon lebontó képességük miatt a Montreáli jegyzőkönyv tiltó listára tette ezeket. Egy habosítószer alternatíva a ciklopentán (CP70, CP85), amelynek hővezetési képessége 0,012 W/mK, tehát ennek a nagy molekulású gáznak köszönheti a PIR hab a

kiváló $\lambda_d = 0,022$ W/mK körüli értéket [8]. A zártcellás polisztirol (XPS) duzzasztásához CO_2 gázt ($\lambda_{\text{CO}_2} = 0,016$ W/mK) használnak, azonban az öregedés során bekövetkező gázcsere ezeket is érinti. Ez a hatás jelentős, akár 15-38%-os szigetelőképeség romlást idézhet elő [9]. A magasabb hőmérsékleteken jelentős a hőszigetelő képesség csökkenése, erre mutat példát a (5. ábra). Az épületszigetelési hőmérséklet tartományában is számolnunk kell ezzel effektussal, a leggyakrabban használt szigetelőanyagokat mutatja az (6. ábra).



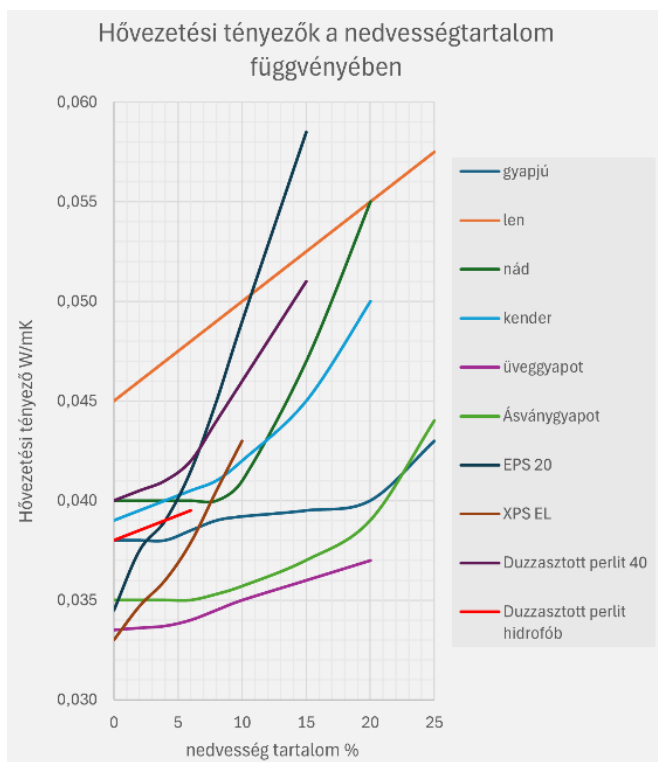
5. ábra

Hővezetési tényező változása a hőmérséklet függvényében fal és lapostető szigetelés esetén



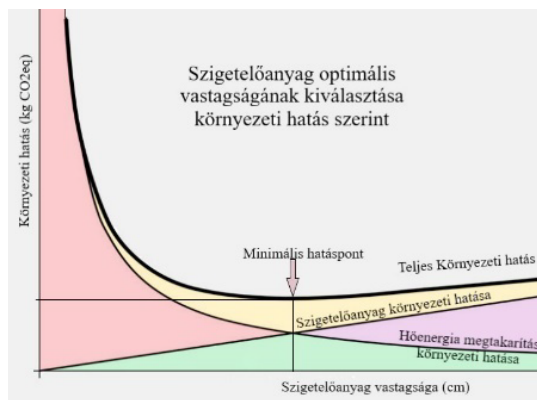
6. ábra

Épületek esetén a szerkezetben a nedvességtartalom vizsgálata az egyik legfontosabb állagvédelmi kérdés. A szigetelőanyagok nedvességtartalma nagyobb hatással van a hőellenállásra mint a hőmérséklet, ennek ellenére kevés figyelmet kap [10]. A szigetelőanyagok nedvességtartalom-függő hővezetési tényezőit (7. ábra) mutatja. A szigetelőanyagok kiválasztásánál a hőszigetelési teljesítményt, a karbonlábnyomot és az egészségügyi kockázatokat is figyelembe kell venni. A természetes megújuló és ásványi szigetelőanyagok közel azonos vagy adott használati helyzetben jobb értékekkel bírnak, mint a habosított műanyagok.



7. ábra

Minden külső hőszigetelési rendszernek van egy optimális vastagsága. (8. ábra) A szigetelésvastagságot nem növelhetjük minden határon túl, mert egy bizonyos érték felett $CO_{2\text{effektív}}$ kibocsátás valósul meg. Ezt olyan tényezők befolyásolják, mint az adott ország energia struktúrája, a termék bontási-ártalmatlanítási-újrahasznosítási potenciálja. A hamarosan kötelező érvényű teljes életciklus-értékelési megközelítés egyensúlyba hozza a hőtermelés és a szigetelés környezeti hatását az épület élettartama alatt, jobb betekintést nyújtva az épület szigetelési vastagságának optimalizálásába. Ez az összefüggés jól ábrázolható a teljes életciklus hatásgörbéjével.

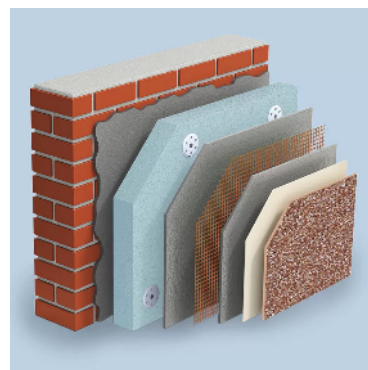


8. ábra

5. A körforgásos gazdaság: kevesebb nyersanyag, kevesebb hulladék, alacsonyabb kibocsátás.

Az épületek primer üzemeltetési energiaigénye évről évre csökken [11] és 50 év távlatában a beépített energia hamarosan

meg fogja haladni az üzemeltetési energiát. Az épületekhez felhasznált anyagok környezeti hatása előtérbe kerül, erről adnak információt az egyre gyarapodó számú Környezetvédelmi terméknnyilatkozatok (EPD). Az anyagok EPD-i különböző hatások potenciáljait tartalmazza, mint felmelegedési potenciál (GWP), ózon lebontó potenciál (ODP), abiotikus kimerülési potenciál (ADPF) stb. Az EPD alapja az életciklus elemzés (LCA), ez öt szakaszt tartalmaz, mint termékelőállítási fázis (A1-A3), az építési fázis (A4-A5), az üzemeltetési fázis (B1-B7), az életciklusvégi fázis (C1-C4) és az újrahasznosítás fázis (D). Az A-B fázisok mérhetők és számíthatók a C-D fázisok sok becslést és feltételezést tartalmaznak. Nagyon fontos az LCA-k határainak és az allokációknak a tisztázása, e nélkül az EPD adatait és eredményeit felhasználói szemmel nem lehet értékelni. Az LCA lehetőséget ad a környezetbarát szó kiterjesztésére! Sajnos néhány család építőanyag-gyártó/kereskedő olyan termékeket tüntetnek fel természet- és klímabarát színben, amelyek nem használhatók újra, és jelen tudásunk szerint 50-70 év múlva a kezelésük irgalmatlan erőforrásokat fog igényelni vagy ökológiai katasztrófát okoznak. Még egy nagyon fontos tényezőt meg kell említenünk ez pedig az adott szigetelőanyag beépítésének bonyolultsága és a felhasznált segédanyagok mennyisége, elbonthatósága, visszanyerhetősége. A ma elterjedt táblás hőszigetelési rendszerek valójában többrétegű kompozit anyagoknak tekinthetők. (9. ábra) Jellemzően 5-8 féle gyakorlatilag egymástól elválaszthatatlan rétegből és 3-5 féle segédanyaggal épülnek fel, műanyag, üveg, fém, homok, mész műgyanták, pigmentek, cement, gipsz stb. felhasználásával. Az ásványi-szerves kompozit bontott anyagok hulladéklerakóban történő ártalmatlanítása nem lenne lehetséges, viszont a nehéz égethetőség a füstgázkezelés és a visszamaradó nagy salakanyag arány miatt a termikus hasznosítás sem jó megoldás. A svájci *Büro für Umweltchemie* tanulmánya [12] alapján a szigetelőanyagoknak csak elenyésző része kerül vissza a körforgásba.



9. ábra

A polisztirol épületszigetelések építése 1957-ben indult el. Az első épületek bontásra-felújításra érettek, a lebontott szigetelés homogén anyagokra szétszerelhetetlen kompozitnak tekinthető, a rögzítő-kiegészítő elemek nagy nehézségek árán távolíthatók el. A polisztirolok égésgátlásához 2017-ig hexabrom-ciklodekánt, HBCD-t használtak. A Bázeli egyezmény és az ENSZ Stockholmi egyezménye alapján a HBDC-vel szennyezett EPS és XPS hulladékok mechanikus újra hasznosítása nem lehetséges, csak egy költséges égetéssel lehet meg-

szabadulni tőlük. Több mint két évtizede folynak kutatások más alternatív módszerek kidolgozására, ennek eredményeként 2021-ben felépült egy kísérleti feldolgozó üzem a hollandiai Terneuzenben. A régóta ismert oldószeralapú tisztítási/oldási technológián alapuló újrahasznosítás biztató eredményei ellenére a projekt nyolc hónap után érthetetlen módon sajnos csődbe jutott. További lehetőségek, mint a deplomerizáció vagy a pirolízis még nem kiforrott, és a visszamaradó salakanyag további kezelést igényel. Építéskor az EPS, XPS 6-8%-a hulladék lesz, ezek visszavételi rendszerének kidolgozása elengedhetetlen. Magyarországon a gyártók közvetlenül nem veszik vissza az építéskor keletkező szélhulladékot, pedig ez is 100%-ban felhasználható lenne más új termék gyártásához.

A habosított poliuretánok PUR, PIR régóta használatosak a technológiai berendezések, csővezetékek, háztartási gépek hőszigeteléseként. A körforgásos gazdaságban betöltött szerepükkel kapcsolatban tudnunk kell, hogy a PUR és PIR habokat szinte lehetetlen újra PUR/PIR szigetelőanyaggá alakítani még a vágási hulladékok sem vezethetők vissza a gyártási láncba. Tipikus ártalmatlanítási módjuk a termikus újrahasznosítás égetőművekben vagy cementégető üzemekben, azonban a nyert energia nem ellensúlyozza az égetés során kibocsátott üvegház gázok hatását. Létezik egy megoldás, ahol a bontott teljesen tiszta lapokat ledarálva ragasztóval összekeverve újra táblákká, idomokká préselve lehet hasznosítani, azonban a nem túl jó hőszigetelő képesség korlátokat állít a felhasználás elé. Lakóépületeknél újabban terjed a helyszíni habosítással készített PUR szigetelés, amelyet bontáskor az alapfelületről elválasztani leheletlen küldetés. Tisztán a hab sem nyerhető vissza és a faszerkezet sorsát is megpecsételték, bontás után csak az égetés marad hátra.

Legelterjedtebb nem éghető szigetelőanyagunk a bazalt alapú kőzetgyapot. A kiváló hőszigetelése és páraáteresztő képessége, valamint a gyártók környezettudatos, a körforgásos gazdaság kiépítésében aktívan részt vállaló hozzáállása értékes szigetelőanyaggá teszi. A fújható ásvány- és üvegyapopotok később visszanyerhetők és újra használhatók csak úgy, mint a szakszerűen kibontott táblás tetőtéri vagy szakipari falszigetelések. A bontási hulladékként keletkező kőzet- és üvegyapot a termelési lánc elejére vezethető és újraolvasztással vagy szálakra bontással az új termékekben felhasználható. Figyelembe véve, hogy csak Európában több milliárd m³ van beépítve és a tömeges bontás hamarosan elkezdődik, az újrahasznosítás hatalmas potenciállal bír. A legnagyobb ásvány- és kőzetgyapot gyártók több évtizede visszavételi rendszert működtetnek és a megfelelően beszállított bontott szigetelőanyagot felhasználják a termékgyártáshoz. A homlokzati szigetelések visszaforgatásának legnagyobb problémája a kompozit rendszer szétválasztása. Erre dolgozott ki megoldást az egyik legnagyobb gyártó, az ásványgyapot táblákat csavaros dübelekkal rögzítik, majd a bevonatrendszer egy elválasztó hálóra helyezik. Így a külső vakolat elválasztható a kőzetgyapottól, lehetővé téve a visszaforgatást. Erről azért 70-80 év múlva a bontóbrigádnak is tudni kell majd.

Műanyaghab alternatívaként jelentek meg a természetes anyagú habosított táblák. Alapanyaga fahulladék, fűrésztelepi melléktermék, kender, szalma lehet. A finomra őrölt részecskék vízzel szuszpenziót alkotnak, amelyet gázzal vagy

mechanikai úton habosítanak, majd szárítással stabilizálnak. A sűrűség 50-170 kg/m³ között változik. Életciklusa végén új termék alapanyagaként a 50%-ban kerülhet vissza a körforgásba. Karbonlábnyoma 0 vagy negatív.

A szalma alapú szigetelőanyagok egyre népszerűbbek a környezettudatos építészetben. A szalma szigetelőlapok jó hőszigetelő ($\lambda=0,045$ W/mK) és hőtároló képességű természetes anyagok felhasználásával készülnek. A kötőanyag 70%-ban növényi, ásványi és 30%-ban fehérje alapú. A gyártás során a szálakat hőkezelik, préselik, majd szárítással szilárdítják. Páraáteresztő szigetelésként homlokzaton kívül-belül lehet használni. Az életciklus végén a vakolat eltávolítása után komposztálható. A szalmabála szigetelés favázis épületekkel készül és környezetbarát fenntartható építészetet képvisel, amely 8 mm vastag vakolattal teljesíti az EN 13501 szabványt, 30 mm perlitvakolattal a tűzállóság tovább növelhető. A falvastagság 50-70-100 cm lehet, így akár passzívház is építhető ezzel a technológiával, mint azt egy befejezés előtt álló magyarországi lakóépület is bizonyítja. A minőség a fenntarthatóság és az alacsony költségek önmagukért beszélnek. Az épület bekerülési költsége egyharmada az általánosan alkalmazott technológiával készült épületeknek.

A mezőgazdasági melléktermékek építőanyagként hasznosítása ésszerű és kívánatos. Az egyik ígéretes anyag a búzaszalmaszál-apriték. A fújható szigetelésként alkalmazott 5-30 mm hosszúra vágott szálak nem tartalmaznak vegyi anyagokat. A 105 kg/m³ sűrűséget el kell érni, így a hővezetés 0,043 W/mK lesz. Egyszerű „porszívózással” visszanyerhető és legalább ötször újra használható, ökológiai egyensúlya kiváló.

A befújásos szigetelési technológiák természetes megújuló anyagai továbbá a farost, a cellulóz és a papírapriték. A farost szigetelés készítéséhez a puha, túlevélű fenyőfát faforgáccsá aprítják, amelyet a termo-mechanikus eljárás során teljesen rostokra bontanak. Az így létrejött farostot megszárazítják. A farost rostszerkezetének köszönhetően képes a levegő páratartalmát szabályozni és így nagyban hozzájárul az egészséges lakóklima eléréséhez. A hőszigetelés nem tartalmaz semmilyen egészségkárosító vegyi adalékot. A farost nagy hőtároló kapacitással és alacsony hővezetéssel rendelkezik, csak úgy, mint a cellulóz és a papírapriték szigetelések. A szinte 100%-ban visszanyerhető szigetelések újra felhasználhatók.

A Franciaországból indult kendersizetelés technológiája világszerte terjed. A kenderrel történő építéskor a növény szárából készített pozdorját használják. Már a kender vetésekor meg kell határozni az építőipari felhasználási célt és eszerint kell nevelni, válogatni, áztatni, aprítani így elkészíteni a különböző kenderpozdorjákat. A mészpuccolános kötőanyaggal fenntartható környezetbarát építőanyag készül, falazat, vakolat, hőszigetelés. A favázis tartószerkezet, a természetes ásványi és növényi alkotórészek használata a fenntartható ökoépítészetbe emeli a kendert.

A 100%-ban természetes, vegyi anyagoktól mentes gypjűszigetelés kiválóan használható könnyűszerkezetes épületek falainak, padlóinak és tetőinek hő-és hangszigetelésére. Egy szabadalmaztatott eljárásnak köszönhetően a molyok elleni védelme is vegyszerek nélkül biztosított. Sűrűsége 18-20 kg/m³, hővezetőképessége a nedvességtartalom emelke-

désre nem érzékeny. Életciklusa végén a természetbe belesimul, ökológiai lábnyom csökkentő.

A természetes ásványi szigetelőanyagok közül sokoldalúságával emelkedik ki a Perlit. Ez a vulkanikus üvegásványi közet hőkezelés útján nyeri el az építőiparban ismert fehér, könnyű, porózus, gömbös alakját. A perlitközet duzzasztása során semmilyen vegyianyagot nem használunk, csak fizikai átalakítás történik. A hő hatására megolvadt közetből kilépő erősen kötött víz fújja fel a szemcséket. Az egyetlen hőszigetelő anyag, amely csak azokat az összetevőket tartalmazza, mint a természetben megtalálható anyaköze! A perlit hőszigetelése, páraáteresztése, hőcsillapítása és hőkéssleltetése kiváló. Az ipari szigeteléseknél ömlesztett formában $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig használható, tűzálló kötőanyaggal $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig emelhető a hőterhelés. Épületszigeteléseknél ömlesztett formában a padló, födém hő- és hangszigeteléseként, szendvicsfal magszigeteléseként, magastető hőszigeteléseként, kerámia falazóelem üregtöltő anyagként használható. A táblás szigetelőlapok nélkül is megfelelő vázkerámia falazatokon kívül-belül alkalmazott perlitvakolat páraszabályzó és penészesedésgátló hatású. Nem éghető és korlátlan élettartamú. Az ömlesztett perlitszigetelés szinte teljes egészében visszanyerhető, az újrafelhasználás során az aprózódási veszteség 5% alatti. A perlitel készített hőszigetelő lapokat elsősorban a kemenceipar használja, azonban készült már épületszigetelés is perlit-geopolimer kompozícióval. Az elbontott perlitvakolat, perlitbeton, perlitábla hőszigetelések a régóta bevált betonapritási technológiával könnyedén feldolgozhatók és hőszigetelőbeton adalékként újra felhasználhatók a késztermék minőségcsökkenése nélkül. A műemlékvédelem egyik nagy problémája a boltváll nedvesedés. Erre az egyetlen megoldás a gondosan tervezett hidrofób perlitszigetelés. Ilyen célra más anyag, pl. égetett agyag vagy üveghab granulátum a szerkezeten belüli páralecsapódás veszélye, a szigetelőréteg nagy légzárványossága és a csekély hőszigetelő képessége miatt nem használható. A perlit talajjavító hatású, a kertészetben természetközékként használt anyag. A körforgásos gazdaságban visszaforgatható, míg tiszta formában a természetbe kerülve semmilyen káros hatása sincs hiszen oda kerül vissza, ahonnan származik.

Említést kell tennünk a hőszigetelőanyaggal töltött tégláról, mint alternatív megoldásról. A THR rendszereknél egyszerűbb szerkezetű, kedvezőbb páratechnikai tulajdonságú, már amennyiben a töltő szigetelőanyag páraáteresztő. A szigetelés életciklusa hosszabb, az épülettel megegyezik és a végén az anyag visszanyerésére nagyobb az esély. Helyszínen is készülhet a falazóelem feltöltése, erre a célra a duzzasztott perlit a legalkalmasabb. A vázkerámia üregméretének nagyságával arányosan nő a szigetelés hatékonysága.

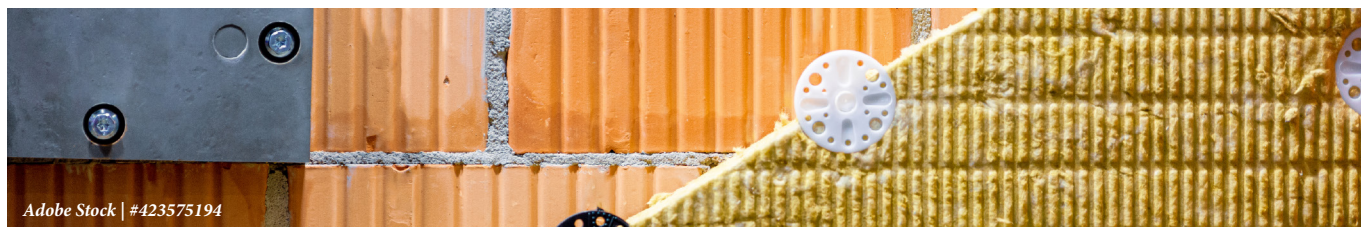
6. Összefoglalás

Az energiahatékonyság növelése érdekében ötletes innovatív tervezésre van szükség és ebbe a rendszerbe kell illeszteni a hőszigetelést. A hőmérséklet és a nedvességtartalom jelentősen befolyásolja a szigetelőanyag teljesítményét, a korszerű épületszerkezetek bonyolultak és érzékenyek a nedvességre, ezért a kapcsolt hő- és páratechnikai méretezés egyre fontosabbá válik. Az ehhez szükséges anyagfizikai adatok hiányosak, sok nem aktuális. Az energiamérleg számításába a gyártáson, üzemeltetésen túl a szigetelőanyag ártalmatlanításának energiaigényét és a környezetre kifejtett hatását is figyelembe kell venni. Az éltciklus elemzések C-D moduljai sok feltételezést és becslést tartalmaznak, az allokációk többnyire nem nyilvánosak, így ezeket fenntartással kell kezelni. A szigetelőanyagoknál körforgás szinte csak a természetes megújuló anyagoknál és a visszanyerhető természetes ásványi anyagoknál valósul meg.

A bevált termékkel rendelkező nagyvállalatok határozzák meg a piacot. Hiába az innovatív fenntartható szigetelés, ha a tudás csak lassan jut el az érintettekhez. A lebontható vagy ásványi környezetbarát szigetelőanyagok nem élvezik a mennyiségi gazdaságosság előnyeit. Az ökológiai előny érdekében leszerelt anyagokat kezelni kell, működtetni és persze finanszírozni kell az újrahasznosító folyamatláncokat, ugyanakkor a nem visszaforgatható szigetelőanyagok ártalmatlanításával összefüggő negatív környezeti hatásokból eredő költségeket 50-60 év fáziseltolással ugyan, de a társadalom viseli.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.footprintnetwork.org>
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change: AR6 Synthesis Report 2023
- [3] Innovációs és Technológiai Minisztérium: Jelentés az éghajlatváltozás Kárpát-medencére gyakorolt esetleges hatásainak tudományos értékeléséről
- [4] IEA (2024), CO2 Emissions in 2023, IEA, Paris
<https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>, Licence: CC BY 4.0
- [5] Marosvölgyi Martin-Dr. Nagy Balázs-Dr. Szalay Zsuzsa: A vonalmenti hővesztések számítási eljárásainak összehasonlítása.
- [6] Mrs Cathy Galbraith IAL Consultants: The European Market for Thermal Insulation Products 2023
- [7] Nagy Balázs - Tömböly Cecília: Hygrothermal Analysis of Window Construction Joints UDK: 699.8:674.21
<https://doi.org/10.14415/konferenciaGFS2018.008>
- [8] Technical Catalog:
https://cms.esi.info/Media/documents/697503_1623138989587.pdf
- [9] S. Molleti - David van Reenen: Effect of Temperature on Long-Term Thermal Conductivity of Closed-Cell Insulation Materials.
<https://doi.org/10.3390/buildings12040425>
- [10] Barbara Francke - Robert Geryło: Inverted roof insulation kits and their durability, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816308005>
- [11] <https://www.ksh.hu>
- [12] Matthias Klingler - Daniel Savi - Gabor Doka: Harmonisierte Ökobilanzen der Entsorgung von Baustoffen Für die Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich



Adobe Stock | #423575194

Kerámia téglá- és cserépipari termékfejlesztések napjainkban

KOCSERHA ISTVÁN • Energia-, Kerámia és Polimertechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem
• Magyar Téglá és Tetőcserép Szövetség (MATÉSZ)

Absztrakt

A társadalomhoz hasonlóan, melyet egyének alkotnak, az épületek is egyedi termékekből, építőelemek sokaságából készülnek. A ház vagy lakás, amelyben élünk, a gyár vagy irodaépület, ahol mindennapjaink jó részét töltjük, alkotják a lakókörnyezetünk azon részét, melynek formája, jellege, klímája mind-mind hat ránk, meghatározva akár közérzetünket is, készüljön az akár a cikk címét is adó égetett kerámia anyagokból. Egy vályogtégla vagy földtégla készítése csak formaadás, a kerámia anyagok elkészítése a kiégetésen keresztül azonban már egy átalakulás, melyben az eredeti anyag teljesen eltűnik és egy új szerkezeti struktúra jön létre, új tulajdonságokkal, alakkal, szilárdsággal, színnel.

A társadalmi, az esztétikai elvárások fejlődése, az energiatudatosság kialakulása készítette elő vagy kényszerítette ki és tulajdonképpen folytonossá tette a termékek és gyártástechnológiák állandó fejlesztését. Valamely anyag, termék vagy technológia javítása, jobbá tétele vagy egy új, eddig sosem létezett zseniálisan új találmány megalkotása mind lehet az innováció része. A cikkben a teljesség igénye nélkül kerülnek bemutatásra a kerámia téglá és cserépipar által gyártott termékekkel kapcsolatos az elmúlt években bemutatott fejlesztések.

1. Kerámia építőanyagok innovatív megoldásai

Az kerámia építőanyagok a legnagyobb mennyiségben felhasznált csoportja az épületek külső falazatához, belső terek elválasztásához, pincékhez, hangszigeteléshez vagy éppen látszó felületek díszítéséhez alkalmazott téglatermékek, valamint a tetőfedésre használt égetett kerámia cserepek és kiegészítőik. Szintén ide sorolhatók a béléstestek, zsaluelemek, kémények kerámia köpenyelemei vagy éppen az ablakok vagy ajtók felett használt kerámia kéregelemes előfeszített vasbeton áthidalók, gerendák.

2. Falazótéglák – okos-, csiszolt-, töltött téglák

Egy épület falazatának elkészítéséhez használt falazóelem határozza meg nagyrészt annak statikai, hőtechnikai, páratechnikai, akusztikai, tűzállósági jellemzőit. A falazat részben meghatározza a lakókörnyezet klímáját azáltal, hogy hatással van az energiavesztésre, páragazdálkodásra és a hőtárolásra is. A falazat a teljes kivitelezési költség nagyságrendileg mindössze 2-4%-a, míg a fűtési és hűtési energia kb. 30%-a határoló falszerkezeteken keresztül távozik. Az égetett kerámia téglák jó páragazdálkodó képességükön keresztül hozzájárulnak a megfelelő lakóklímához, az egészséges belső levegőhöz [1,2]

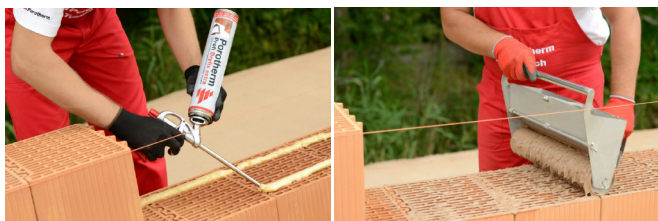
A közelmúlt legtöbb fejlesztését a szigorodó energetikai előírások indukálták. Az alapvető szilárdsági elvárások biztosítása mellett, az elmúlt években is az anyag és legfőképpen az energiatakarékossági mutatókban hatalmas fejlődés volt tapasztalható. A gyártók több különböző megoldással értek el eredményeket, és olyan új termékek születtek, mint a csiszolt téglá vagy töltött téglá.

Évtizedekkel ezelőtt a kerámia téglákkal történő falazás esetén még a téglák vízszintes és függőleges lapjai mentén is voltak fugák, melyeket falazóhabarccsal töltöttek ki. Ez a habarcs gyakran a kivitelezésnek köszönhetően hőhídként volt jelen a falazatban, jelentős hővesztésért okozva. A függőleges fugák

habarcsmentes kialakítását a nagyobb méretű falazóblokkok horony-eresztékes (nút-féderes) kialakításával oldották meg két évtizeddel ezelőtt, csökkentve a habarcsszükségletet és a falazási időt, javítva a falazat minőségét. Néhány éves innovatív megoldás a vízszintes fugák minimalizálása is, amely meg kívánja a téglák felfekvő felületeinek tökéletes párhuzamosra történő kialakítását. Mivel a gyártástechnológia ezt alapvetően nem teszi lehetővé, ezért a gyártók a kiégetett téglák felfekvő felületeinek síkra csiszolásával érik ezt el, biztosítva az ebben az iparágban korábban nem megszokott mm nagyságrendű falazási pontosságot. A sorok így rendkívül precízen egymásra helyezhetők, minimálisra csökkentve, megszüntetve a hőhidakat.



1. ábra Csiszolt téglák: LeierPLAN 44 pro és a Porothers 44 X-therm Rapid Dryfix termék [1,2]



2. ábra Wienerberger RAPID dryfix és vékonyhabarcsos technológia [1,2]

A falazáshoz ebben az esetben speciális vékonyhabarcsot vagy poliuretán alapú ragasztóhabot használnak, melynek eredményeképpen a falazat kötése 1 nap után már megfelelő szilárdságú. Az eljárással – a katalógusok alapján – a falazat egy négyzetméterére vonatkoztatott kivitelezési idő akár 30-50%-kal is kevesebb, gyorsabb a száradás, mivel a habarccsal nem visznek be annyi vizet és az élőmunka igény is csökken. Emellett előny, hogy a szükséges speciális kötőanyagot a téglá árába már általában belefoglalják. A csiszolt téglá valamennyi hazai gyártó cég termékínálatában is megjelenik (1. ábra). Ilyenek a Wienerberger cég RAPID megjelölésű csiszolt falazóelemei, melynél a vékonyhabarcs, a Rapid Dryfix megjelölésűnél pedig ragasztóhab használatos. A LEIER cég csiszolt termékei LeierPLAN márkanév alatt kerülnek forgalomba, melyek szintén vékonyhabarccsal vagy LeierFIX univerzális ragasztóhabbal falazhatók (2. ábra). A Pápateszéri Téglaiipari Kft. Bakonytherm CSISZOLT név [3] alatt gyárt ilyen termékeket. Ezeket a terméktípusokat hívják okos tégláknak is. Ezzel a megoldással alapvetően a falazat egészének javították a hőtechnikai tulajdonságait.

A hőszigetelés javításának másik innovatív módja az égetett kerámia falazóelemeknél a hőszigetelő anyag alkalmazása, de nem külön külső réteggént, hanem téglába integrálva. Ez az úgynevezett töltött téglá, mely ötvözi a hagyományos téglák szilárdságát és a falazatra ragasztott külső hőszigetelés tulajdonságait. Ez a megoldás – a téglá töltése – is korábbi innováció, de nagyon jól illeszkedik a jelenlegi szigorodó energetikai követelményekhez. A falazóelem kialakítása általában két típusú. Egyik esetben belső üregrendszerét úgy alakítják ki, hogy abba viszonylag nagyobb egyégekben elhelyezhető legyen a szigetelés, mely rendszerint közetgyapot vagy EPS. A másik megoldás, hogy a normál üreges falazóelembe beletöltik a könnyű szigetelőanyagot, mely lehet például polisztirol gyöngy, üveghab, perlit, stb. (3-6. ábra). Ilyen termék több gyártó palettáján megtalálható [4, 5, 6]. Léteznek kísérleti megoldások aerogéllal, amely kísérleti megoldást mely Jannis Wernery és társai (2017) vizsgáltak, de valószínűsíthetően ennek piaci alkalmazása aligha várható [7].



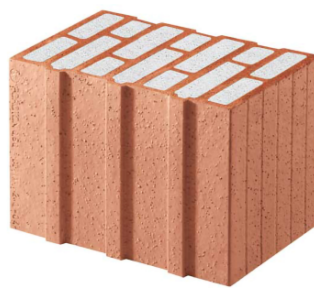
3. ábra Polisztirol gyönggyel töltött HELUZ FAMILY 44 téglá [6]



4. ábra Porotherm 50 Thermo Rapid Dryfix téglá [1]



5. ábra LeierPLAN 44 iSO téglá [2]



6. ábra Slagman-POROTON®-T7 perlittel töltött téglá [4]



7. ábra Bakony therm ZajStopp 20 N+F hanggátló téglá [3]

A kerámia védi a betöltött anyagot a közvetlen környezeti hatásoktól, és ha az száraz állapotban marad, akkor továbbra is teljes mértékben megtartja eredeti hőszigetelő funkcióját. Ezzel a megoldással a téglá épületfizikai paramétereit tekintve alkalmas lett nulla energiaigényű, passzív vagy alacsony energiaigényű és energiatakarékos épületek egyrétegű héjfalazatának elkészítéséhez. Az ilyen téglából készülő 500 mm vastag falazat, kívül 2 cm hőszigetelő vakolattal, belül 1,5 cm mészcement vakolattal ellátott falazatok hőátbocsátási tényező értéke akár $U=0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ értéket is elérheti, mely érték egy passzívhasználat $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ alatt kell, hogy legyen. A töltött téglák egy másik innovatív változata a speciális, stabilizált homokkeverékkel (7. ábra) töltött hanggátló válaszfal téglá [3].

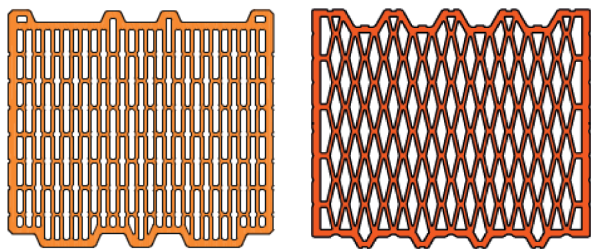
3. Falazótéglák szerkezeti újításai

Az energiatakarékos falazat kialakításának egy másik iránya nem a falazási módszer, hanem az egyedi termékek kialakításának javítása. Ennek egyik lehetséges módzata a falazóelemek (vázkerámiák) üregtérfogatának növelése és az üregelesség szerkezeti kialakításának fejlesztése (8. ábra).

A kiégetett kerámia téglák anyagának adott tulajdonsága a hővezetőképesség, amelyet az általában a gyártás során az agyaghoz adagolt pórusképző anyag (általában fűrészpör) szemcseméretével és mennyiségével lehet szabályozni. (Legújabban a gyártók a CO_2 kibocsátás csökkentése miatt más alternatív anyagokat keresnek.) A hővezetőképesség csökkentése könnyebb, porózusabb kerámia elérésével lehetséges, de ennek határt szab a téglá elvárt szilárdsági értéke.

A termék hőszigetelő képességén javítani tehát a téglák felépítésének fejlesztésével tudtak, a termék méretének növelésével, a belső cellaelrendezés módosításával és a cellafalazat vastagságának csökkentésével.

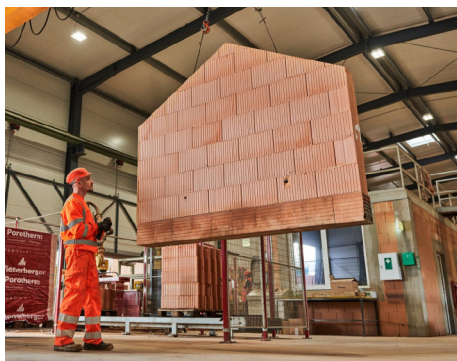
Legutóbb bejelentett innovatív megoldás volt a belső bordázat speciális kialakítása, mely a bordavastagságot és az elrendezést is érintette. A falazótéglák szerkezeti újítása tehát a hővezetési utak megnövelését is jelenti, így csökkentve a falazat hőátbocsátási képességét a szilárdság megtartása mellett. A mért adatok alapján az ilyen belső szerkezetű és csiszolt 440 mm vagy 500 mm méretű falazóelemek vakolva, de külső (EPS, közetgyapot) szigetelés nélkül elérik az $U=0,20-0,21$, illetve $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ hőátbocsátási értéket.



8. ábra LeierPLAN pro [2] és a Wienerberger X-therm Rapid [1] téglák borda elrendezése

4. Előgyártott falpanelek

Más építőanyag típusok esetén (pl. fa vagy beton) már évtizedek óta létezik az előre gyártott, nagyméretű falpanelek építési eljárás, azonban a téglaiiparban ez a technika újdonságnak tekinthető. Az égetett kerámia falazó elemekből előregyártott falpanelek gyártásának kialakításával és fejlesztésével cél volt a moduláris tervezés és a hőhidmentes építés elősegítése, az élömunka igény valamint építési hulladék csökkentése. Előregyártott téglafal kb. 0,75-3,00 m magasságban és 0,25-6,00 m hosszúságban 3500 kg maximális tömeggel gyárthatók 120-440 mm vastagságban. Ausztriában és Németországban találhatunk ilyen gyártóüzemeket [8,9] (9. ábra).



9. ábra Falpanel daruzása [8]

5. Szigetelt zsaluzópanel és mennyezeti élhéz

A Wienerberger által gyártott szigetelt zsaluzópanel megoldást nyújt a betonkoszorú hőhidmentesítésére olyan esetekben is, amikor szigetelés a falazatra nem kerül vagy már nem szükséges kívülről. A hasonló felépítésű mennyezeti élhéz 15 mm vastag kerámia héjből és 105 mm vastag grafitos polisztirolból álló, innovatív megoldás (10. ábra). Alkalmazása a betongerendák elhelyezésekor vagy válaszfalak bekötésekor előnyös, külső oldali takarásra szintén használható, különböző vastagságú falazatok esetén [10].



10. ábra A szigetelt zsaluzópanel és a felépített, betonozásra előkészített rendszer [10]

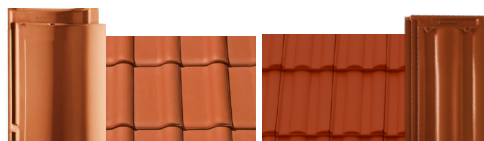
6. Kerámia tetőcserepek alak és funkció újításai

A kerámia téglához hasonlóan a kerámia cserепet is évezredek óta használja az emberiség. Alapanyagként itt szintén az agyag szolgál, melyet előkészítés után formáznak, szárítanak és égetnek. A kerámia cserепek két alapvető típusát különböztetjük meg az alakadás szempontjából. Az egyik a húzott, a másik a préselt cserеп. Első típus egy csigaprésre szerelt alakadó szerszámtól (szájnyílás) kapja meg végleges alakját. Erre példa az egyenes, íves vagy szegmensvágású hódfarkú cserеп. A kerámia cserепek másik típusa az úgynevezett préselt cserеп, amelyet egy téglatest alakú képlékeny agyaglap, ún. agyagkalács kétoldali préselésével formáznak meg. Ez az eljárás jelentős formaszabadságot biztosít a gyártóknak különböző hornyok, zárófülek és felületi geometria kialakításra. A cserепek égetése a nagy felületi tömörség érdekében a kerámia tégláktól magasabb, 1000 °C feletti hőmérsékleten történik.

A megfelelő vas-oxid tartalmú agyagok kiégetése után kapott hagyományos téglapiros szín mellett, a cserепek felülete ma már gyakorlatilag az éppen aktuális trendeknek megfelelően színezhető, dekorálható. A felületükre felvitt fénoxid tartalmú színező engób vagy mázrétegek egyedi megjelenést, fényes vagy matt felületet eredményeznek a kiégetés után.

A tető nemcsak pusztán funkcionális épületrész, de hozzájárul az egész épület esztétikájához is, melyre – több tényező – a tetőcserеп formája, mintája és színe is lényeges hatást gyakorol. Az utóbbi években a nagy cserөgyártó cégek is jelentettek be méretet, funkciót, alakot érintő innovatív megoldásokat amellyel, hogy termékpalletájuk az alak és színek variációján keresztül akár ezer feletti kombinációt is kínál.

Jelentős lépés volt a nagyméretű, ún. XXL tetőcserөpek bevezetése, mely mind a két nagy hazai kerámia cserөgyártó cég [1,11] palletáján is szerepel (11. ábra). A nagy formátum megközelítőleg 30x50 cm cserөméretet jelent. Ennek számos előnye van. Egyrészt elegendő 8-10 db egy négyzetméter felületre, szemben pl. egy hagyományos hódfarkú cserөppel, melyből 35-40 db is szükséges. Ebből adódóan a rakási és tetőre juttatási idő is csökken és a kevesebb átfedés miatt a cserөfedés súlya is alacsonyabb lesz. A nagyobb méretű cserөphez kevesebb tetőlécet kell felhasználni. Látható tehát, hogy egy ilyen fejlesztés a környezetvédelem irányába is mutat a kisebb szállítandó tömeg és a takarékosabb építési anyagfelhasználáson keresztül.

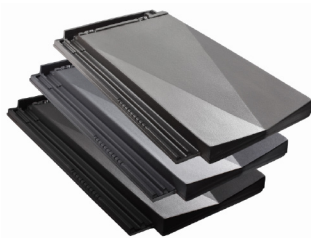


11. ábra A Creton Balance XXL és a Wienerberger-Tondach Twist XXL formátumú cserөpe [11,1]

A mai trendeknek megfelelően a letisztult formavilágú, modern stílusú lakóházak elvárásaihoz igazodva jelentek meg sima felületű kerámia tetőcserөpek. Ezek a háztetőkön legtöbbször – a mai trendeknek és fogyasztói elvárásoknak megfelelően – fekete, szürke színekben vagy ezek árnyalataiban láthatók, de természetesen a gyártóknál ezek is széles színválasztékban elérhetők. Fehér szín is megjelent a kínálatban (12. ábra), mivel kutatások szerint a tető világos színe segít csökkenteni a sűrűn lakott területen felmelegítését, valamint úgy lehetőségeket teremt az épületdízajn területén is [12].



12. ábra Wienerberger Tondach PLANOTON cserép fehér színben [12]



13. ábra Wienerberger Tondach V11 dizájn tetőcserepe [1,13]

Wienerberger Tondach V11 dizájn (13. ábra) egy új forma-tervet jelent. Egyedi „V” formája különleges fényhatást eredményez és emellett jellegzetes fazetta kialakítás teszi egyedivé [1, 13].

A kerámia padló és falburkolatok esetén alkalmazott digitális, tintasugaras nyomtatással történő dekoráció a tetőcserepek esetén valószínűleg teret fog kapni. Evvel a technikával a tervezési lehetőségek a hagyományos alkalmazási módokhoz képest szinte korlátlanok, és olyan hatásokat tesz elérhetővé, mint a fa, márvány, kő vagy pala (14. ábra). A gyártó számára az anyagpazarlás jelentősen csökken, mivel a szokásos engóbos vagy mázas felvitelhez képest nincs túlpermetezés, és a gyártás reprodukálhatósága többé-kevésbé tökéletes. Utóbbi természetesen az adott gyárak égetési körülményeihez kell majd hangolni [14]. Egyenlőre csak kevés gyártó foglalkozik a tetőcserepek evvel a technikával. Ezek egyike a spanyol Tejas Borja cég, amely kínálatában rendkívül bámulatos színhatásokat képes elérni nemcsak sík, hanem görbült felületekkel rendelkező cserepek esetén is [15].



14. ábra Tejas Borja cég Irati és Nepal Orange digitális nyomtatással dekorált kerámia tetőcserepei [15]

A zöld megújulás rendszerébe illő, energiatudatos gondolkodásmód részeként a modern, letisztult stílusú lakóházak tetőszerkezetébe illeszkedik a több cég által kínált tetősíkba integrálható napelem-rendszer. A ház környezetkímélőbb működéséről gondoskodó, elektromos energiát termelő napelem panelek kialakításában és megjelenésükben a kerámia tetőcserepekre emlékeztetnek, a tetőn egységes felületet legjobban a manapság közkedvelt a szürke, palaszürke és fekete színű, matt és mázas színekkel adnak. [1,11].

Ezen rendszerek készülhetnek hagyományos méretű napelem modulokkal, mint a Creaton cég megoldása (15. a ábra), vagy egy egyedi cséréphez kialakítva, mint a Tondach Wevolt X-Tile napelemes tetőmodul (15. b ábra), melyet az Actua 10 kerámia cséréphez ajánlanak [1,11].



15. ábra Creaton tetősíkba integrálható napelem rendszerek
a.) Cretaon rendszere [11], b.) Tondach Wevolt X-Tile rendszere [1]

A Tejas Borja cég az eddigi legnagyobb méretben (510 × 457 mm, vastagság 26 mm) SOLAR FLAT 5XL néven forgalmaz kerámia tetőcserepet (16. ábra), melybe 410 × 360 mm méretű 23 Wp maximális teljesítményű monokristályos napelempanelt integráltak [15].



16. ábra SOLAR FLAT 5XL tetőcserep [15]

Utószó

Jelen tanulmány a 2022-ben megjelent Boros Anita -Torma András (szerk.): „Trendek és megoldások a zöld építésgazdaság területén – III. Rész –Innovatív építőanyagok, termékek, technológiák” kiadvány Építési kerámiák, föld és vályog építőanyagok fejezetének egy átdolgozott változata [17].

Irodalomjegyzék

- [1] <http://www.wienerberger.hu>
- [2] <http://www.leier.hu>
- [3] <https://bakonytherm-tegla.hu>
- [4] <http://www.schlagmann.de>
- [5] <http://www.malyitegla.hu>
- [6] <http://www.heluz.hu>
- [7] Jannis WERNERY et al. (2017): Aerobrick – An aerogel-filled insulating brick. Energy Procedia 134, pp.490–498, DOI:10.1016/j.egypro.2017.09.607
- [8] <https://www.wienerberger-bausysteme.at>
- [9] <https://www.schlagmann.de/produkte/was-ist-redbloc>
- [10] <http://www.wienerberger.at>
- [11] <http://www.creaton.hu>
- [12] <https://www.proidea.hu/sajtokozlomenyek-6/tondach-planoton-9-feher-tetocserep-huvos-nyar-21336.shtml>
- [13] <http://www.epitesimegoldasok.hu/paratlan-vizualis-hatas-jellemzi-a-dij-nyertes-tondach-tetocseretet.html>
- [14] <https://www.ferro.com/innovation/solutions/digitalprintingrooftiles>
- [15] <https://tejasborja.com/en/finishings/>
- [16] <https://www.homeinfo.hu/epitkezes-felujitas/teto/899-napelem-a-keramia-tetocseretek-helyen>
- [17] Boros Anita -Torma András (szerk.) (2022) Trendek és megoldások a zöld építésgazdaság területén – III. Rész – Innovatív építőanyagok, termékek, technológiák, Universitas-Győr nonprofit kft. 347 p.

Ha már üveg legyen kövér!

NÉMETH Árpád András • Guardian Glass, okl. építőmérnök, építész tanácsadó

Az üveg kicsit másképp – merre tart most az építőipari üvegfelhasználás – elvárások a 21. században

Nem egyszerű az üveg helyzete az építőiparban, de miért is gondolom én ezt?

Az üvegezés egyik legnagyobb kihívása az építőiparban hogy szinte ugyanazt várjuk el az üvegezett felületektől mint a tömör falaktól, csak egy kicsit többet. Alapvető hogy statikailag állékony legyen, hőszigeteljen és a nap melegéből csak annyit engedjen be amennyit a gépészet kezelni tud, csillapítsa a kintről érkező zajokat, engedje be a fényt, de csak éppen eleget, emellett legyen pont megfelelő a külső és/vagy belső tükröződése aminek vagy semlegesnek vagy színesnek kellene lennie, mikor mi a kíváncsi. A felsorolás nem teljes, sok egyéb feltételnek kell még megfelelnie egyes üvegszerkezeteknek hogy a mindennapi életben biztonságosan használhassuk az épületeket.

Hogyan jutottunk el idáig és merre tartunk az üveg alkalmazásoknál?

Talán nem veszik zokon ha nem az első fűjt üvegek síkba hajlított megoldásával kezdeném, hanem sokkal közelebről, mondjuk a jól ismert kapcsolt gerébtokos ablakokkal.

Ebben az időben a síküveget jobbra még húzták, felfelé. Én még emlékszem gyerekkoromból, milyen jól el lehetett mérni az üvegben lévő hibákkal, szálakkal, csomókkal, buborékokkal vagy a hullamokkal, ahogy torzították a képet. És egyébként ez senkit sem zavart, mert az üveg ellátta a feladatát; átlászó volt, nem esett be az eső és nem fűjt be a szél. Sőt, tartozunk az igazságnak azzal, hogy egész jó hangszigeteléssel bírtak ezek az ablakok.

Az első hőszigetelő üvegek nem voltak túl bonyolult szerkezetek, akár kisipari hajlított alumínium távtartóval két egyszerű üveglapot egymáshoz ragasztottak. Azután jött a gázzal töltött változat, mint újítás. Ebben az időben a napvédelem szinte egyenlő volt az anyagában színezett üvegekkel, melyek egy darabig elnyelték a nap melegét, aztán persze ki is adták magukból, akár egy fűtőtest.

Azután az első pirolitikus bevonatok is megjelentek, melyek erős tükröződés mellett már képesek voltak valamivel jobb napvédelmet nyújtani, még mindig – szinte kivétel nélkül – anyagában színezett üvegen. A pirolitikus bevonatokat nagyjából úgy lehet elképzelni, hogy a még meleg üveg felületére permetezik a bevonat alapanyagát folyadék formájában, ami azután szinte egygyé válik az üveggel.

Közben a síküveg gyártás átalakult, a húzott módszer helyett az úsztatott technológia vette át a vezető szerepet. Sokkal nagyobb táblákat lehetett ilyen módon előállítani (standard lett a „jumbo” méret: 3210×6000 mm), és a húzott üveg hullámos-sága, és egyéb hibái is elkerülhetővé, illetve szűrhetővé váltak.

Ez volt a nagyon erősen tükröződő és színes épületek korszaka, ahol már a technológia lehetővé tette a nagyobb üvegfelületek alkalmazását is.

A fejlődés újabb állomásaként az üveg tulajdonságainak kiterjesztését egy új technológia kínálta, a katódporlasztásos bevonat gyártás, mely molekuláris szinten tud rétegeket felvinni az üveg felületére. Ekkor jelentek meg az első Low-e, alacsony emisszivitású bevonatos üvegek, melyek új szintre emelték a hőszigetelést és a napvédelem is innen kezdett el egyre érde-

kesebb lenni. Hirtelen a hőszigetelő üvegek két rétegben már csak kb. a 40 %-át engedték ki a melegnek (a kétrétegű bevonat nélküli üvegezéshez képest), és nap melegének a javát is ki lehetett már szűrni, sőt kicsivel később a kettőt együtt is tudta egyetlen kombinált bevonatos üveggel a szerkezet.

Az építészet igényei az időben nem állandóak, és egy ideje azt az időszakot éljük amikor elvárás az üveg semleges megjelenése, a nagyobb transzparencia és az alacsony tükröződés miközben az épületek nem melegedhetnek túl szélsőséges időjárási körülmények esetén sem.

Az újabb fejlesztések ezt tették lehetővé az egyre átlátszóbb és mégis naphővédő megoldásokkal. Bekerült a képbe az üveg (bevonat) szelektivitása, vagyis milyen mértékben képes az üvegszerkezet a látható fényt beengedni, miközben a nap infravörös sugárzását visszatükrözni. A mai legmodernebb bevonatos üvegek több mint kétszer annyi látható fényt engednek be mint napenergiát.

Manapság már a három rétegű üvegezések korát éljük, melyek tovább felezték a hőveszteséget és a multifunkcionális bevonatoknak hála több fokozatból is válogathatunk miből mennyit szeretnénk a beltérbe engedni.

Persze vannak extrém igények és megoldások is. Ilyen például amikor a minél alacsonyabb tükröződés a cél, és van már olyan üveg aminek a tükröződése 1% alatti. A másik véglet sem maradhat ki, amikor egy tükröződő felülettel szeretnénk dolgozni de ha kell a mögötte lévő kijelzőt is látni szeretnénk. Lehet gombnyomásra privát szférát teremteni az előbb még átlátszó üveggel, de léteznek részben átlátszó, dekoratív napelemes megoldások amivel a homlokzat vagy a tető energiát is termelhet, és akár fűthető – de nem fűtőszálas – hőszigetelő üveg is.

Ne feledkezzünk meg a környezetünkről sem! Az üveg gyártásához rengeteg energiára van szükség az olvasztási folyamat-hoz, és a bevonatgyártás áramigénye is magas. Miután az energia árak jelentősen emelkedtek az elmúlt rövid időszakban, gyártóként mindent megteszünk a lehető legkisebb energiafelhasználás érdekében, már léteznek kis karbon lábnyomú alap-üvegek és lehet ezekkel készült bevonatos üvegeket is vásárolni.

Az üveg nehéz, nagyjából a vasbeton térfogatsúlyával van egy szinten. Az újrahasznosítás megoldható amennyiben tiszta üvegcserepet tudunk kinyerni a régi szerkezetekből, de itt még vannak feladatok. A tervezés folyamán fontos lenne, hogy ne csak a mai – beruházási – költségekkel számoljunk és ez alapján hozzunk döntéseket, hanem a hosszútávú megtérülést is figyelembe vegyük a különböző lehetőségek vizsgálatakor, mert az üveg idejekorán való cseréje minden szempontból pazarló megoldás lenne.

És elérkeztünk a 21. század üveg alkalmazásához.

Már nem lehet másolni a régi tervek kiírásait, mert minden új épülethez a saját egyedi paramétereit elemezve kell megtalálni a hozzáillő, a működése alatt is gazdaságos és környezetbarát üvegezési megoldását. És igen, az üveg, az üvegezés hozzá tud járulni ahhoz hogy az épületek fenntartható módon adjanak élményt mindannyiunknak!

Hulladékok szinergikus hasznosítási lehetőségei az építőanyagiparban

SZABÓ ROLAND • Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Nyersanyagelőkészítés és Környezettechnológia Intézet

Absztrakt

Az építőipar, egyre inkább előtérbe helyezve a fenntarthatóságot és a körforgásos gazdasági modellt, szükségessé teszi, hogy a termékek előállítása további kezelést igénylő hulladékoktól mentes legyen, minimális primer természeti erőforrás felhasználásával szénsemlegessé váljon, életciklusa minél hosszabb és a végén 100%-ban újrahasznosítható legyen. A probléma gazdaságilag életképes megoldásának magában kell foglalnia a hulladékanyagok új termékekhez való felhasználását, valamint az adott ország hulladéklerakóira nehezedő súlyos terhek minimalizálását. A különböző ipari tevékenységek hulladékainak (pl. erőműi pernye, salak, üveg, építési-bontási hulladék stb.) újrahasznosítása természeti erőforrásokat és energiát takarít meg, csökkenti a lerakásra kerülő szilárd hulladékok mennyiségét, ezáltal a környezeti terhelést (talaj-, víz- és légszennyezést), valamint az üvegházhatású gázok kibocsátását. Jelen tanulmány az építő- és építőanyagiparban leggyakrabban alkalmazott hulladékokat mint alternatív alapanyagokat mutatja be, kiemelve az építőiparban alkalmazható új típusú kötőanyag, a geopolimer felhasználási lehetőségeit a hulladékok szinergikus hasznosítása révén.

Kulcsszavak: hulladék, építőanyag, szinergikus hasznosítás, geopolimer kompozit

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben az infrastrukturális fejlesztések és a lakossági szükségletek kiszolgálása érdekében az építőanyag-felhasználás jelentős emelkedése figyelhető meg világszerte, ami viszont hatalmas, a bányászott kőzet 30-50%-át kitevő hulladék keletkezését eredményezte [1]. Az építkezések iránti kereslet növekedésével az építőanyagok költsége és kereslete is nőtt. A megnövekedett kereslet, a szigorodó környezetvédelmi szabályozások, az építőanyagok kimerülése és áremelkedése a tudósokat az épületek építéséhez szükséges alternatív anyagok kutatására ösztönzi [2]. A környezetbarát termékfejlesztés a fenntarthatóság szempontjából elengedhetlenné vált az építőipar számára, mivel egyrészt csökkenti a környezeti terhelést, másrészt a szilárd hulladékkezelésre helyezi a hangsúlyt az anyatermészet védelme érdekében. Az építőipar területén számos olyan alapanyaggal találkozhatunk, amelynek alapját részben vagy teljesen valamilyen ipari tevékenységből származó hulladék jelenti.

Az ipari szilárd hulladékok elsősorban az ipari termékek gyártási folyamata során keletkeznek, melyek legnagyobb tömegét a szerves ipari hulladékok jelentik. Fő forrásuk a széntüzelésből, kohászatból, építőiparból, vegyiparból származik. Ide tartoznak az erőműi pernyék, füstgázkéntelenítési gipsz, vörösiszap, kohászati salakok, foszfogipsz, üveghulladék és egyéb ipari tevékenységből származó hulladékok [3]. Felhasználási területük igen sokrétű. Felhasználhatók többek között az építőiparban építőanyagok helyettesítésére [1,4]; stabil, nagy aktivitású, újrafelhasználható, olcsó és könnyen hozzáférhető adszorbensek/katalizátorok előállítására [5]; talajjavításra [3]; gáznemű szennyező anyagok eltávolítására [6] Emellett különféle szerves hulladék (pl. gumi, műanyag) is megtalálható, mely sikeresen alkalmazható az építőipar számos területén, mint pl. beton- és aszfaltgyártásban, kőburkolatokban, töltésepítésben, valamint agyagkompozitokban egyaránt [4,7].

A hagyományos építőanyagok mellett az utóbbi évtizedekben jelentős kutatások indultak a különféle ipari tevékenységekből származó hulladékoknak egy új típusú kötőanyag, az úgynevezett geopolimer alapanyagaként történő felhasználására vonatkozóan is. A geopolimerek aluminoszilikát-oxidok és lúgos oldatok (alkáli-hidroxidok, illetve alkáli-szilikátok) kémiai reakciója során előállított szervesetlen anyagok, amelyek polimer Si-O-Al kötésekkel tartalmazó amorf vagy félig kristályos, háromdimenziós aluminoszilikát (poliszilát) szerkezettel rendelkeznek [8]. Tulajdonságaik alkalmassá teszik a geopolimereket járólapok gyártására, dekoratív köelemek, épületek restaurációjára, hőszigetelésre alkalmas habosított geopolimer panelek gyártására, tűzálló tárgyak előállítására, geopolimer cement és beton készítésére, falazó és szigetelő téglák gyártására, valamint tetőfedésre alkalmas üvegszálak kompozit anyagok, tűz- és hőálló bevonatok (pl. tűzálló falpanelek) készítésére. Emellett alkalmasak lehetnek „high-tech” gyantarendszerek készítésére, radioaktív és veszélyes hulladékok (pl. nehézfémek) immobilizálására, illetve tűzálló „high-tech” alkalmazásokra (repüléstechnika, autóipar) [8,9].

Jelen tanulmány az építő- és építőanyagiparban leggyakrabban alkalmazott hulladékokat mint alternatív nyers- és alapanyagokat ismerteti, kiemelve a geopolimer mint új típusú építőanyag felhasználási lehetőségeit az építőiparban a hulladékok szinergikus hasznosítása révén.

2. Építőanyagok hulladékból

A jövőben az építőanyagok előállítási és felhasználási mértékének további növekedése prognosztizálható, amely az építőipar jelenleg is jelentős energia- és gazdasági részesedése következtében még nagyobb energiafogyasztási és szén-dioxid-kibocsátási problémákat okozhat. Mivel a szervesetlen ipari szilárd hulladékok kémiai összetételüknek köszönhetően gyakran

jó kompatibilitást mutatnak az építőanyagokkal [10,11], e hulladékokból készült fenntartható építőanyagok kutatása és fejlesztése ígéretes irányvonalnak bizonyul.

Ez a fejezet a legfontosabb hulladék-alapú építőanyagokat, úgymint cement, beton adalékanyag, kerámiaanyag, útanyag és téglá mutatja be a hulladékok ezen anyagrendszerekben betöltött szerepére összpontosítva.

2.1 Hulladékok a cementgyártásban

Az ipari hulladékok egy nagy csoportja (úgymint erőműi pernyék, kohászati, acélgyártási salakok, szénmeddők, vörösiszap stb.) a cementgyártás zöld erőforrásainak tekinthetők, mivel hozzáférhetőségük nem jár szinte semennyi szén-dioxid kibocsátással és költséggel sem. Az effajta hulladékok főbb cementgyártási alkalmazásai az alábbiakra oszthatók: (1) cementkiegészítő anyag klinker vagy cement helyettesítésére közönséges/speciális cementekben, (2) nyersanyag a klinkergyártásban, (3) új cementkötésű anyagok (pl. szulfoaluminát cement, magnézium-foszfát cement) nyersanyagai.

Az ipari hulladékok zömének közös jellemzője, hogy általában több Ca-, Al- és Si-forrást tartalmaznak, ami azt jelenti, hogy bizonyos puccolános aktivitással rendelkeznek, ezáltal beépíthetők a cementrendszerekbe, hogy részt vegyenek a hidratációs reakcióban, és vízzel reagálva kalcium-szilikáthidrát (C-S-H) gél képezzenek, valamint töltőhatást biztosítsanak. Az utóbbi évtizedekben számos kutatást végeztek az ipari hulladékok és a cement bináris rendszerének tanulmányozására, annak érdekében, hogy az egyes szilárd hulladékok cementgyártásra való alkalmasságát vizsgálják. Vizsgálatok megállapították, hogy többek között a szénmeddő, erőműi pernye, különféle salakok (granulált kohósalak, acélsalak, lítiumsalak, nikkel-salak stb.), vörösiszap, üveg-hulladék megfelelő előkészítést (pl. mechanikai vagy termikus aktiválást) követően alternatív megoldást jelenthetnek cementhelyettesítő anyagként való felhasználásra, melyek amellet, hogy csökkentik a cement gyártása során jelentkező CO₂ kibocsátást és a speciális cementek (pl. szulfoaluminát cement) esetén az előállítási költséget [12], szilárdságjavító hatással is rendelkezhetnek [3, 13, 14] és ezáltal a szinergikus hasznosítást is lehetővé teszik [15]. Azonban a cementhez hozzáadott ipari hulladék mennyisége limitált, általában 5-30%, a maximum pedig 50% alatti, mivel a szilárd hulladék túlzott adagolása jelentős hatással lehet a cement kulcsfontosságú tulajdonságaira, például a nyomószilárdságra és a megmunkálhatóságra. Ha a cement hulladéktartalma alacsony, az ipari hulladék jótékony hatásai (puccolán hatás, hulladék töltő hatása) dominálnak, míg nagyobb mennyiségben adagolva a káros hatások (cementszerkezet károsodása és a hidratációs termék csökkenése) kerülnek túlsúlyba, így a termék szilárdsága csökken. Ezért fontos a hatékony keveréktervezés a különböző ipari hulladékok jellemzői alapján annak biztosítása érdekében, hogy a cement teljesítménye javuljon, vagy legalábbis ne csökkenjen [3].

Az ipari hulladékok cementhelyettesítő anyagként való hasznosítása mellett kiemelt jelentőségű a klinker nyersanyagként történő felhasználásuk is, mellyel jelentős mértékben csökkenthető a CO₂ kibocsátás.

2.2 Hulladékok, mint beton adalékanyagok

Az adalékanyagoknak, amelyek a teljes betontérfogat mintegy 70%-át teszik ki, elsősorban töltő szerepe van az építőanyagokban. A természetes aggregátumok (homok, kavics) felhasználása napjainkban igen jelentős, ezért a környezeti fenntarthatóság érdekében új, alternatív adalékanyagok használatára van szükség. A különféle ipari hulladékok adalékanyagként való felhasználása azért is tűnhet jó megoldásnak, mivel gyakran részt vehetnek a hidratációs reakcióban, optimalizálva az adalékanyag és a cement közötti határfelületi átmeneti zónát, ezáltal egy sűrűbb szerkezetet kialakítva [3]. Az adalékanyagok tekintetében megkülönböztetünk finom és durva adalékanyagot, melyek szemcseméret-határa kb. 4 mm. A természetes finom adalékanyagként használt homok, illetve durva adalékként használt kavics részleges helyettesítésére számos ipari hulladékot vizsgáltak már, mint pl. hulladék öntődei homokot, különféle salakokat (acélsalak, rézsalak, olvasztóke-mence salak, ferrokrómsalak), széntüzelésből származó pernyét és salakot [16], kerámiahulladék port, üveghulladékot, gumit [17], szénmeddőt [11], különböző mezőgazdasági hulladékot, duzzasztott agyagot, expandált polisztirolt (EPS), üveghabot stb. [18]. Ígéretes alternatívának tűnik az építési bontási hulladékokból kinyert aggregátumok újbóli felhasználása is [19], valamint a műanyag-hulladékok hasznosítása [7]. Ugyanakkor a különféle hulladékok adalékként való felhasználási mennyisége – hasonlóan a cementgyártásnál – korlátozott, alapvetően 30% körüli, melynek pontos mennyiségét az adott hulladék összetétele, a keverék bedolgozhatósága nagymértékben befolyásolja.

2.3 Kerámiaanyagok hulladékból

Az ipari hulladék-alapú kerámiákat – a kerámia nyersanyagok és ipari hulladékok hasonló kémiai összetételének köszönhetően – széles körben alkalmazzák az építőiparban. Leggyakrabban alkalmazott hulladékok az erőműi pernyék, üveghulladékpor, salakok stb. [3]. Ezen kívül számos más hulladékot is sikeresen alkalmaztak már kerámiagyártásnál, elsősorban porusképző anyagként [20]. A hulladék-alapú porózus kerámiák tulajdonságait nagymértékben befolyásolják a hulladékanyagok és az agyag tulajdonságai, valamint az olyan gyártási paraméterek, mint az anyagösszetétel, a szinterezési hőmérséklet és a tömörítési nyomás. Ezek a tényezők befolyásolják a kapott porózus kerámia tulajdonságait, beleértve a fizikai, mechanikai és toxicitási tulajdonságokat. A különféle hulladékok újrahhasznosítása a fokozott energiamegtakarítás és a zöld kerámiagyártás érdekében a hulladékgazdálkodás gazdaságos és praktikus megközelítéseként predestinálható. Ugyanakkor további, mélyreható kutatás szükséges a hulladék-alapú kerámiák szerkezetképző mechanizmusának megismeréséhez, mely hozzájárul e terület további fejlődéséhez. [3, 20]

2.4 Hulladékok az útépítésben

A cement, különféle adalékanyagok, aszfalt, kitermelt talaj az útépítés során általánosan használt anyagok. Ugyanakkor az első három termék nyersanyaga korlátozott mennyiségben áll rendelkezésre, drága és többnyire nem megújuló (pl. homok,

mészke és egyéb kőzetek), míg a talaj minősége sok esetben nem felel meg az előírt követelményeknek. Emiatt a homokos vagy puccolános ipari hulladékok használata az utépítési anyagok helyettesítésére vagy módosítására gazdaságos és környezetbarát megoldásnak tűnik.

Az utépítés során a szilárdság, a csúszásállóság és a tartósság a legfontosabb teljesítménymutatók, amelyeket ennek megfelelően a szilárd hulladék adagolása és fajtája is befolyásolhat. Az utépítés során leggyakrabban alkalmazott ipari hulladékok az erőműi pernyék és kohászati salakok, de emellett alkalmazható szénmeddő, vörösiszap, acélsalak, különböző bányameddők, ipari melléktermék gipsz, építési és bontási hulladékok, különböző műanyagok stb. [7, 21, 22].

Szinergikus hatás figyelhető meg a különböző ipari szilárd hulladékok (például pernye vagy salak és vörösiszap) együttes alkalmazásával. Az útalapanyag szilárdsága a hidratációs termékek képződésével javul, amelyek sűrűbbé teszik a szerkezetet. Ennek elsősorban az az oka, hogy a pernye jó puccolános aktivitással rendelkezik, a vörösiszap pedig lúgos anyag. A vörösiszap jobban stimulálja a pernye puccolános aktivitását, ezáltal az előkészített útalapanyag jó teljesítményű lesz [21].

A szilárdság mellett az útalapanyagok kimosódási (kioldódási) kockázatát is figyelembe kell venni, amikor a hulladékokat közvetlenül utépítésre alkalmazzák. Ha egyes hulladékokat hosszú távú és nagy léptékű burkolásra használnak fel, a hulladékban lévő nehézfémek idővel kimosódhatnak a talajba és a talajvízbe. Ezért minden esetben értékelni kell a hulladékokból származó káros szennyeződések környezetbe való hosszú távú valószínűsíthető kimosódási potenciálját, illetve a kockázat csökkentésére tehető intézkedéseket [22].

2.5 Hulladékok a téglagyártásban

A téglazártó ipar egyik fontos alapanyaga, amely iránt óriási a kereslet. Hagyományos alapanyagai az agyag és a homok. Ugyanakkor az ipari hulladékok részleges nyersanyagként való alkalmazása szintén jó választásnak tekinthető téglagyártáshoz. Számos hulladékot vizsgáltak már téglagyártásba való beépítésére; például papírfeldolgozási maradékok, pernye, szárított iszap, polisztirolhab, műanyag szál, szalma, polisztirol szövet, gyapothulladék, granulált kohósalak, gumi, cellulóz gyártási maradvány, mészkepor és fűrészpor, papírhulladék [23]. Ezek a kutatások elsősorban kísérleti stádiumban vannak, bár számos tanulmány ártalmatlannak minősítette a hulladék-alapú téglákat, gyakorlati alkalmazásuk gyakran nem megengedett. Az utépítési anyagokhoz hasonlóan a hulladék-alapú téglazártás alkalmazása is átfogóbb értékelést igényel a környezetbiztonságuk biztosítása érdekében [3].

3. Geopolimerek mint új típusú építőanyagok

A geopolimer kötőanyagok különböző adalékanyagokkal való keverésével speciális tulajdonságú kompozitok állíthatók elő, amelyek a hozzáadott adalékanyagtól függően megfelelő szilárdsági jellemzők mellett többek között hőszigetelő és lángálló tulajdonságokkal is rendelkezhetnek.

Az alábbiakban a Miskolci Egyetemen végzett kutatásokon keresztül kerülnek bemutatásra a geopolimerek különböző alkalmazási lehetőségei.

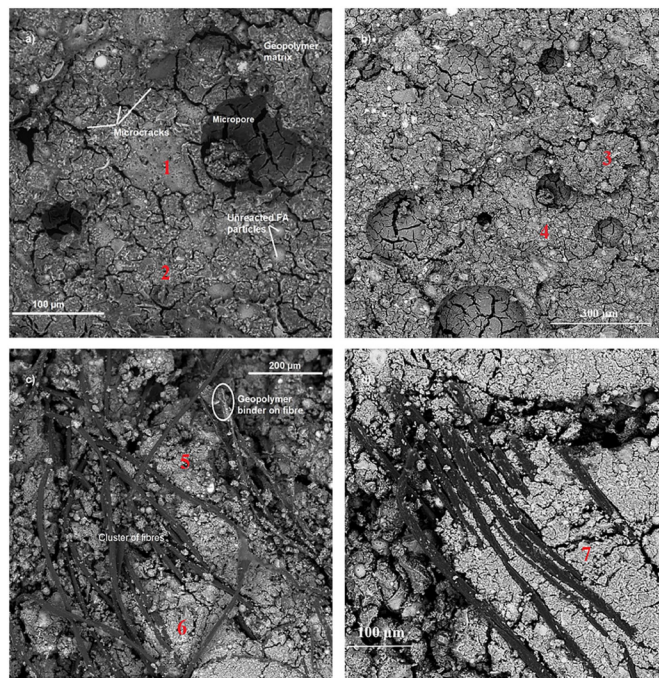
3.1 Geopolimer beton

A Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítés és Környezettudomány Intézete (NyKI) a geopolimer kötőanyagfejlesztéssel közel egy időben kezdett el foglalkozni geopolimer betonok előállításával. A kutatási eredmények során megállapítást nyert, hogy a hazai ipari hulladékok (erőműi pernye, vörösiszap, kohászati salak) szinergikus hasznosításával megfelelő szilárdsági és fagyállósági tulajdonságokkal bíró geopolimer beton fejleszthető [24,25].

3.2 Szálerősített geopolimer kompozitok

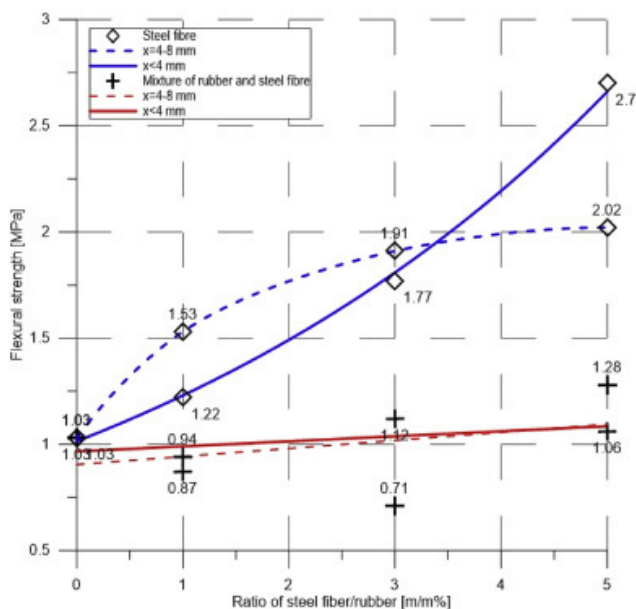
A geopolimer kompozitok mechanikai stabilitását (elsősorban hajlítószilárdságát) különféle szálerősítő anyagokkal lehet javítani. Szálerősített geopolimer kompozitok előállítása terén is számos kutatást végeztek az NyKI-ben. A kutatások különféle hulladékok (gumibroncsból származó acélszalak, biomassa, textilhulladékok) szálerősítő hatását vizsgálták [26-28].

Ambrus és Mucsi [28] tanulmányukban megállapították, hogy a textilhulladék mennyiségének növelése a geopolimer mátrixban jelentősen (110%-kal) növelte a kompozitok hajlítószilárdságát a textilhulladékmentes geopolimerekéhez viszonyítva, míg a nyomószilárdság csak kismértékben (20%) csökkent, ami a textilhulladék szálak szálerősítő anyagként való hatékonyságát jelzi (1. ábra).



1. ábra Geopolimer kompozitok SEM felvétele ((a, b) alap és (c, d) szálerősített (5 m/m%-os acélszál-erősítés) [28]

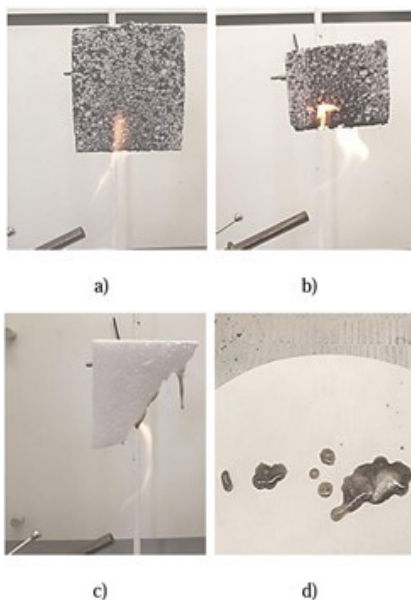
Mucsi és mtsai. [26] kutatásuk során megállapították, hogy a gumibroncsból származó, tiszta acélszalakat tartalmazó próbatestek szilárdsága nagyobb volt, mint az acélszál mellett gumiszennyeződést tartalmazó geopolimer kompozitoké. Megfigyelték továbbá, hogy a szálak mennyiségének növelése pozitív hatással volt a szilárdságra. Az 5 m/m%-os acélszál-erősítés jelentős nyomószilárdság- és háromszoros hajlítószilárdságnövekedést mutatott a tiszta geopolimerhez képest (2. ábra).



2. ábra Geopolimer kompozit hajlítószilárdságának változása az acélszál/gumitartalom függvényében [26]

3.3 Könnyű geopolimer kompozitok

Könnyű geopolimerek készíthetők nem csak kémiai habosító szerek alkalmazásával [29], hanem különféle könnyű adalékanyagok geopolimer mátrixba történő beágyazásával is. Az így kapott kompozitok többek között kiváló szilárdsági, hőszigetelő, és lángálló tulajdonságokkal rendelkezhetnek. A Miskolci Egyetem ipari együttműködés keretében polisztirol hulladék-alapú geopolimer kompozit hőszigetelő anyag fejlesztésével foglalkozott. A kutatómunka eredményeként olyan szigetelőanyagot fejlesztettek, amely a hagyományos polisztirol szigetelőanyaghoz képest jobb szilárdsági és lángállósági (3. ábra) [30] tulajdonsága mellett hőszigetelő tulajdonsága [31] is figyelemreméltó volt.



3. ábra Képek a lángállósági vizsgálatokról, a) EPS tartalom 90 V/V%, b) EPS tartalom 98 V/V%, c) EPS tartalom 100 V/V%, d) 100% EPS csepegő terméke [30]

Másik jelentős kutatás az NyKI részéről a könnyűadalék töltésű geopolimer kompozit fejlesztése, amelynek eredményeként olyan szabadalmaztatott eljárást dolgozott ki, amellyel különféle, főként hulladékalapú könnyűadalékok (pl. üveghab, expandált polisztirol hulladék, valamint duzzasztott perlit [32]) felhasználása mellett állítható elő hőszigetelő kompozit.

Az NyKI-ben végzett kutatások főbb eredménytermékei (a teljeség igénye nélkül) a 4. ábrán láthatók, amelyen a pernye és vörösiszaptartalmú geopolimer kötőanyagok mellett különféle kompozitok (geopolimer beton, duzzasztott perlit-geopolimer kompozit) és geopolimer hab termékek is megtalálhatók.



4. ábra Az NyKI-ben fejlesztett főbb geopolimer termékek

4. Összegzés

A tanulmány különféle hulladékok (pl. ipari, építési és bontási, üveghulladékok stb.), építő- és építőanyagipari nyers- és alapanyagként való felhasználási lehetőségét mutatja be. A hulladékok tekintetében a legjelentősebb felhasználás a cement- és betoniparban, valamint az útpépítésben mutatkozik, de különféle kerámiák és a téglagyártás során is számos hulladék hasznosítható. A legszélesebb körben használt hulladékok az ipari hulladékok (úgy mint erőműi pernyék, kohászati salakok), emellett az utóbbi években az építési és bontási hulladékok hasznosítása is előtérbe került a megnövekedett mennyiségüknek köszönhetően. Ugyanakkor a primer nyersanyagok hulladékokkal való részleges helyettesítése a termék tulajdonságaiban és a keverékek bedolgozhatóságában is változást idézhet elő, amely a hulladék összetételének ismeretében és megfelelő keveréktervezéssel jól szabályozható, így a hulladék jótékony hatásait kihasználva, szinergikusan hasznosíthatóvá válnak.

A hagyományos építőanyagok mellett az utóbbi évtizedekben jelentős figyelmet kaptak a geopolimerek, melyeket főként hulladékok hasznosításával állítanak elő. A Miskolci Egyetem Magyarországon elsőként foglalkozott geopolimerek és kompozitok előállításával. Az előállított termékek kiváló mechanikai tulajdonságain túl, tűzálló és hőszigetelő tulajdonságokkal is rendelkeztek.

Irodalomjegyzék

- [1] Gehlot, M. R., Shrivastava, S. (2023). Solid industrial waste generation and its valorization in developing sustainable building materials- A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*. July 2023, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.134>
- [2] Soni, A., Das, P.K., Hashmi, A.W., Yusuf, M., Kamyab, H., Chelliapan, S. (2022) Challenges and opportunities of utilizing municipal solid waste as alternative building materials for sustainable development goals: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, Vol. 27, June 2022, 100706, <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100706>
- [3] Guo, X., Zeng, M., Yu, H., Lin, F., Li, J., Wang, W., Chen, G. (2024) Critical review for the potential analysis of material utilization from inorganic industrial solid waste. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 459, June 2024, 142457, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142457>
- [4] Bolden, J., Abu-Lebdeh, T., and Fini, E. (2013) Utilization of recycled and waste materials in various construction applications. *American Journal of Environmental Sciences*. Vol. 9, No.1, January 2013, pp. 14–24, <https://doi.org/10.3844/ajessp.2013.14.24>
- [5] Wang, S., Yan, W., & Zhao, F. (2020) Recovery of solid waste as functional heterogeneous catalysts for organic pollutant removal and biodiesel production. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 401, December 2020, 126104, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126104>
- [6] Bao, J., Sun, X., Ning, P., Li, K., Yang, J., Wang, F., Shi, L., Fan, M. (2024) Industrial solid wastes to environmental protection materials for removal of gaseous pollutants: A review. *Green Energy & Environment*. in press, January 2024, <https://doi.org/10.1016/j.gee.2024.01.006>
- [7] Ahmed, N. (2023) Utilizing plastic waste in the building and construction industry: A pathway towards the circular economy. *Construction and Building Materials*. Vol. 383, June 2023, 131311, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131311>
- [8] Davidovits, J., (1991) Geopolymers – Inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis*, Vol. 37, August 1991, pp. 1633–1656, <https://doi.org/10.1007/BF01912193>
- [9] Komnitsas, K., & Zaharaki, D. (2007). Geopolymerisation: A review and prospects for the mineral industry. *Mineral Engineering*. Vol. 20, Issue 14, November 2007, pp. 1261–1277, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.07.011>
- [10] El-Dieb, A. S., & Kanaan, D. M. (2018) Ceramic waste powder an alternative cement replacement – Characterization and evaluation. *Sustainable Materials and Technologies*. Vol. 17, September 2018, e00063, <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.e00063>
- [11] Yu, L., Xia, J., Xia, Z., Chen, M., Wang, J., Zhang, Y. (2022) Study on the mechanical behavior and micro-mechanism of concrete with coal gangue fine and coarse aggregate. *Construction and Building Materials*. Vol. 338, July 2022, 127626, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127626>
- [12] Wu, S., Wang, W., Ren, C., Yao, X., Yao, Y., Zhang, Q., & Li, Z. (2019) Calcination of calcium sulphoaluminate cement using flue gas desulfurization gypsum as whole calcium oxide source. *Construction and Building Materials*. Vol. 228, December 2019, 116676, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116676>
- [13] Tan, H., Nie, K., He, X., Deng, X., Zhang, X., Su, Y., & Yang, J. (2019) Compressive strength and hydration of high-volume wet-grinded coal fly ash cementitious materials. *Construction and Building Materials*. Vol. 206, May 2019, pp. 248–260, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.038>
- [14] Wang, A., Liu, P., Mo, L., Liu, K., Ma, R., Guan, Y., Sun, D. (2022) Mechanism of thermal activation on granular coal gangue and its impact on the performance of cement mortars. *Journal of Building Engineering*. Vol. 45, January 2022, 103616, <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103616>
- [15] Hwang, S. S., Moreno Cortés, C. M. (2021) Properties of mortar and pervious concrete with co-utilization of coal fly ash and waste glass powder as partial cement replacements. *Construction and Building Materials*. Vol. 270, February 2021, 121415, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121415>
- [16] Dash, M. K., Patro, S. K., & Rath, A. K. (2016) Sustainable use of industrial-waste as partial replacement of fine aggregate for preparation of concrete – A review. *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol. 5, Issue 2, December 2016, pp. 484–516, <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.04.006>
- [17] Sabbrojjaman, M., Liu, Y., Tafsirojjaman, T. (2024) A comparative review on the utilisation of recycled waste glass, ceramic and rubber as fine aggregate on high performance concrete: Mechanical and durability properties. *Developments in the Built Environment*. Vol. 17, March 2024, 100371, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100371>
- [18] Chinnu, S. N., Minnu, S. N., Bahurudeen, A., & Senthilkumar, R. (2021) Recycling of industrial and agricultural wastes as alternative coarse aggregates: A step towards cleaner production of concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 287, June 2021, 123056, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123056>
- [19] Salgado, F.A., Silva, F.A. (2022) Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review. *Journal of Building Engineering*. Vol. 52, July 2022, 104452, <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104452>
- [20] Salleh, S. Z., Awang Kechik, A., Yusoff, A. H., Taib, M. A. A., Mohamad Nor, M., Mohamad, M., ... Teo, P. T. (2021) Recycling food, agricultural, and industrial wastes as pore-forming agents for sustainable porous ceramic production: A review. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 306, July 2021, 127264, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127264>
- [21] Gu, J., Liu, X., Zhang, Z. (2023) Road base materials prepared by multi-industrial solid wastes in China: A review. *Construction and Building Materials*. Vol. 373, April 2023, 130860, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130860>
- [22] Khan, Z.A., Balunaini, U., Costa, S. (2024) Environmental feasibility and implications in using recycled construction and demolition waste aggregates in road construction based on leaching and life cycle assessment – A state-of-the-art review. *Cleaner Materials*. Vol. 12, June 2024, 100239, <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100239>
- [23] Raut, S. P., Ralegaonkar, R. V., & Mandavgane, S. A. (2011) Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction and Building Materials*. Vol. 25, Issue 10, October 2011, pp. 4037–4042, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.038>
- [24] Mucsi, G., Rácz, Á., Molnár, Z., Szabó, R., Gombkötő, I., Debreczeni, Á. (2014) Synergetic use of lignite fly ash and metallurgical converter slag in geopolymer concrete. *Mining Science*. Vol. 21, pp. 43–55, <https://doi.org/10.5277/ms142104>
- [25] Mucsi, G., Szabó, R., Kristály, F., Gombkötő, I. (2018) Szilikát-tartalmú hulladékok együttes hasznosítása - Combined utilization of various silicate bearing wastes. In: *Meddő? Hulladék? NEM! HASZONANYAG! 2017*, Budapest, Magyarország, pp. 277–290, <http://real.mtak.hu/id/eprint/63572>
- [26] Mucsi, G., Szenczi, Á., Nagy, S. (2018) Fiber reinforced geopolymer from synergetic utilization of fly ash and waste tire. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 178, March 2018, pp. 429–440, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.018>
- [27] Ambrus, M., Halyag, N., Czupry, I., Szalay, D., Mucsi, G. (2020) Mechanical and structural properties of biomass-geopolymer composites. *Geosciences and Engineering*, Vol. 8, Issue 12, pp. 47–60.
- [28] Ambrus, M., Mucsi, G. (2024) Open-loop recycling of end-of-life textiles as geopolymer fibre reinforcement. *Waste Management & Research*, 2024, <https://doi.org/10.1177/0734242X241242708>
- [29] Szabó, R. (2020) Speciális tulajdonságú geopolimerek fejlesztése, különös tekintettel a habszerkezetű termékekre. *Doktori értekezés*, Miskolci Egyetem, Miskolc, <http://doi.org/10.14750/ME.2020.009>
- [30] Mucsi, G., Szabó, R., Nagy, S., Bohács, K., Gombkötő, I., & Debreczeni, Á. (2017) Development of polystyrene-geopolymer composite for thermal insulating material and its properties with special regards to flame resistance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 251, 012079, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/251/1/012079>
- [31] Magyar, T., Fajtli, J., Szabó, R. (2017) Geopolimer-EPS kompozit szigetelő anyagok eredő hővezetési tényezőjének elméleti és kísérleti vizsgálata. *Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials*. Vol. 69, No.3, pp. 74–82, <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2017.13>
- [32] Szabó, R., Dolgos, F., Debreczeni, Á., Mucsi, G. (2022) Characterization of mechanically activated fly ash-based lightweight geopolymer composite prepared with ultrahigh expanded perlite content. *Ceramics International*. Vol. 48, Issue 3, February 2022, pp. 4261–4269, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.10.218>

Alapanyagok hatása a korszerű betontechnológiákra

Dr. NEHME SALEM PhD • BME, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Absztrakt

Nem csak az alapanyagok befolyásolják a beton mechanikai, fizikai és kémiai (tartóssági) tulajdonságait, hanem a digitalizáció és a digitális technológia előretörése is, az építőipar minden ágazata és a fenntarthatóság mellett. Folyamatosan nő az érdeklődés a digitális eszközök, az újféle folyamatok és a 3D betonnyomtatás iránt is. A digitalizáció az új irány és a hajtóerő, amelynek célja a termelékenység javulása és az építési idő csökkentése.

Kulcsszavak: alapanyagok, adalékszerek, cementek, finomsági modulus, fajlagos felület, kitéti osztályok, 3D nyomtatás

1. Bevezetés

Az építőipar történelmileg lemaradt a többi jelentős iparágtól a technológiai innováció terén. Az iparág összetettsége és az építési folyamat különböző elemeire szakosodott kisvállalkozások széttagozottsága lelassította az új technológiák bevezetését. A legtöbb építési projekt egyedi követelményei számos lehetőséget korlátoztak a méretgazdaságosság megteremtésére, amely támogatja a más iparágakban történő technológiákba való befektetést. A világon egyre nagyobb szükség van olyan intelligens és fenntartható építőanyagok kifejlesztésére, amelyek minimális klímaváltozást okozó gázt termelnek a gyártásuk során. A modern civil infrastruktúra tagadhatatlanul a cement alapú anyagoktól függ. Az új infrastruktúra fejlesztésére, a világ minden korábnál nagyobb igénye megköveteli a hatékony, fenntartható és tartós építőanyagok építését, amelyek minimális klímaváltozást okozó gázt termelnek gyártásuk során. A közelmúltbeli fejlemények azonban számos feltörekvő építési technológia hatékonyságát, rugalmasságát és alkalmazkodóképességét növelik, így a cégek költséghatékonyabbá teszik azokat. Az építőiparban tapasztalható jelentős és elhúzódó munkaerőhiány a hagyományos építési módok költségeit is növeli, vonzóbbá téve a munkaerő- és időtakarékos technológiákat.

Az innováció azonban önmagában nem lesz elég.

2. Fenntartható anyagok

Sajnos a beton nem tartozik a fenntartható anyagok közé, emiatt folynak kutatások, hogy hogyan lehet csökkenteni a karbonlábnyomot. Mivel több kiegészítő kötőanyag, pl. kohósalak és pernye, keletkezik az EU területén minimálisra csökkent és nem lehet biztonsággal kivitelezni (pl. Paks II), emiatt más és újfajta kiegészítőanyagok utánpótlásáról kell gondoskodni.

Ezeknek a kiegészítőanyagoknak általában sokkal kisebbnek kell lennie a karbonlábnyomuknak, mint a klinkerásványoké, a természetes puccolános anyagoké vagy a hulladékoké.

Egyes esetekben segíthetnek az építőipari vállalatoknak a költségek csökkentésében és a hulladék csökkentésében. Az újrahasznosított beton például lehetővé teszi az építőipari vállalatok számára, hogy új „életet” találjanak annak a betonnak, amely egyébként hulladéklerakóba került volna.

3. Additív gyártás

Az additív gyártási technológiák – például a 3D nyomtatás – segítenek a vállalkozásoknak olyan építőanyagok előállításában, amelyek minimálisra csökkentik a hulladék mennyiségét. A nagy, speciális 3D nyomtatók gyárakban vagy a helyszínen monolit szerkezetek kivitelezésében használhatók, például betonpanelek nyomtatására új lakóegységekhez.

Ez a folyamat lehetővé teszi a vállalkozások számára, hogy jelentősen felgyorsítsák az építési folyamatot. Bár a 3D nyomtatás még nem tudja teljesen automatizálni az építkezést – még mindig szükség van a betonacél beillesztéséhez a nyomtatott betonszerkezetekbe –, az új anyagok hamarosan megváltoztathatják ezt.

4. Nanotechnológia a betontechnológiában

Manapság több beton alapanyaga nanotechnológiával készül [nanocement, kiegészítőanyagok (lásd külön fejezet) és adalékszerek], amely befolyásolja a beton mechanikai tulajdonságait és tartósságát.

Betontechnológiában alkalmazott nanotechnológiák közé az alábbiakat soroljuk:

- Nanocementtel, beleértve nanocső-szálerősítéssel, előállított nagy teljesítőképességű betonok (lásd 4.1. fejezet).
- Nanotechnológias adalékszerek alkalmazása pl. újgenerációs légbuborékképző adalékszerek (lásd 4.2. fejezet).
- Betonok vízzáróságának fokozása nanokiegészítőanyagokkal, pl. tömítőanyagokkal (lásd 4.3. fejezet).
- Különleges betonok készítése, pl. 3D betonnyomtatás (lásd 4.4. fejezet).
- Öntisztuló Betonok készítése (lásd 4.5. ábra)

4.1 Nanocement

A világméretű átvilágítási jelentés alapján nyilvánvaló, hogy a portlandcement a legelterjedtebb és legszélesebb körben használt építőanyag, és jelenlegi termelése évi ~2 milliárd tonnára becsülhető. A szakirodalmat áttekintve látható, hogy a cementben található oxidösszetétel (SiO_2 , CaO , Al_2O_3 és Fe_2O_3) bőséges forrása a földkéreg (90%). A földkéreg elsődleges

nyersanyagként szolgál a cementgyártás során [1]. Ezenkívül a jelentések szerint 1 tonna cement előállítása során 700–800 kg CO₂ szabadul fel [2].

A CO₂ az üvegházhatású gázok elsődleges összetevője, ami globális felmelegedést és környezetszennyezést okoz. Ezért azonnali gyakorlati megoldásra van szükség a CO₂-kibocsátás csökkentésére. Ennek megfelelően elengedhetetlen, hogy a cementet a klinkerezési módszertől eltérő alternatív módszerrel állítsák elő. Ebben a tekintetben a nanotechnológia lenne az egyik biztató megoldás. A közelmúltban a modern vizsgálati technikák rendelkezésre állása miatt lehetőség nyílik a beton nanoméretű vizsgálataira [3, 4].

A nanotechnológia biztató hatásai mindenképpen érinteni fogják az építő- és építőanyagok területét. Kezdetben azt várták, hogy a beton mechanikai teljesítménye és tartóssága javítható a beton porozitásának csökkentésével. Ez csak akkor lehetséges, ha a cementkő kapilláris pórusait csökkentik, vagy a pórusokat diffúzióját korlátozzák egyes adalékok hasonló kapilláris pórusméret-tartományhoz való asszimilációjával.

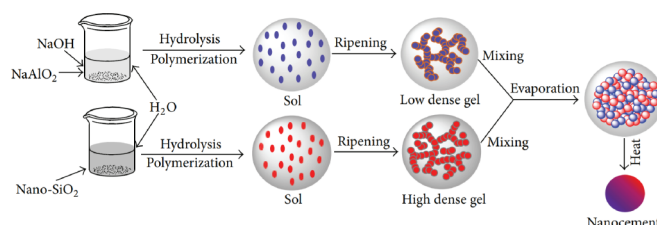
A cementhidratációs termékként a kalcium-szilikát-hidrátok (C-S-H) alapszerkezeti egységének mérete a nanométeres tartományba esik. A C-S-H nanoméretű jellemzőinek megértése elősegítheti a cement alapú anyagok (CBMS) fizikai-kémiai természetének hatékony manipulálását [5]. Ezért a nanoanyagok alkalmazása a CBMS-ben, amelyek jelentős hatással vannak a C-S-H módosítására, az egyik legjobb módja a CBMS-el kapcsolatos, alacsony húzószilárdságra és repedésre való hajlam kezelésének.

Az utóbbi időben jelentős figyelmet kapott a nanoanyagok használata a CBMS mechanikai tulajdonságainak és tartóssági teljesítményének javítására. Úgy gondolják, hogy a nanoanyagok CBMS-ben való keverésének javítása elsősorban két megközelítésből fakad:

- 1) kiváló töltőanyagként és
- 2) a cement hidratálásában [6].

A nanotítán fotokatalitikus hatásáról általában az irodalom is beszámol, ami a CBMS felületét ultraibolya fény jelenlétében öntisztító képességgel ruhazza fel [7]. A cementkompozitok nanoanyagok keverésével történő funkcionálítása azonban kívül esik ennek az áttekintésnek a hatókörén. Ez a munka a CBMS fizikai károsodásokkal, kémiai károsodásokkal és betonacél korrózióval szembeni ellenállásának növelésére összpontosít nanotechnológia alkalmazásával. Annak ellenére, hogy a nanoanyagok a CBMS egyes tulajdonságaiban hiányosságokat okozhatnak, mint például az ultrafinom részecskék nagy vízigénye miatti csökkent bedolgozhatóságot, mégis a CBMS műszaki tulajdonságaira gyakorolt jótékony hatásai egyértelműen bebizonyítottak [6]. A leggyakrabban használt nanoanyagok a nanoméretű gömb alakú részecskék (nano-SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ stb.), a nanocsövek és -szálak (nevezetesen szén nanocső (CNT) és szén nanoszálak (CNF)), valamint a nanolemezek (nanoagyag, grafén és grafit-oxid) [8]. Így a nanoméretű szerkezetet jellemzi, hogy kiváló mechanikai teljesítménnyel és tartóssággal rendelkező, többfunkciós cement-kompozitokat hozunk létre, mint a gömb alakú nanoanyagok (pl. szilikaport) és a kiegészítőanyag keverése során a beton előállításához [9].

A szakirodalmat áttekintve azt jósolják, hogy a külső nanoanyag cementrendszerbe történő beépítése javítja a cementkötésű anyagok fizikai jellemzőit, mechanikai tulajdonságait és teljesítményét; az eljárás azonban nem képes csökkenteni a cementgyártás során a CO₂ kibocsátást. A meglévő szakirodalom áttekintéséből kitűnik, hogy a cementkötésű anyag CO₂ kibocsátás nélküli előállítását még nem vizsgálták. Egy korábbi tanulmányunkban [10] bemutatták az alternatív cementkötésű anyag kémiai szintézisét; a szerkezeti tulajdonságok összefüggését azonban nem értékelték. A CO₂ kibocsátás minimalizálása és az alternatív cementkötésű anyagok előállítása érdekében megpróbáltuk egy innovatív alternatív utat kialakítani. Ebben a vizsgálatban a cementkötésű anyag kémiai szintézisét, szerkezeti tulajdonságainak összefüggéseit és alkalmazását tanulmányozták. A nanocement kémiai szintézise bizonyítottan nagyon hatékony nemcsak a cement alapú anyagok fizikai és mechanikai teljesítményének javításában, hanem a gyártás során a CO₂ kibocsátás csökkentésében is.



1. ábra Valószínű modell a nanocement kémiai szintéziséhez alulról felfelé építkező nanotechnológiával

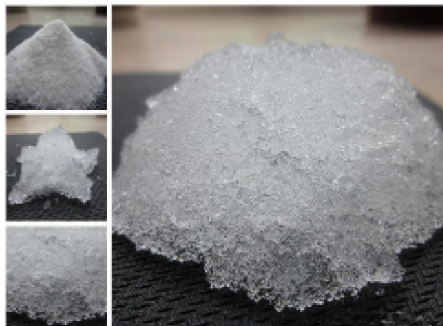
Az 1. ábra a nanocement szintéziséhez kapcsolódó elfogadható modellt mutatja be. Kezdetben a kiindulási nátrium-alumínátot (NaAlO₂) 90 °C-os lúgos vízben oldottak fel, így nátrium-alumínium-hidroxid üvegszerű lánc keletkezett, és ezzel egyidejűleg a nanoszilícium-dioxidot vízben oldva nagy sűrűségű hidratált gél kaptak. Ezt követően a nátrium-alumínium-hidroxid üvegszerű gél és a hidratált szilícium-dioxid nagy sűrűségű géllal történő összekeverése nátrium-alumínium-szilikát vegyületek képződéséhez vezet [11].

4.2 Adalékszerkezetek

Új generáció légbuborékképző adalékszerkezetek szuperabszorbens polimerek (SAP) előnyös tulajdonságait hordozza magában más speciális, akár fagyásnak, sózásnak kitett betonra szabott tulajdonságokkal együtt. Ugyanakkor a termék – a jelenleg érvényben lévő német nyelvű műszaki adatlapja szerint – viszkozitást módosító adalékszerként van pillanatnyilag forgalomban, mivel a műszaki engedély még nem készült el, mely a fagy- és olvasztósó ellenállóképességet javító hatású adalékszerként való forgalomba hozatalát lehetővé tenné.

A térhálósított polimerek nagy mennyiségű folyadékot képesek felvenni és magukban tartani, mely eredményeként megduzzadnak és lágy gél képeznek. Saját tömegükhöz képest 200-500-szoros vízmennyiséget is képesek felszívni és a SAP-k úgy vannak megtervezve, hogy a felszívott vizet magukban tartják. Mindemellett viszont érzékenyek a magas ionkoncentrációkra, így sok jelenlétében 10-ed annyi a vízfelvételük – mely tulajdonság a fagyvédő sózással érintett alkalmazási területeken egyáltalán nem előnyös.

Ezért a gyártócégek olyan anyagot fejlesztettek ki, mely képes a gyorsan felszívott víz (vagy sóoldat) lassú leadására, és a magas ionkoncentrációra is kevésbé érzékeny (SISA= sótartalmú szuperabszorbens) (2. ábra).



2. ábra Száraz- és gél állapotban

A vízfelvétel meghatározása ún. teafilter-teszt módszerrel végezhető el, mely lépései a következők:

- a filterzsák „szövetének” telítése vizsgálati oldattal, majd mérlegelés (0-tömeg),
- nedves filterzsák megtöltése száraz SAP-részecskékkel, majd filter lezárása, oldatba helyezése,
- oldattal/vízzel telített zsákokból a felesleges, SAP által fel nem szívott szabad víz kicsepegtetése,
- mérlegelés – megkötött víz/oldat mennyiségét kapjuk.

A BME Építőanyagok és Magasépítés tanszék laboratóriumában a fenti módszerrel elvégzett vizsgálatok tapasztalatai az egyik fajta anyagnak az alábbiak voltak:

- a maximális vízfelvétel 90% -át az első 10 perc alatt eléri,
- nincs veszteség a felvett vízmennyiségben legalább 2 órán keresztül, tehát a SAP stabil,
- maximális vízfelvétel 240 perc után: 35 g/g.

Az anyagot betonkeverékben használva elsődlegesen az tapasztalható, hogy az etalonkeverékkel azonos vízadagolás mellett a terület mértéke erőteljesen csökken, vagyis a konzisztencia – ezáltal a bedolgozhatóság – romlik. Ezáltal ugyanazon konzisztencia eléréséhez további 10-20 l/m³ víz adagolására van szükség a friss betonban.

4.3 Cementkiegészítőanyagok (SCM)

A beton előnye közé tartozik, hogy sokoldalúan felhasználható. Megfelelő receptúra összeállításával kellő teherbírású, tartós szerkezetek hozhatók létre belőle.

Manapság számos kutatás témája új anyagok felhasználásával speciális tulajdonságú keverékek előállítása. A szilárdság mellett a tartósság is rendkívül fontos tényező, mivel biztosítani kell, a megépült szerkezet megfelelő ellenállását a káros környezeti hatásoknak. A mai betongyártásnak az egyik legjelentősebb mellékhatása az évente több, mint 1000 Mt [12] portlandcement előállítása során keletkező nagy mennyiségű CO₂, amely környezetvédelmi fontosságú a mennyiség csökkenése (lásd 3. ábra). Ez jelenleg körülbelül a világ teljes széndioxid kibocsátás 5%-át teszi ki. Ha a beton készítése során különböző kiegészítőanyagokat is alkalmazunk, legyen az gyártási melléktermék, amely éves mennyisége akár a cement-

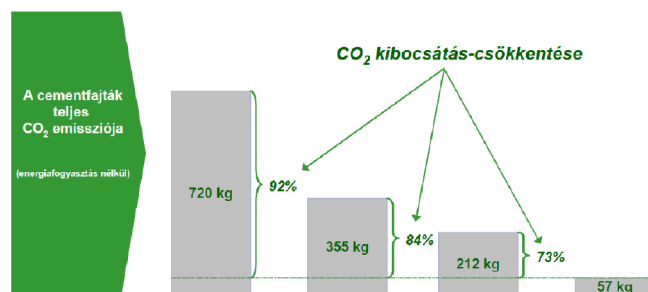
mennyiség kétszeresét is meghaladhatja, vagy egyéb forrásból származó anyag, azzal csökkenthetjük a szükséges cement mennyiségét, energiát takaríthatunk meg, nagyobb szilárdságú, tartósabb szerkezeteket hozhatunk létre. Ilyen kiegészítőanyag például a pernye, granulált kohósalak, a szilikapor, a metakaolin, a mészköliszt.

A kiegészítőanyagok alkalmazásával jobb tapadás érhető el a cementpép és az adalékanyag illetve a cementpép és az acélbetétek között, amely jelentősen növeli a szerkezet teherbírását [13].

A kísérlet célja különböző betonreceptúrák összeállításával megvizsgálni a mészköliszt, a szilikapor és a metakaolin hatását friss és megszilárdult betonok és öntömörödő betonok tulajdonságaira, a szilárdulás folyamatára szokványos és öntömörödő betonok esetében is

CEMENT-fajta	CEM I	CEM III/A (50% kohósalak)	CEM III/B (75% kohósalak)	SLAGSTAR C ₃ A-mentes
CEMENT KLINGER-TARTALMA %-BAN	90%	40%	20%	0%

A számításokhoz: 1 tonna klinker = 0,8 t CO₂ emisszió. 1 t kohósalak = 0,07 t CO₂ emisszió a kohósalak szártításából



3. ábra Egy tonna cement előállításánál keletkező CO₂ emisszió (Novák et al, 2009)

A kiegészítőanyagokat három nagy csoportba sorolhatjuk tulajdonságaik szerint

- hidraulikus anyagok,
- inert anyagok,
- puccolános tulajdonságú anyagok.

Adagolásuk általában a cement tömegére vonatkoztatva történik. A keverékhez adhatjuk őket kiegészítésként vagy a hidraulikus és puccolános anyagok esetén akár a cement egy részét is helyettesíthetjük velük.

4.3.1 Hidraulikus anyagok

A hidraulikus kötőanyagok eredetük szerint lehetnek zsugorított vagy olvasztott mesterséges anyagok. Jellemzőjük, hogy csak víz jelenlétében kötnek és szilárdulnak, ilyen anyag például a kohósalak vagy a pernye [14].

A kalcium-szilikátok vízzel való érintkezés utáni reakciót a következő egyenletekkel lehet leírni [15]:



Az alitból és belitből is víz hozzáadásával kalcium-szilikát-hidrát (CSH) és kalcium-hidroxid (CH) keletkezik. A reakciókat a komponensek tömege szerint vizsgálva megállapítható, hogy a C₃S-ból több mint kétszer annyi CH keletkezik, mint a C₂S-ból [15]. A CH kialakulása pl. savállósági szempontból káros és emiatt a beton tönkremenetelére vezet.

4.3.2 Inert anyagok

Közömbös anyagoknak nevezzük, amelyek, az adott feltételek között a betont alkotóanyagaival nem lépnek kémiai reakcióba, csupán töltőanyagként működnek. Ide tartozik például a kvarcisz, a mészköliszt vagy a pigmentek. Természetesen nem nanotechnológiával gyártott anyagokról van szó.

4.3.3 Puccolános tulajdonságú anyagok

A puccolános anyagokat eredetük szerint két nagy csoportba oszthatjuk: természetes puccolánok, és gyártási melléktermékek. A puccolános anyagok aktív komponensei eltérőek (1. táblázat).

Kategória	Tipikus anyagok	Aktív komponens
Természetes anyagok	vulkáni hamu	alumínium-szilikát
	horzsakő	alumínium-szilikát
	kovaföld	amorf hidratált szilika
	pernye	alumínium-szilikát kalcium-alumínium-szilikát
Melléktermékek	szilikapor	amorf szilika
	rice husk ash	amorf szilika
	kalcinált agyagok	amorf alumínium-szilikát

1. táblázat Puccolánok és aktív komponenseik [16]

A puccolános reakció során a kiegészítőanyagban található szilika kémiai reakcióba lép a kalcium-szilikátok hidratációja során létrejövő CH-dal. Ez a következő egyszerűsített egyenlettel írható le [16]:

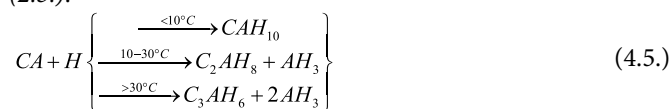


Az így létrejövő CSH szerkezete csak kis mértékben tér el a portlandcement hidratációjából létrejövő CSH szerkezetétől, így tehát hozzájárul a szilárdság növekedéséhez.

Ha az anyag nagyobb mennyiségű reakcióképes alumíniumot is tartalmaz, akkor a CSH mellett CAH (kalcium-aluminát-hidrát) is létrejön [16]:



A CAH pontos összetétele a külső hőmérséklet függvénye (2.5.):



A létrejövő CAH_{10} és C_2AH_8 metastabil, ha a beton hőmérséklete $30^\circ C$ fölé emelkedik, C_3AH_6 -tá alakulnak. Ez a változás porozitás növekedéssel jár, amely szilárdság és tartósság veszteségre vezet, emiatt gondosan kell választani az adagolt mennyiséget és a cement fajtát.

A (4.3.) és (4.4.) egyenletekből megállapítható, hogy mindkét reakcióhoz megfelelő vízmennyiség szükséges. A kiegészítőanyagok szilárdságnövelő hatása csak abban az esetben biztosítható, ha a beton vizes utókezelése hosszabb, mint a hagyományos betonoké. Ellenkező esetben csak töltőanyagként funkcionálnak.

A puccolános kiegészítőanyag reakciókinetikája hasonló, mint a C_2S -é. Ebből következően ez is lassan megy végbe, ezzel csökkentve a kezdeti hőmennyiség kialakulását és a kezdeti szilárdságot [16].

A különböző anyagok eltérő mennyiségű CH-ot használnak fel reakciójuk során, így ezzel a tulajdonságukkal mérhető a reakcióképességük. A Chapelle teszttel meghatározott értékeket mutatja be a 2. táblázat. A teszt lényege, hogy a higított puccolános anyagot léptetjük reakcióba a CH-dal, miközben állandó $95^\circ C$ -os hőmérsékletet biztosítunk. 18 óra elteltével megmérjük a reakció során felhasznált CH mennyiséget.

Puccolános tulajdonságú anyag	Elhasznált $Ca(OH)_2$ grammonként, mg
Kohósalak	40
Szilikapor	400
Pernye	500 - 850
Metakaolin	1000

2. táblázat Puccolánok reakciókapacitása [16]

A 4.2. táblázatból látszik, hogy azoknak az anyagoknak, amelyek reakcióképes alumíniumot is tartalmaznak, jelentősen nagyobb a kapacitásuk. Ez abból adódik, hogy a CAH kialakulásához nagyobb mennyiségű CH szükséges.

A kísérletek során két puccolános tulajdonságú anyag hatását vizsgáltuk, ezek főbb tulajdonságai kerülnek bemutatásra a következőkben.

4.3.4 Metakaolin

A kaolin a kerámia és a tűzállóanyag-gyártás nyersanyaga. A metakaolin lehet gyártási melléktermék, például a téglagyártás során az elégtelen égetésből származó veszteség, de előállítható közvetlenül is.

A kinyerése $650-800^\circ C$ között történik kaolinit tartalmú agyag kalcinálásával. Fűtés során az agyagásványok viselkedése függ szerkezetüktől, kristályok méretétől és kristályossági fokuktól. $100^\circ C$ felett eltávozik az adszorbeált víz nagyrésze, míg $500^\circ C$ felett kaolinit bomlani kezd. Korábban úgy vélték, hogy az amorf alumínium és szilícium-dioxid keveréke, a vizsgálatok azonban mostanra kimutatták, hogy rendelkeznek néhány meghatározott struktúrával. Ennek megfelelően utal már a jelenlegi gyakorlat erre az anyagra metakaolinként.

Tűlfűtés esetén, $\sim 900^\circ C$ -on, a reakció tovább folytatódik, míg a végtermék szabad szilícium-dioxid és mullit lesz [17].

A tulajdonságait jelentősen befolyásolja a nyersanyag minősége, az égetés hőmérséklete és az őrlési eljárás. Színe fehé, szemcséi lemezes alakúak. Átlagos méretük $1-2 \mu m$, fajlagos felülete $15000 m^2/kg$ [16].

Wild, et al. [18] kísérletei alapján, az optimális adagolást a cement tömegére vonatkoztatva 15%-nak állapította meg, míg [19] eredményei szerint ez 10%. Egy ausztrál kimutatás szerint a nyomott szerkezetekhez 5-10%, a kloridion ellenállás biztosításához 10-15%, a kémiai hatásoknak és a kivirágásnak ellenálló betonhoz pedig 15-20% az ideális adagolás [20]. Meg kell említeni, hogy a 10% fölötti adagolás fagyállósági problémákat okozhat.

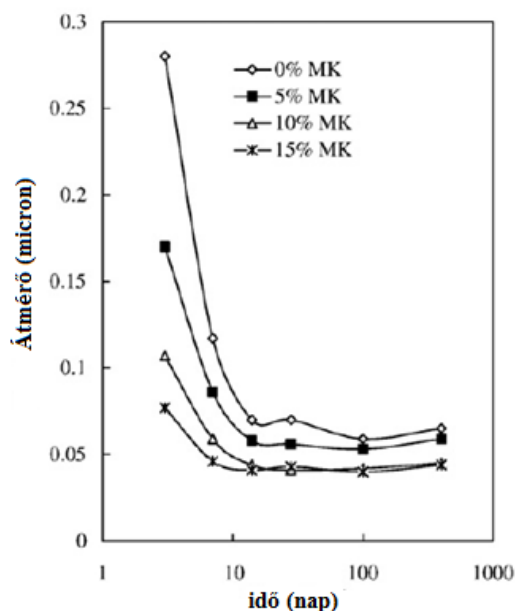
A metakaolin és a szilikapor alkalmazásával tömörebb szerkezetet kapunk, tehát csökken az áteresztőképesség, nő a nyomó-, a húzó- hajlítószilárdság [21]. Justice, Kurtis [22] kutatási eredménye is kimutatta, hogy a metakaolin használatával szilárdságnövekedés érhető el: 8% hozzáadásával az első nap 20%-os, 28 napon pedig 40%-os szilárdságnövekedést állapít

tottak meg a normál betonéhoz képest. A kalcium-szilikátok hidratációja során kialakuló CH kristályokat szinte teljesen eliminálja [23,24]. Ez egyrészt pozitív jelenség, mivel ahogy már említettük, a CH problémák forrása lehet. Hátránya, hogy a CH mennyiség túlzott csökkenésével a beton pH értéke is jelentősen csökken. Asbridge, et al. [25] kísérletei során megállapította, hogy habár a CH mennyisége jelentősen csökken, a pH nem esik 12,5 alá, amely elegendő az acélbetétek passzíválásához.

A metakaolinnal készült beton állaga „krémes”, így könnyebben alakíthatóak ki szép felületek a többi kiegészítőanyaghoz képest és növeli a pumpálhatóságot is. A kohéziója miatt alkalmas öntömörödő beton készítésére. Fehér színe miatt esztétikus világos beton lehet belőle készíteni, ami előny a többi kiegészítőhöz képest [26]. A metakaolin megköti a CH-t, védelmet nyújt a kivirágzás ellen.

A legtöbb kiegészítőanyag hozzájárul jobb beton tulajdonságokhoz. Ramezianpour, Bahrani Jovein [27] megmutatták, hogy a szokványos betonhoz képest a metakaolin hozzáadásával készült beton nyomószilárdsága magasabb, a szilárdság növekedése a metakaolin tartalom növekedésével lineáris.

A metakaolin használatával a beton vízzáróságára is kedvezően hat. E vízzáróság növelése fokozza a tartósságot és a korrózióval szembeni ellenállóképességet [28].



4. ábra Pórusátmérő változása az idő és metakaolin adagolásának függvényében (Khatib, Wild, 1996)

A metakaolin puccolános reakciója a hőmérséklet növelésével elősegíthető. A beton kötése hőtermelő folyamat, ami segíti a metakaolin beépülését [13].

Khatib és Wild [18] eredményei azt mutatják, hogy a cementpépbe beépülő metakaolin finomítja a pórusszerkezetet, azaz a pórusátmérő csökken (4. ábra). Azt tapasztalták, hogy a 14. nap után a pórusok átmérője tovább nem csökken [13].

Metakaolin adagolásának növekedésével a húzó- és hajlítószilárdság növekszik. A vizsgálati eredmények azt is mutatták, hogy metakaolin adagolásával a hajlítószilárdság nagyobb mértékben nő, mint a húzószilárdság [13].

4.3.5 Szilikapor

Szilícium, ferroszilícium és egyéb fémötvözetek gyártása során keletkező melléktermék, melynek nagy a SiO_2 tartalma. A gyűjtését először 1947-ben kezdték meg Norvégiában az egészségre káros hatásai miatt. Az első szilikaporról foglalkozó betonszabvány szintén Norvégiában került bevezetésre 1976-ban [29]. A szilikapor előállítható közvetlenül is. Az így kapott anyag előnye, hogy a minőség állandó, hátránya a gyártás nagy energiaigénye.

A különböző igényeknek megfelelő betonokhoz más és más, az általános a cement tömegére vonatkoztatva: normál betonokhoz 4-7%, nagy teljesítőképességű betonokhoz 8-10%, a magas kémiai ellenálló képesség eléréséhez 10-12%, víz alatti betonozáshoz 10-15%-a javasolt [29]. Fontos kiemelni azonban, hogy 10% fölötti adagolása fagyállósági problémákat okozhat.

A szilikapor adagolásával a betonkeverék kohéziója nő, csökken a szétosztályozódási hajlam, a kivérzés. Alshamsi, et al. [30] kihangsúlyozta, hogy használatával csökken a bedolgozhatóság. Fajlagos felülete nagy, így a keverék vízigénye jelentősen megnő. Khayat és Aitcin [31] kutatása szerint ahhoz, hogy folyósító használatával nélkül az azonos összetételű cement-beton konzisztenciáját biztosítsuk, minden 1 kg/m^3 hozzáadott szilikapor után 1 l/m^3 többlet vizet kéne a keverékhez adagolni. Az ilyen mértékben megnövekedett víz-cement tényező csökkentené a várható szilárdságot, ezért szilikapor használat esetén minden esetben javasolt a szuperfolyósítók használatát. Ahogy a szilikapor esetében, itt is meg kell említeni, hogy a 10% feletti adagolás fagyállósági problémákat okozhat.

A szilikapor adagolásához hasonlóan a betonkeverék kohéziója nagyobb, mint a metakaolin nélküli betoné, a kivérzése csökken. A nagy fajlagos felület miatt itt is ajánlott a folyósító szerek használatát.

Ramachandran [32] megállapította, hogy 5-10% szilikapor adagolása nincs hatással a kötési időre, azonban 15% adagolásánál megfigyelte, hogy a kötés kezdete körülbelül 1, míg a kötés vége hozzávetőleg 2 órával tolódott el.

A szilikapor reakcióba lép a cementpépben keletkező szabad mésszel, ezzel tömörebbé teszi a beton szerkezetét minden korban. A porozitás csökkenésével és a létrejövő CSH kristályokkal nő a nyomószilárdság, ezzel együtt a hajlító- és húzószilárdság, valamint nő a vízzáróság is, használatával tartósabb beton hozható létre. A nagy reakcióképesség miatt 1-2 nap után szilárdságnövekedésének tendenciája gyorsabb, mint a normál betoné. Használatának hatására az ITZ mérete jelentősen csökken vagy akár el is tűnik, ami javítja a cementpép tapadását az adalékanyaghoz és a betonacélhoz [21]. A szilikapor töltőanyagként is működik.

A nagy szilárdságú és nagy teljesítőképességű betonoktól nem csak a nagy szilárdságot követeljük meg, hanem hogy a környezeti hatásoknak is jól ellenálljanak. Ezek a betonok nemritkán teljesítik a kitéti osztályok által előírt legszigorúbb követelményeket. A szilikaporos HPC betonokat főként autópályahidaknál, parkolóházaknál, tengeri szerkezeteknél alkalmazzák [21]. Ilyen környezetben a beton és a betonacél folyamatosan ki van téve a korrózióveszélynek, a só káros hatásának. A szilikapor használatával jelentősen csökken a beton áteresztőképessége, ezáltal jobban ellenáll a karbonátosodásnak, kémiai károsító hatásoknak.

A szilikapor adagolása nagymértékben növeli a beton kopási ellenállását. Az egyik legérdekesebb példa a kopatóhatás okozta károsodásra által bemutatott Kinzua gát. Az üzembe helyezés után mindössze hat évvel már szükség volt az első felújításra, ekkor acélszálakkal erősített betont használtak erősítő rétegként. Azonban ez se bizonyult tartós megoldásnak, tíz évvel később ismét beavatkozásra volt szükség. Ekkor a szilikaporos betont alkalmazták, amely megfelelően tartósnak bizonyult.

Az idő előrehaladtával a hidráttermékek elkezdik feltölteni a hézagokat, ennek ellenére azonban az ITZ-t megnövekedett porozitás fogja jellemezni. Jelenlétének a következménye, hogy a beton nyomószilárdsága kisebb, mint önmagában a cementé vagy az adalékanyagé [16,33].

A kísérletek során két puccolános tulajdonságú anyag hatását vizsgáltuk, ezek főbb tulajdonságai kerülnek bemutatásra a következőkben.

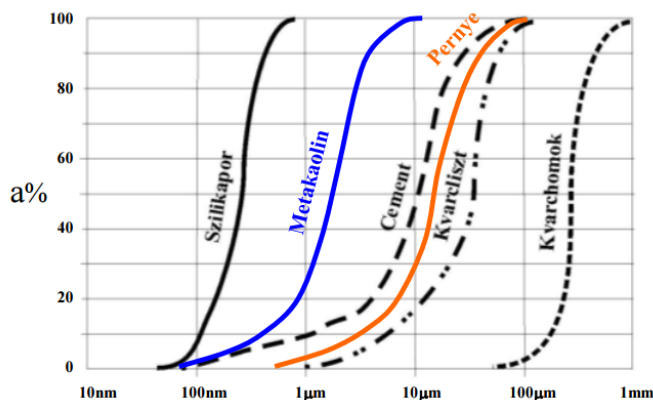
Javítások során a régi és az új betonréteg közötti jó tapadás nagy előnyt jelent. A megnövekedett tapadás csökkenti a kimosódást a pillérek, vízzel érintkező felületek megerősítése során. A csökkent áteresztőképesség miatt, nő a fagyási és a kémiai hatásokkal szembeni ellenállás [34].

A szilikapor és az acélszálak együttes alkalmazásával a repedések csökkentése és a szívósság növelése lényeges.

A szilikaporos löttbeton használatára az egyik kiváló példa a budapesti M4 metró és a Gotthárd-alagút építése.

4.3.6 Pernye

Külföldön a pernye a betonban leggyakrabban használt puccolán, a hőerőművek mellékterméke.



5. ábra Kiegészítő anyagok szemeloszlása (Balázs et al)

A pernye, vagy más néven porított tüzelőanyag hamu a széntüzelésű erőművek működése során keletkező finomszemcséjű égéstermék, melynek összetétele az elégetett szén típusától, porítási fokától és származási helyétől, valamint az égetés folyamatától függ. Anyagát tekintve a kőszén felületéhez tapadt, nem égő ásványi alkotókból (agyag, kvarc, agyagpala, földpát) áll. Ezek a nem éghető anyagok a lehűlés következtében gömbölyű üveges szemcséjű, puccolános tulajdonságokkal, ill. puccolános aktivitással rendelkező porszerű maradékanyag. Az égetés során keletkezett hamu 85-90%-a hasznosítható pernyeként. Szemcséinek átmérője 1-150 µm között mozog, így akár finomabb is lehet, mint a portland cement. Vízzel keverve önmagában rendszerint nem, de finomra

őrölve, szokásos környezeti hőmérsékleten, víz és mész jelenlétében megköt, megszilárdul [35].

Az osztrák ÖNORM szabvány CEM I és CEM II/A fajtájú cementek alkalmazását engedélyezi. Valamennyi kitéti osztályban alkalmazható CEM II/B-S jelű kohósalak-portlandcement is. CEM II/B-V jelű pernye-portlandcement XF1 és XF3 környezeti kitéti osztályokban feltétel nélkül, XF2 és XF4 osztályokban pedig megfelelő légbuboréktartalomhoz kötve alkalmazható [37].

4.4 3D betonnyomtatás

Az ENSZ előrejelzése szerint 2100-ban 10,9 milliárd ember fog élni a Földön a mostani 7,8 milliárdhoz képest. A növekedés legnagyobb részét az afrikai országok fogják adni. 2100-ra a tíz legnépesebb ország közül öt afrikai lesz. Továbbá a városok lakosságának fele nyomornegyedekben él, amely nagy problémát okoz minden országnak. Mindezekon kívül az országokon belüli, a jobb élet reményében történő vándorlás a városokba is idézhet elő lakhatási nehézségeket. (www.ksh.hu/infografika/2020/nepesedesi_vilagnap_2020.pdf)

Az éghajlatváltozás (pl. CO₂ kibocsátás okozta üvegházhatás) és a természeti katasztrófák (árvizek, belvizek, földrengések) sok országnak okozhatnak jelentős problémákat. Az alapanyagok készletcsökkenése pedig a felhasznált mennyiségek minimalizálását teszi szükségessé, ami miatt a kutatók feladata új technológiák keresése, kialakítása és azok alkalmazása lett.

Az alábbi pontokban a jelenlegi építőipari problémákat soroljuk fel:

- Munkaerő hiány, sok esetben képzetlen munkaerő,
- Alacsony szintű gépesítés,
- Alapanyag hiány,
- Szállítás akadozása,
- Növekvő költségek,
- Növekvő építkezési kedv, melyet az ipar nem tud lekövetni.

A 3D betonnyomtatás technológiája összetett feladat, hiszen nem csak a receptúra előállítása szükséges hozzá, hanem annak megfelelő működése és kivitelezése is, ezért az alábbiakban felsoroljuk az alapfeltételeket a működéshez:

- Megfelelő kiindulási betonösszetétel előállítása és annak módosítása a helyi alapanyagok függvényében
- Keverőgép (helyszínen vagy transzport beton), melyek közül elsősorban a mobil keveréshez tervezzük az összetételeket
- Szivattyú gép + automatizált kar (robotkar) összehangolása az összetétellel és a fej irányítási sebességével
- Jól képzett szakember, aki megfelelően tudja irányítani és kezelni a rendszert, de a betontechnológiai problémák kezeléséhez is ért valamilyen szinten
- Képzett betontechnológus, aki bizonyos szinten ért az irányítástechnikához is, elkerülve a rétegek közti jelentős nyomásnövekedést és a kapcsolódó szegregációt

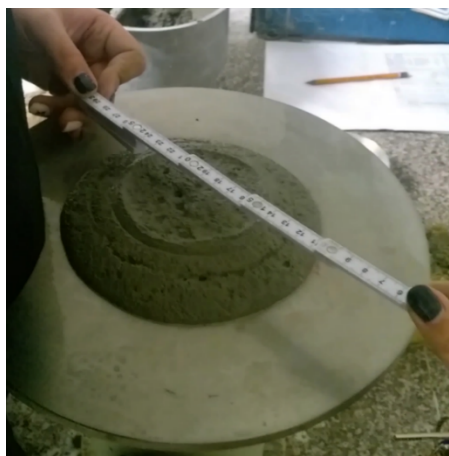
4.4.1 Betonnal szemben támasztott követelmények:

A frissbeton bedolgozhatósága és eltarthatósága fontos szempont a 3D betonnyomtatásnál, a frissbeton konzisztenciája és tömörsége (tömörítés nélküli testsűrűség és levegőtartalom) befolyásolja a beton nyomószilárdságát és tartósságát. A beton struktúrája is hatással van a beton szilárdságára és tartósságára, amit elsősorban az alapanyagok és ezek keverési arányai, valamint a cementkő és adalékanyag közötti és a rétegek közti tapadás befolyásolnak. Ezeken felül a cementkő pórustartalma, a pórusainak mérete és eloszlása fejt ki hatást a szilárdságra és a tartósságra.

A beton tartóssága a frissbeton bedolgozhatóságának módjától, a konzisztenciától (6. ábra) és a levegőtartalomtól függ, így a tömörítésnek vagy lövellt beton esetén a lövésnek kiemelt szerepe van a minél kisebb a levegőtartalom elérésében. A 3D nyomtatás során a megfelelő levegőtartalmat a megfelelő konzisztencia és a csőben lévő nyomás tudja biztosítani. Ez általában magasabb, mint a tömörített beton esetén, így nagyon fontos a kisebb v/c tényezővel való kompenzáció.

A fentiek alapján ellenőrizni kell a beton összetételeket, figyelembe véve a technológiát:

- Optimális konzisztencia (a beton vizsgálatának módjára még nem állnak rendelkezésre megfelelő előírások és irányelvek),



6. ábra Konzisztencia vizsgálat területméréssel (saját fotó)

- Kötés gyorsítás módja (cement fajtával és/vagy kötőgyorsító adalékszerek),
- Maximális bedolgozhatóság és eltarthatóság időtartama,
- Megfelelő stabilitás, selejt anyag csökkentése,
- Rétegek közti kohézió biztosítása, megfelelő tapadás,
- Megfelelő nyomószilárdság és tartósság (betonacél korrozója).

4.4.2 Betonösszetétel

A betonösszetétel tervezése során a következőket kell figyelembe venni:

- Cement (milyen fajta és mekkora mennyiségű cementet kell alkalmazni a rétegek közötti jobb tapadás biztosítása érdekében figyelembe véve az időközbeni dermedést, valamint a beton rétegek saját tömegének teherbírását),

- Adalékanyagok (D_{max} , szemmegoszlási görbe, finomsági modulus),
- Víz (víz-cement tényező, víz mennyiség, szilárdsági és tartóssági kérdések végett),
- Kiegészítőanyagok fajtája (I. vagy II. típusú) és mennyisége,
- Adalékszerek (Folyósítószer: viszkozitásmódosító szer (VMA) használatát a megfelelő térszerű reológia elérése érdekében, stabilizáló, kötőgyorsító, zsugorodáscsökkentő: a beton zsugorodása nagyobb lesz a tömörítés hiánya miatt, tömítőanyagok, tapadóhíd, hidrofobizáló szer),
- Szálak adagolása: a gyártási folyamat befolyásolja a szálak elrendezését és a levegő kiszorítását.

Több kutató foglalkozik geopolimer (7. ábra) betonnal, melynek alkalmazása a 3D nyomtatásnál több energiát igényel a lassú kötő és szilárdulási folyamat megvalósítása miatt.



Lúgos közegben történő aktiválásával állíthatók elő

Savas közegben történő aktiválásával állíthatók elő

7. ábra A geopolimer szerkezetlen, polimer szerkezetű anyagok, melyek lúgos vagy savas közegben történő aktiválásával állíthatók elő

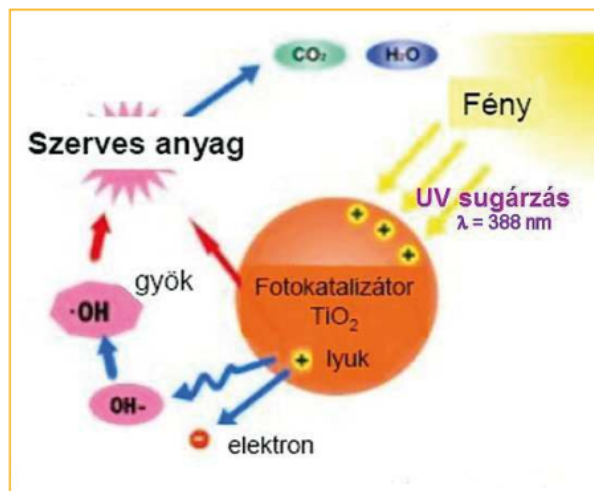
A pernye alkalmazása esetén a mennyiség kérdéses lehet beszerzés esetén, mivel a széntüzelésű erőművek leállása folyamatosan zajlik Európában a CO₂ kibocsátás miatt. Ezen felül az is kérdéses, hogy technológia és költség szempontjából mennyire versenyképes a hagyományos betonnal szemben.

4.5 Öntisztuló betonfelületek

4.5.1 A titán-dioxid kiegészítőanyag alapvető tulajdonságai

A titán-dioxid félvezető fénoxid, mely napfény hatására vizes közegben fotooksidációs tulajdonsággal rendelkezik, vagyis a környezetükben lévő káros anyagot bont le [38]. A titándioxidot tartalmazó felületen UV fény (napsütés) hatása gerjeszti a titándioxid vegyértékelektronját, létrehozva a (e^-) negatív elektront és a (h^+) pozitív lyuk párt, melyek a környezetükben levő vízzel és oxigénnel reakcióba lépve, hidrogént (H^+) és szuperoxidot (O_2^-) hoznak létre. További reakciókon keresztül, hidroxidionok (OH^- és OH^*) keletkeznek, melyek oxidációs közegként működve, felbontják a beton felületére lerakódott szerves anyagokat, széndioxidra és vízre (8. ábra). A titán-dioxid a homokszerű anyagokban fordul elő. Normál szobahőmérsékleten a rutil (leggyakoribb), az anatóz és a brookit módosulata ismert. A rutil kristályai átlátszóak, melyek a nagy törésmutató miatt szórják a fényt. Kémiaailag

inert és fehér színe miatt festék pigmentként alkalmazták. A titán-dioxidot általában háztartási és kozmetikai termékekben alkalmazzák. További alkalmazási körök: fogkrém, bőrápoló termékek, dekorkozmetikai termékek, fényvédő krémek, papíripár [39].



8. ábra A fotokatalízis öntisztuló hatásmechanizmusa (forrás: Magyar Építéstechnika 2012/1. Építőanyag)

„Számos felhasználási területen azonban nem titán-dioxid port, hanem egy makroszkópos szilárd felületre felvitt vékony titán-dioxid réteget alkalmaznak például védőrétegek, antireflexiós filmek, elektro- és fotoaktív filmek, szenzorok stb. előállításánál. A titán-dioxid manapság a leggyakrabban használt fotokatalizátor, különösen nagy érdeklődés kíséri a szennyvíztisztítás területén való alkalmazási lehetőségét. Előállítható például az úgynevezett nedves kémiai eljárások közé tartozó szol-gél technikával is. A módszernek számos előnye van: egyszerű, olcsó berendezést igényel, nem kell sem vákuumot, sem magas hőmérsékletet biztosítani; a keletkezett film homogén, vastagsága könnyen szabályozható; a film a legkülönbözőbb anyagú, alakú és méretű szubsztrátumra felvihető.” [40]

A titán-dioxidot mikronizálják, ezért a nanokompozitok körébe tartozik. A nanokompozitok a nagy felület/térfogat arányuk miatt kedvezők, melyek biztosítják a nagy terhelés átadást az erősítőanyag és az anyag textúrája között. A nanorészecskék közül a fém oxidok, szén nanocsövek és a réteges szerkezetű agyagásványok (montmorillonit, szepiolit) alkalmazása a legelterjedtebb. Alkalmazásának okai: kis töltőanyag-tartalom (5 m%) mellett jelentős tulajdonságjavítás; kisebb sűrűség; sima felület; javul a hőstabilitás, a szilárdság és a merevség; a textúra tömörsége nagyobb, így jobb záróképeség érhető el a gőzökkel, gázokkal és folyadékokkal szemben; csökkent éghetőség; kisebb hőtágulás [41].

4.5.2 Titán-dioxid építőipari alkalmazása

A nanokompozitokat általában vékony bevonatokként alkalmazzák, melyek vastagságát tekintve gyakran nanométeres vastagságúak, azonban a kiválasztott funkciót ez a filmréteg is el tudja látni. A titán-dioxidot az optikai tulajdonságai miatt fehér pigmentként alkalmazzák a festékekben, azonban

szennyvíztisztítás során is felhasználható fotó-katalizátorként [40]. UV csökkentésére és az algák ellen titán-dioxidot és cink-oxidot alkalmaznak, így a felületek öntisztulóvá válnak [42]. „A nano-titándioxid, amely fotokatalitikus, fénnel történő aktiválás révén fejti ki hatását, vagyis hasonló elven működik, mint a növények klorofillja. A titán-dioxid hatására lejátszódó kémiai oxidációs folyamat a kórokozókat, valamint a szerves szennyeződésekkel ártalmatlan összetevőikre bontja. A felületről eltűnnek, eloxidálódnak a kórokozók, valamint a szerves szennyeződések is. A folyamathoz mindössze normál nappali fényre, oxigénre és a levegőben lévő páratartalomra van szükség. Az öntisztuló felület a következőket jelenti: jelentősen könnyebb tisztítás, kevesebb tisztítószer használata, a környezeti egyensúly fokozása, meghosszabbított tisztítási időintervallum, a legmagasabb fokú tisztaság a termék környezetében.” [40]

„Kedvező keménységet lehetett elérni periodikusan változó felületi rétegszerkezetekkel, ahol az egyes rétegek vastagsága 5–10 nm közötti. Különösen kedvező eredmények születtek fém-nitrid/fém, illetve különböző fém-nitridek rétegszerkezetében, például TiN/Nb, TiN/VN, ZrN/CNx kombinációkban. A keménység értéke ezeknél az anyagoknál meghaladta a szuperkemény rétegekre jellemző 40 GPa feletti értékeket, a rétegek tulajdonságai viszont erősen függtek az egyes rétegek vastagságától, és stabilitásuk sem bizonyult kielégítőnek” [40].

4.5.3 A titán-dioxid hatása a betonban

A betonban több nanokompozitot alkalmaznak többek között szén nanocsövek és -szálak, nano-szilika, valamint nano-titán-dioxid. Ezek a kiegészítők fokozzák a beton nyomó- és hajlítószilárdságát, képlékenységet és tömörséget is, vagyis csökken a permeabilitás [43,44]. Egyes kutatások szerint a nano-TiO₂ gyorsítja a portlandcement hidratációját, azonban a titán-dioxid a cementkő zsugorodását is növeli, ezért az összekeverendő mennyiséget előre meg kell határozni [45].

A titán-dioxidot fehércementhez szokták adagolni a fotokatalitikus hatás miatt. Azaz a már említett hatás során a beton felületét tisztítja. Ezért vagy felületi bevonathoz adagolják, vagy a betonba, de alapvetően a felületen jön létre az öntisztulás (épületek homlokzatainak való alkalmazhatóság) [46]. A titán-dioxid kártékony gázok elnyelését is segíti, betonhoz adagolva növekszik annak szilárdsága és kopásállósága is [47,48].

A betonútba kevert titán-dioxid a nitrogén-dioxid részecskéket köti meg és napfénnel nitráttá alakítja át, melyet az eső lemos, így csökken a károsanyag-kibocsátás [40].

Ilyen fajta betonokat öngyógyuló hatásúaknak nevezünk.

Alkalmazási területei:

- Térburkolatok,
- Beton tetőcserép,
- Burkoló elemek,
- Látszóbeton felületek,
- Útépités (vékonybeton szőnyegezés).

Irodalomjegyzék

- [1] J. Jacobsen, M. S. Rodrigues, M. T. F. Telling et al. (2013): “Nano-scale hydrogen-bond network improves the durability of greener cements,” Scientific reports, Nature, vol. 3, article 2667, 2013

- [2] Novák, D., Novák E. (2009): "Slagstar 42,5N C3A-mentes új speciális cementfajta az agresszív kémiai korrózió ellen" Vasbetonépítés, 2009/3 XI. évfolyam, 3. szám
- [3] R. J. Myers, S. A. Bernal, R. San Nicolas, and J. L. Provis (2013): "Generalized structural description of calcium-sodium aluminosilicate hydrate gels: the cross-linked substituted tobermorite model," *Langmuir*, vol. 29, no. 17, pp. 5294–5306, 2013.
- [4] E. R. Ylmen (2013): Early hydration of portland cement—an infrared spectroscopy perspective complemented by calorimetry and scanning electron microscopy [Ph.D. thesis], Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2013.
- [5] Raki, L.; Beaudoin, J.; Alizadeh, R.; Makar, J.; Sato, T. (2010): Cement and concrete nanoscience and nanotechnology. *Materials* 2010, 3, 918–942.
- [6] Norhasri, M.S.M.; Hamidah, M.S.; Fadzil, A.M. (2017): Applications of using nano material in concrete: A review. *Constr. Build. Mater.* 2017, 133, 91–97.
- [7] Jones, W.; Gibb, A.; Goodier, C.; Bust, P.; Song, M.; Jin, J. (2019): Nano-materials in construction—What is being used, and where? *Proc. Inst. Civ. Eng. Constr. Mater.* 2019, 172, 49–62.
- [8] Shah, S.P.; Hou, P.; Konsta-Gdoutos, M.S. (2016): Nano-modification of cementitious material: toward a stronger and durable concrete. *J. Sustain. Cem. Based Mater.* 2016, 5, 1–22.
- [9] A. K. Mukhopadhyay (2011): "Next-generation nano-based concrete construction products: a review," in *Nanotechnology in Civil Infrastructure: A Paradigm Shift*, K. Gopalakrishnan, B. Birgisson, P. Taylor, and N. O. Attoh-Okine, Eds., pp. 207–223, Springer, Berlin, Germany, 2011, http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-16657-0_7#page-1.
- [10] B. Jo, J. Choi, and S. Kang (2011): "An experimental study on the characteristics of chemically synthesized nano-cement for carbon dioxide reduction," *Advanced Materials Research*, vol. 148-149, pp. 1717–1721, 2011.
- [11] E. H. Kim (2012): Understanding effects of silicon/aluminum ratio and calcium hydroxide on chemical composition, Nanostructure and compressive strength for metakaolin geopolymers [M.S. thesis], University of Illinois, Urbana-Champaign, Ill, USA, 2012, [https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/34257/Kim Eric.pdf?sequence=1](https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/34257/Kim%20Eric.pdf?sequence=1).
- [12] Chandra, S. (szerk.): *Waste Materials Used in Concrete Manufacturing*. — Noyes Publication, Göteborg, 1997.
- [13] Siddique, R.: *Waste Materials and By-Products in Concrete*. — Springer - Verlag, Berlin, 2008.
- [14] Riesz, L. (szerk.): *Cement- és mészgártási kézikönyv*. — Építésügyi Tájékoztatói Központ, Budapest, 1989.
- [15] Neville, A. M.: *Properties of concrete*. 4th Edition. — Pearson Education, Harlow, England, 2002.
- [16] Mindess, S., Young, J. F., Darwin, D.: *Concrete*. - Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey, 2003.
- [17] Pera, J. (2001): „Metakaolin and calcined clays”, *Cement & Concrete Composites* 23. III.
- [18] Wild, S., Khatib, J. M., Jones, A.: Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete. — *Cement and Concrete Research*, vol. 26. 1996.
- [19] Poon, C. S., Lam, L., Kou, S. C., Wong, Y. L., Wong, R.: Rate of pozzolanc reaction of metakaolin in high-performance cement pastes. — *Cement and Concrete Research*, vol. 31. 2001.
- [20] Sydney_Construction_Materials. http://www.sydneyconstructionmaterials.com.au/mk_pozzolan.html. (2015.07.01.).
- [21] Siddique, R., Khan, M. I.: *Supplementary Cementing Materials*. — Springer - Verlag, Berlin, 2011.
- [22] Justice, J. M., Kurtis, K. (2007): Influence of Metakaolin Surface Area on Properties of Cement-based Materials. — *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 19. 2007.
- [23] Jones, T. R., Walters, G. V., Kostuch, J. A. (1992): Role of metakaolin in suppressing asr in concrete containing reactive aggregate and exposed to NaCl solution. — *Proc. Int. Conf. on AAR*, London, 1992.
- [24] Larbi, J. A., Bijen, J. M.: The role of silica fume and metakaolin in the Portland cement paste–aggregate interfacial zone in relation to the strength of mortars. — PhD értekezés, Delft University, 1991.
- [25] Asbridge, A. H., Walters, G. V., Jones, T. R. (1994): Ternary blended concretes-OPC/ggbs/metakaolin. — *Proc. Int. Sym. Concrete across borders*, Denmark, 1994.
- [26] Kurtis, K. E. (2011): Benefits of Metakaolin in HPC. — *HPC Bridge Views*, vol. 67. 2011.
- [27] A.A. Ramezaniapour, H. Bahrami Jovein, Influence of metakaolin as supplementary cementing material on strength and durability of concretes, *Construction and Building Materials*, Volume 30, 2012, Pages 470-479, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.050>.
- [28] A. A. Ramezaniapour, *Cement Replacement Materials: Properties, Durability, Sustainability*. Berlin, Germany: Springer, 2013. ISBN: 978-3-642-36721-2
- [29] Newman, J., Choo, B. S. (szerk.): *Advanced Concrete Technology 1 - Constituent Materials*. — Elsevier, Oxford, 2003a.
- [30] Alshamsi, A. M., Sabouni, A. R., Bushlaibi, A. H. (1993): Influence of set-retarding superplasticisers and microsilica on setting times of pastes at various temperatures. — *Cement and Concrete Research*, vol. 23.
- [31] Khayat, K. H., Aitcin, P. C.: Silica fume: a unique supplementary cementitious material. — *Mineral Admixtures in Cement and Concrete*, vol. 4. 1993.
- [32] Ramachandran, V. S. (szerk.): *Mineral admixtures*. — Noyes Publications, USA, 1996.
- [33] Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M.: *Concrete - Microstructure, Properties, and Materials*. 3. kiadás. - McGraw Hill, USA, 2006.
- [34] Morgan, D. R., Wolsiefer, J. T.: Silica fume in shotcrete. - *CANMET/ACI International Workshop on the use of Silica in Concrete*, Washington, 1991.
- [35] Opoczky, L.: A pernyék szilikátkémiai tulajdonságai (2001) Környezetvédelem eljárástechnika, A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 55. Kötet
- [36] Balázs Gy.- Lublós É.- Kausay T.: *Építőanyagok MSc tantárgy, BME Építőmérnöki kar, előadás vázlatok*, 2016
- [37] KAUSAY Tibor (2010): „Fagyálló beton, fagy- és olvasztós-álló beton, 1. rész” – *Beton újság*
- [38] Mogyorósi, K., Farkas, A., & Dékány, I. (2002): TiO₂ Based Photocatalytic Degradation of 2-Chlorophenol Adsorbed on Hydrophobic Clay. *Environmental Science and Technology*, 3618–3624.
- [39] Kiss, B. (2009): A mikronizált titán-dioxid bőrön történő átjutásának és sejtekre gyakorolt hatásainak vizsgálata. Debrecen: PhD értekezés.
- [40] Hernádi, K., & Kónya, Z. (2012): Nanokompozitok. Szeged.
- [41] Hargitai, H. (2015): Polimer Nanokompozitok. In *Fejezetek nemfém anyagok legújabb járműipari kutatási területeiből* (old.: 112-141). Széchenyi István Egyetem, Győr: ISBN 978-615-5391-36-1.
- [42] Singh, L., Karade, S., Bhattacharyya, S., Yousuf, M., & Ahalawat, S. (2013): Beneficial role of nanosilica in cement based materials - A review. *Construction and Building Materials*, 1069-1077, Volume 47.
- [43] Birgisson, B., Mukhopadhyay, A., Geary, G., Khan, M., & Sobolev, K. (2012): Nano technology in concrete materials for the Task Force on Nanotechnology-Based Concrete Materials. Washington DC: Transportation Research Board .
- [44] Jemimah C. M., Prince A. G., Sam B. J., Elgiva J. M., *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)* Volume 9, Issue 2, February 2018, pp. 675 686
- [45] Jayapalan, A., Lee, B., Fredrich, S. and Kurtis, K. (2010) Influence of Additions of Anatase TiO₂ Nanoparticles on Early-Age Properties of Cement-Based Materials. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2141, 41-46. <http://dx.doi.org/10.3141/2141-08>
- [46] Wijdan, D., & Hussaen, A. (2017): The Impact of Nano-Concrete in Contemporary Architecture. *Wasit Journal of Engineering Science*, Vol. (5), No. (2), 89-98.
- [47] Kasthurirangan, & Gopalakrishnan. (2011): *Nanotechnology in civil infrastructure: A paradigm shift* springer. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [48] Murty, B. (2013): *Textbook of nanoscience and nanotechnology*. Berlin Heidelberg: Springer.

A magyar perlit múltja, jelene és jövője

DR. FARKAS GÉZA

Az előadás a következő részekből áll:

1. A perlit ismertetése, mint környezetbarát ásvány. A perlit alapvető különleges tulajdonsága.
2. A 66 éves perlitbányászat rövid történeti áttekintése. 1992 utáni magyar magán céggé való átalakulás.
3. A perlit bányászat jelenlegi termelési rendszere. A perlit előkészítés félkész terméké váló alakítása.
4. Az összefoglaló táblázat a perlit felhasználásról. Hő és hangszigetelés, szűrés technika, mezőgazdaság, környezetvédelem.
5. A Nemzetközi Minősítési rendszer működtetése, minőségi paraméterek rövid vizsgálata.
6. Az Európai szállítás logisztikája, tekintettel arra, hogy 92% az export.
7. A Pálházi perlit bányászat és előkészítés jövője a teljes Európai piacon.



Adobe Stock | #95821511



Perlit-92 Kft.

Korszerű műszaki kerámiák a fenntarthatóság szolgálatában

PROF. DR. SZÉPVÖLGYI JÁNOS, DR. KÁROLY ZOLTÁN • HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet • Szilikátipari Tudományos Egyesület

Bevezető

A különleges tulajdonságokkal rendelkező, korszerű műszaki kerámiákat egyre szélesebb körben alkalmazzák különböző, magas igényeket támasztó felhasználási területeken. Kimagasló kémiai ellenállóképességük, kiváló mechanikai, termikus és elektromos tulajdonságaik, tartósságuk és hatékonyságuk miatt ezen anyagcsalád tagjai fontos szerepet játszhatnak napjaink egyik legsúlyosabb problémaköre, a fenntarthatósági kihívások kezelésében is.

Számos olyan fenntarthatósági probléma létezik, – így a globális felmelegedés és klímaváltozás, a környezet emberi tevékenységekből származó túlterhelése, a légszennyezés és vízhiány kérdései, egyes energiahordozók és nyersanyagok készleteinek csökkenése és az energiatárolás nehézségei [1] – amely megoldásához a korszerű műszaki kerámiák hatékonyan járulhatnak hozzá. Szélsőséges használati körülmények között is alkalmasak például fokozottan veszélyes környezetterhelések monitorozására, vagy alternatív, energiatermelési és hasznosítási technológiák megvalósítására.

1. A korszerű műszaki kerámiák fenntarthatóság szempontjából releváns tulajdonságai

A következőkben röviden áttekintjük a korszerű műszaki kerámiák fenntarthatóság szempontjából legfontosabb tulajdonságait.

1.1 Mechanikai tulajdonságok

A korszerű műszaki kerámiák jellemzően nagy keménységgel és nyomószilárdsággal, valamint jó kopásállósággal rendelkeznek. Egyéb szerkezeti anyagoktól, így a fémektől és műanyagoktól eltérően, a kerámiák fokozott igénybevételek mellett is megőrzik szerkezeti integritásukat, így ideális anyagok jelentős megterhelésekkel járó alkalmazásoknál. A kiváló kopásállóságú szilícium-nitrid, szilícium-karbid, vagy cirkónium-oxid kerámiákat például nagy kopási igénybevételnek kitett eszközökben és berendezésekben felhasználva csökken a kopás miatti cserék gyakorisága, ami a kevesebb hulladékképződés miatt környezeti és gazdasági előnnyel jár. Ez különösen nagy jelentőségű lehet az olyan iparágakban, mint a gépgyártás és a bányászat, ahol a berendezések hosszú élettartama és tartóssága kritikus fontosságú a környezeti hatások csökkentése szempontjából.

1.2 Hőtechnikai (termikus) tulajdonságok

Fenntarthatósági szempontból kiemelten fontosak a korszerű műszaki kerámiák termikus tulajdonságai: magas az olvadáspontjuk, hőszigetelő, vagy éppen jó hővezetőképességük lehetnek, így különösen előnyösek lehetnek bizonyos magas hőmérsékletű alkalmazásoknál. Kerámia bevonatokat használnak a gázturbinák alkatrészeinek védelme, működési hatékonyságuk fokozása és energiafogyasztásuk csökkentése érdekében. A szilícium-karbid kerámiák jó hősokkállósága (a hirtelen nagymértékű hőmérsékletváltozások okozta károsodással szembeni ellenállóképességük) miatt előnyösen használha-

tók különböző hőcserélőkben és repülőgép alkatrészekben. A hősokkállóság miatt csökken a fűtési és hűtési folyamatokhoz szükséges energia és kevesebb üvegházhatású gáz kerül kibocsátásra, mindez pedig közvetlen hozzájárulást jelent a környezeti fenntarthatósághoz.

1.3 Kémiai stabilitás és ellenállóképesség

A műszaki kerámiák kiváló kémiai stabilitást mutatnak, azaz agresszív kémiai környezetben is megőrzik eredeti tulajdonságaikat. E jellemzőjük elengedhetetlen ahhoz, hogy korrozív körülmények között, például vegyipari berendezésekben vagy hulladékkezelő rendszerekben legyenek alkalmazhatók. Kerámia szűrőkkel olyan erősen savas vagy lúgos hulladékok is kezelhetők, amelyek a fémalapú szűrőket gyorsan tönkretennék.

A korszerű műszaki kerámiák kémiai ellenállóképessége miatt az azokból káros kémiai anyagok nem kerülnek ki a környezetbe; így biztonságosan használhatók a természetes ökoszisztémával közvetlenül kölcsönhatásban álló vízkezelő és víztisztító rendszerekben. Kerámiák alkalmazásakor a vízben levő szennyező anyagok hatékonyan távolíthatók el anélkül, hogy másodlagos szennyező anyagokat vinnénk be a rendszerbe, ezáltal támogatva a tiszta vízzel kapcsolatos kezdeményezéseket.

1.4 Közvetlen környezetvédelmi vonatkozások

A műszaki kerámiák mechanikai robusztussága, hőállósága és kémiai tartóssága közvetlen környezeti előnyökkel jár. Az alkatrészek élettartamának növelésével, a karbantartási igények csökkentésével és az energiahatékonyság növelésével ezek az anyagok csökkentik az erőforrás-felhasználást és a hulladékképződést. Szélsőséges körülmények közötti alkalmazhatóságuk új lehetőségeket jelent a környezeti kihívások leküzdésére tervezett innovatív technológiákban is.

2. A korszerű műszaki kerámiák környezetvédelmi alkalmazásai

A korszerű műszaki kerámiák számos a fenntarthatóságot növelő és a környezetet védő technológia szerves részei lehetnek. Alkalmasak környezeti szennyeződések ellenőrzésére és csökkentésére, javítják az energiahatékonyságot és fontos elemei megújuló forrásokon alapuló energiatermelő rendszereknek is.

2.1 Szennyezéscsökkentés: szűrők és katalizátorok

Az egyik kritikus környezetvédelmi alkalmazás a környezet-szennyezések ellenőrzése és csökkentése. A szilícium-karbid és az alumínium-oxid kerámiaszűrőket széles körben használják ipari folyamatok nagyhőmérsékletű, korrozív véggázainak kezelésére, a bennük levő szilárd részecskék leválasztására, például a vegyiparban és egyes fémkohászati technológiákban. Kerámiaszűrőkkel egyrészt növelhető a porleválasztás hatékonysága, másrészt hosszabb a szűrők élettartama és azok kisebb karbantartási igénye miatt csökkennek a technológiák működési költségei.

A mobilitásból származó környezetterhelés jelentősen csökkenthető a gépjárművek kipufogó rendszerébe beépített, kerámiahordozós katalizátorokkal. Segítségükkel a belső égésű motorokból kilépő gázfázisban levő nitrogén-oxidok, a szén-monoxid és a szénhidrogének a környezetet kevésbé terhelő nitrogénné, szén-dioxiddá és vízgőzzé alakíthatók át. A kerámiák kémiai stabilitása és hőállósága biztosíték arra, hogy ezek a katalitikus konverterek hosszú ideig hatékonyan működjenek.

2.2 Energiahatékonyság: hőcserélők és szigetelőanyagok

Hőcserélőkben és szigetelőrendszerekben alkalmazva a korszerű műszaki kerámiák jelentősen javíthatják az energiaszolgáltatás hatékonyságát. Az energiatermelésben és a vegyiparban fontos technológiai lépés a rendszerbe bevitt energia egy részének visszanyerése: mivel e technológiákra általában magas működési hőmérséklet és korrozív környezet jellemző, adott esetben a kerámia hőcserélők jelenthetik az egyedüli hatékony és gazdaságos megoldást.

A kerámiák kiváló hőállóságuk és esetenként rossz hővezető-képességük folytán hatékony szigetelőanyagok is lehetnek különböző ipari kemencékben és kazánokban; minimalizálják a folyamatok hővesztését és csökkentik az energiatermeléssel és felhasználással járó szénlábnyomot.

2.3 Megújuló energiatermelés: napelemek és szélturbinák alkatrészei

A korszerű műszaki kerámiák egyre nagyobb szerepet játszanak a megújuló forrásokra alapozott energia-termelésben. A napenergiát fotoelektromos úton hasznosító rendszerekben a kerámiákat hordozóként vagy kapszulázó fázisként használják a napelemek környezeti károsodások elleni védelmére.

Szélturbináknál a felhasznált szerkezeti elemek tömege és kopásállósága kiemelt alkalmazási kritérium. A szilícium-nitridből készített csapágyak és fogaskerekek könnyebbek és kopásállóbbak, mint a fémből készített hasonló alkatrészek, ezáltal javítják szélturbinák hatásosságát, csökkentik

karbantartási igényeiket és növelik megbízhatóságukat mostoha időjárási körülmények között is.

Összefoglalva: a korszerű műszaki kerámiák sokrétűen és hatékonyan alkalmazhatók fenntarthatósági, kiemelten környezetvédelmi problémák megoldására. Kiterjeszthetik egyes szennyezést csökkentő vagy megszüntető technológiák hatókörét és hatásosságát, javíthatják a technológiai folyamatok energiamérlegét és elősegítik innovatív, megújuló energiaforrásokat hasznosító berendezések és eljárások kifejlesztését és bevezetését. Mindezekon keresztül fontos szerepük lehet a fenntartható gyakorlatok előmozdításában, és segíthetik a globális környezeti fenntarthatóságra irányuló erőfeszítéseket.

3. Kihívások és korlátok a korszerű műszaki kerámiák környezetvédelmi alkalmazásaival kapcsolatban

Jóllehet a korszerű műszaki kerámiák a fenntarthatósági és környezetvédelmi célok elérése szempontjából sok tekintetben előnyösek, hatékonyságuk fokozása és alkalmazási lehetőségeik szélesítése érdekében még számos kutatási, fejlesztési, gyártástechnológiai és alkalmazástechnikai problémát kell megoldani, és a kapcsolódó gazdasági vonatkozások sem elhanyagolhatók.

3.1 Gyártástechnológiai kérdések

A korszerű műszaki kerámiákat mesterségesen készített, meghatározott fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkező alapanyagokból, különleges előkészítési, formázási és hőkezelési eljárásokkal állítják elő. Csak így biztosíthatók ugyanis a felhasználói szempontból kiemelten fontos összetételi és mikroszerkezeti jellemzők, valamint makroszkopikus tulajdonságok. Ebből adódóan ezen anyagok gyártása energiaigényes, és esetenként számottevő környezetterheléssel is járhat.

A korszerű műszaki kerámiák alapanyagaihoz szükséges nyersanyagok bányászata fokozottan terhelheti az ökológiai rendszereket. A kibányászott nyersanyagok kerámiai alapanyagokká történő átalakítása szintén tartalmaz környezeti kockázati elemeket. A kerámiatechnológiák kritikus eleme a termékek végső mikroszerkezetének magas hőmérsékletű hőkezeléssel, jelentős energiaszolgáltatással történő kialakítása. Amennyiben ezt az energiát fosszilis forrásokból biztosítják, ez az üvegházhatás és a globális felmelegedés szempontjából kifejezetten káros lehet [2].

3.2 Technológiai kihívások

Noha a korszerű műszaki kerámiák számos kiváló tulajdonsággal rendelkeznek, van egy olyan jellemzőjük, amelyek korlátozhatja alkalmazásaikat. Ez pedig a kerámiák ridegsége és ebből adódó törékenysége. A kerámiai anyagokban, mikroszerkezetük miatt, nem működnek a fémekhez hasonló deformációs mechanizmusok, ezért a kritikusnál nagyobb külső terhelések hatására a kerámiák katasztrófászerű gyorsasággal törnek szét. Ezt elkerülendő, a korszerű műszaki kerámiák szerkezeti anyagként történő alkalmazásainál általában konzervatív, jelentős felültervezéssel járó biztonsági tényezőkkel dolgoznak, melyek bonyolítják a mérnöki tervezést és növelik a költségeket.

A kerámia alkatrészeket a fémeknél nehezebb megmunkálni (ehhez speciális szerszámokat és technikákat kell alkalmazni), és a felhasználásra kerülő eszközökbe is bonyolultabb beépíteni azokat. Gyakran csak összetett módszerekkel, például keményforrasztással vagy ragasztással építhetők össze, melyek kevésbé megbízhatóak és költségesebbek lehetnek, mint a fémeknél elterjedten használt hagyományos hegesztés.

3.3 Gazdasági vonatkozások

A korszerű műszaki kerámiák – gyártási folyamataik összetettsége miatt – általában drágábbak, mint fém vagy műanyag társaik. A magas gyártási költségek okai közé a különleges minőségű, mesterséges alapanyagok felhasználása, a speciális technológia berendezések szükségessége és az előállítás energiaigényes jellege sorolható. Mindez jelentős tökebefektetést igényel és magasak a termelési költségek is; e tényezők szűkíthetik az iparág szereplőinek körét, és lassíthatják a kerámiaalapú megoldások elfogadását és elterjedését.

3.4 A kihívások kezelési lehetőségei

A fenti kihívások kezelése érdekében folyamatos és intenzív kutatás-fejlesztés folyik a korszerű műszaki kerámiák területén, az alábbi fő irányokban.

Az előállítási módszerek továbbfejlesztése: az elsődleges cél az anyag- és energia-felhasználás csökkentése, valamint a járulékos környezetterhelések csökkentése. Egyik kiemelt fejlesztési irány társított (kompozit) kerámiák előállítási eljárásainak kidolgozása, míg a másik a 3D-s nyomtatás széleskörű bevezetése. Mindkét esetben, a fenntarthatósági kívánalmak figyelembevételén túlmenően, a termékek mikroszerkezetének tökéletesítésével, illetve bonyolultabb geometriák kialakításával csökkenteni lehet a kerámiák ridegségét és javítani lehet mechanikai tulajdonságaikat. A K+F tevékenységben nagy hangsúlyt kap az energiafelhasználás racionalizálása, a hagyományos hőkezelési eljárásokon túlmutató, intenzív eljárások vizsgálata, így például az ívplazmás szinterelés lehetőségeinek bővítése.

Anyagfejlesztések: az alapanyagok fizikai és kémiai paramétereinek tökéletesítése és különböző újszerű társított anyagkombinációk kifejlesztése jelentik a K+F tevékenység fő irányait; az innovációk célja, hogy bővítsék azon alkalmazások körét, ahol a kerámiák hatékonyan hozzájárulhatnak a fenntarthatósági célok eléréséhez.

Költségcsökkentési stratégiák: a vonatkozó erőfeszítések a gyártási folyamatok optimalizására és a termelékenység növelésére, ennek révén a gyártási költségek csökkentésére irányulnak. Ezen túlmenően az elhasznált eszközökben és gépekben levő kerámiaanyagok újrahaznosítása, vagy más iparágak melléktermékeinek alapanyagként történő felhasználása segíthet a költségek és a környezeti hatások csökkentésében [3].

Összefoglalva: jóllehet, hogy a korszerű műszaki kerámiák jelentősen hozzájárulhatnak számos fenntarthatósági és környezetvédelmi feladat teljesítéséhez, szélesebb körű elterjedésüket több kihívás is akadályozza. A kihívások technológiai innovációval és a továbbfejlesztett gyártási folyamatokkal történő kezelése kritikus fontosságú az adott anyagcsalád teljes potenciáljának kiaknázásához.

4. A korszerű műszaki kerámiák jövőbeli kilátásai, az innováció fő irányai

A korszerű műszaki kerámiákra ígéretes jövő várhat környezetvédelmi alkalmazásokban és egyes fenntarthatósági célok teljesítésében. A folyamatos kutatás és technológiai fejlesztés eredményeként megjelenő anyagtudományi és mérnöki innovációk várhatóan leküzdik a még meglévő korlátokat, és új alkalmazásokat nyitnak meg, tovább növelve a kerámiák szerepét a fenntartható gyakorlatokban.

4.1 Néhány újabb fejlesztési eredmény

A korszerű műszaki kerámiák legújabb fejlesztései a tulajdonságok javítására és környezeti hatások csökkentésére fókuszálnak. Az egyik jelentős előrelépés a kerámia szívósságának és tartósságának javítása kerámia mátrixú kompozitok (CMC-k) kifejlesztése révén [4]. Ezeknél a kompozitoknál kerámia mátrixokba építenek be tulajdonságmódosító, főként a mátrix erősítését célzó, speciális morfológiájú (szálas, gömbszerű, szövetszerű) fázisokat. Utóbbiak átveszik az anyagot érintő külső terhelések egy részét, ezáltal csökkentik a mátrixban a repedések kialakulását, aminek eredményeként javul a kerámiák teljesítőképessége nagyobb igénybevétel mellett is.

Egy másik figyelemre méltó előrelépés a nanométeres skálán strukturált, úgynevezett nanokerámiák fejlesztése. Különleges, nanoméretű szerkezeti elemeik révén ezek az anyagok olyan egyedi tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a megnövekedett szilárdság, a fokozott elektromos vezetőképesség és a jobb termikus tulajdonságok, így alkalmasak nagy teljesítményű alkalmazásokra az elektronikában, az energiatárolásban és az energiaátalakító rendszerekben.

4.2 Lehetséges jövőbeli alkalmazások

A korszerű műszaki kerámiák tovább fejlődésével bővülnek potenciális alkalmazási lehetőségeik is. Alábbiakban néhány olyan területet sorolunk fel, ahol a jövőbeli innovációk jelentős hatásuk lehetnek.

Biológiailag lebomló kerámiák: kutatások folynak az orvosi alkalmazásokban és környezeti kármentesítésben felhasználható, biológiailag lebomló kerámiák kifejlesztésére. Ezek az anyagok például segíthetik a hatékonyabb hulladékkezelést azáltal, hogy élettartamuk végén a környezetet nem károsító anyagokká bomlanak le.

Energiatárolás: a jó ionvezető képességű kerámiákat tüzelőanyag cellákban és szilárdtest-akkumulátorokban való felhasználásra fejlesztették ki. Ezek az anyagok biztonságosabb és hatékonyabb energiatermelési és energiatárolási megoldásokat tesznek lehetővé. Főként elektromos járművekben és megújulóenergia-rendszerekben használhatók, támogatva az alacsony szén-dioxid-kibocsátású gazdaságra való áttérést [5].

CO₂-leválasztás és -átalakítás: széleskörű kutatások folynak a kerámia membránok CO₂ megkötésében és átalakításában való felhasználására. A kerámiamembránok szelektíven elválaszthatják a CO₂-t a gázfázisban levő más komponensektől, ezáltal lehetőség nyílik a CO₂ vegyipari hasznosítására, ami nagy mértékben csökkentheti az üvegházhatást, ezáltal eszköze lehet az éghajlatváltozás kezelésének is.

4.3 A korszerű műszaki kerámiák hatása a globális fenntarthatósági célokra

A műszaki kerámiák folyamatos fejlesztése és alkalmazása jelentősen befolyásolhatja a globális fenntarthatósági célokat. Az energiahatékonyság javításával, a kibocsátások csökkentésével és a megújulóenergia-technológiák fejlesztésének lehetővé tételével ezek az anyagok hozzájárulhatnak az éghajlatváltozás mérsékléséhez és a fenntartható ipari gyakorlatok előmozdításához [6].

Az újra feldolgozható anyagok integrálása a korszerű műszaki kerámiák előállításába és a biológiailag lebomló kerámiák fejlesztése pedig csökkentheti a gyártási folyamatok és a termékek életciklusának környezeti lábnyomát, támogatva a körforrásos gazdaságra irányuló erőfeszítéseket [7].

A korszerű műszaki kerámiák kutatása, fejlesztése és alkalmazásba vétele a környezetvédelem és a fenntarthatóság érdekében végzett anyaginnovációk fontos része. Figyelemre méltó tulajdonságaikkal és bővülő alkalmazási körükkel ezek az anyagok egyre fontosabb szerepet játszhatnak a fenntarthatóbb jövő megteremtésére irányuló globális erőfeszítésekben.

5. Zárógondolatok

A korszerű műszaki kerámiák, tulajdonságaiktól és alkalmazásaiktól kezdve a kihívásokig és a jövőbeli kilátásokig egyér-

telműen jelentős előnyöket kínálnak a fenntarthatóság szempontjából. Az ezen a területen folytatott folyamatos innováció és beruházások elengedhetetlenek ezen előnyök maximalizálásához és a meglévő kihívások leküzdéséhez. Ahogy a világ egyre inkább a fenntarthatóságra koncentrál, a mérnöki kerámiák jelentősége várhatóan növekedni fog.

Irodalomjegyzék

- [1] Drivers of change of relevance for Europe's environment and sustainability. EEA Report No 25/2019 Copenhagen, Denmark (2020), ISSN 1977-8449
- [2] Muthukannan M. et al.: International Journal for Quality Research 13(2) (2018) 315–334
- [3] Furszyfer Del Rio D. D. et al.: Renewable and Sustainable Energy Reviews 157 (2022) 112081 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112081>
- [4] Bianchi I. et al.: Journal of Cleaner Production 413 (2023) 137537 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137537>
- [5] Jadhav D. et al.: Renewable and Sustainable Energy Reviews 167 (2022) 112769 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112769>
- [6] Contini G. et al.: Journal of Cleaner Production 414 (2023) 137664 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137664>
- [7] Zhang J. et al.: MRS Communications (2024) <https://doi.org/10.1557/s43579-024-00524-9>



Adobe Stock | #523499215

Hazai természetes építőanyagok, mint innovatív építőipari termékek

BIHARI ÁDÁM • DR. MEDGYASSZAY PÉTER

Összefoglaló

A természetes építőanyagok felhasználásában több szempontból is sok kiaknázatlan potenciál van: környezetbarát (ökologikus); emberbarát (egészséges); hozzáférhető (elérhető, gazdaságos). A mai napig nagy mennyiségben állnak rendelkezésre az ehhez a természetes alapanyag-használton alapuló építészethez szükséges nyersanyagok.

Az építőipar gazdasági teljesítménye évek óta stabilan növekvő tendenciát mutat. Napjaink építőipari tendenciái – a jelen civilizációs modell továbbélését feltételezve – egyértelműen a gépesítés, az élőmunka minimalizálás irányába mutatnak. Bár az ipar továbbra is rohamléptekkel fejlődik, ebben az innovatív környezetben sem szabad megfeledkeznünk a természetes építőanyagokról, mint gazdaságos és környezetbarát alternatívákról.

Ahogy más területeken, úgy az építőiparban is kezd kibontakozni a 3D nyomtatás technológiája. Ez az eljárás éppúgy alkalmas cement alapú beton keverékek nyomtatására, mint agyag alapú vályog keverékekére. Kevesen tudják, de természetes alapanyagok felhasználásával már készíthető éghetetlen táblás szalma hőszigetelés.

Jelen cikkben ezen természetes anyagú innovatív építőipari termékeket és a bennük rejlő műszaki és mennyiségi potenciált mutatjuk be.

Keywords: Natural building materials, 3D printing, Rammed earth walls, Additive technologies, Earth construction

1. Bevezetés

Változó világunkban számos olyan jelenség van, amelyek önmagukban is elégséges indokok lehetnek arra, hogy a természetes alapanyagú építőanyagok témájával foglalkozzunk. Együtt, komplexen értelmezve a globális rendszerek dinamikáját, viszont fontos a saját, lokális válaszaink megfogalmazása. Ennek az építőiparra vetített hazai válasza jelen cikk szerzői szerint a természetes építőanyagok. Ebből kifolyólag jelen cikk fókuszában a természetes építőanyagok állnak.

Természetes építőanyagok alatt azokat a vályog, föld, szalma, nád, kender, fa, kő, mész építőanyagokat értjük, amelyek vagy közvetlen nyersanyag bányászással (pl.: agyag bányászat), vagy másodlagos nyersanyag hasznosítással (pl.: mezőgazdasági melléktermékek – szalma, kender – hasznosítása), hozzáadott nagyarányú mesterséges adalékszerek nélkül, minimális primer energiafelhasználással készülnek.

A természetes építőanyagokra úgy tekintünk, mint modern építészeti formálhatóságot biztosítani képes kortárs építőanyagokra. A hagyományos, magyar népi építészet épületei kivétel nélkül, természetes építőanyagokból épültek, de a kész épület nem összekeverendő az építőanyagokkal és az épületszerkezetekkel! A természetes építőanyag használaton alapuló modern építészeti létező fogalom.

A kortárs, napjainkban működő, túlnyomó részt nagy beépített energiatartalmú, műanyag építőanyagokkal dolgozó építőipart konvencionális építészetnek nevezzük a cikkben.

2. Piaci körkép - a vályog építőanyagokban rejlő potenciál, trendek és innovációk

2.1 A vályogépítés előnyeinek és hátrányainak bemutatása

A vályogépítéssel kapcsolatban a nemzetközi szakirodalom és gyakorlat esetenként ellentétes, vagy árnyalt állításokat

fogalmaz meg a magyarországi köz-, és szakmai életben vélt anyag-tulajdonságokkal kapcsolatban.

2.2 A vályog előnyös tulajdonságai

A vályog **kiemelkedő szorpciós képességeiben** az összefoglaló jellegű nemzetközi-, [1],[2] és hazai szakirodalmak, [3], [4] és a rövidebb, specifikus tudományos cikkek is egyetértenek.

Ugyancsak egyetért a szakirodalom a vályog **átlagos anyagoknál magasabb hőtároló képessége** tekintetében. Mindezeknek köszönhetően elmondható, hogy az emberi hőérzet és klimakomfort szempontjából kifejezetten kedvező hatású [5].

Környezetvédelem **fenntarthatósági szempontból kiemelkedő a teljesítménye**. Mivel a vályog épületszerkezetek gyártásuk és építésük során nem esnek át sem magas hőfokú égetésen, sem mesterséges adalékok hozzáadásán így **100%-ban természetes anyagokból** felépülő szerkezetekről beszélhetünk, amelyek teljes egészükben **újra felhasználhatóak** vagy közvetlenül visszaforgathatók a természetbe. A **beépített primer energiatartalmuk minimális** [1].

Faanyagokkal közösen épített szerkezetek esetén megfigyelhető, hogy a fát hatékonyan konzerválja, a biológiai kártevőkkel szemben ellenállóbbá teszi. Tűzvédelmi szempontból elmondható, hogy gyakorlatilag **nem éghető**. Nagy tömege révén **kedvező akusztikai tulajdonságokkal** rendelkezik.

Mindezek egy olyan **könnyen formálható**, emberi erővel is megmunkálható anyagról beszélünk, mely **világszerte számos helyen nagy mennyiségben hozzáférhető** és felhasználásának mennyiségi korlátai gyakorlatilag nincsenek [2].

2.3 A vályog hátrányos tulajdonságai

Figyelembe kell venni, hogy a vályogfalak robusztussága ellenére **nincs kiemelkedő nyomószilárdsági teljesítményük és elhanyagolható a húzó- és hajlítószilárdságuk** [3],[6].

Ország	Technológia	Funkció	Terméknév/Gyártó	Fotó	Forrás
Felelős műszaki vezető által minősíthető „az építkezés helyszínén gyártott, hagyományos vagy természetes építési termék” 275/2013. (VII. 16.) Korm.-rendelet					
Európa-szerte	vályogtégla (kézzel vetett, vagy géppel préselt tégla)	teherhordó fal, vázkitöltő fal	-		[11]
Európa-szerte	vályog vakolat	főleg belső, esetleg külső vakolat	-		[12]
Minősítő intézet és/vagy gyártói teljesítménynyilatkozat alapján minősített építőipari termékek					
Magyarország	vályogtégla (extrudált tömör, vagy üreges vályogtégla)	vázkitöltő fal	Forrástégla		[13]
Magyarország	zsákos vályog	külső, belső vakolat	Forrástégla		[13]
Németország	vályog építőlemez	belső térelhatárolás, hőtárolás	Lehmorenge		[14]
Franciaország	vályog padozat	padlóburkolat			
Olaszország, Magyarország	3D nyomtatás	falak-kupolák	Wasp, Ökodome		[15]

1. táblázat Vályogalapú építési termékek Európában (gyártási hely szerint)

Ennek következménye, hogy szeizmikus aktivitásra – kiegészítő merevítő rendszer nélkül – rendkívül érzékeny. Egy elterjedt **tévhit a vályoggal kapcsolatban, hogy jó hőszigetelő** képességű anyag. Ennek éppen az ellenkezője igaz. Mivel nagy térfogatsúlyú, így jó hővezető, következésképpen rossz hőszigetelő.

A konvencionális építőanyagokhoz (égetett kerámiák, beton, acél, stb.) képest **magas a nedvesség érzékenysége**. A vályogfal esetében a jelentős nedvességfelvétel szilárdság csökkenést eredményez [1].

A vályog is elsősorban a saját építési rendszerében kompatibilis más anyagokkal, melyek a természetes alapú anyagok: fa, szalma, kender, mész. **Vakolattartási problémák** merülhetnek fel különösen cementes vakolatok vályogfalra építése esetében és vályogvakolat sem építhető közvetlenül beton falra.

Természetes anyag révén **problémát jelenthet a biológiai kártevőkkel** (rovarok, gombák) szembeni érzékenység és az **inhomogenitás**. A különböző vályogtalajok sokféle agyagásványból és görgeteg frakciókból épülnek össze. Ezek egy része

nedvességfelvétel közben **jelentős duzzadásra, száradás közben pedig zsugorodásra hajlamos**.

Szintén hátrányos tulajdonság, hogy az alapanyag könnyen hozzáférhetőségével szemben rendkívül **idő- és élőmunka igényes** a tradicionális vályog szerkezetek kivitelezése.

2.4 Jelenlegi alkalmazási terület

A vályog építőipari alkalmazása több ezeréves múltra tekint vissza, a letelepedett emberi közösségekkel egyidős. Magyarországon az 1900-as évek elejéig meghatározó építőanyag volt. Alkalmazása rohamosan szorult vissza a 20. században, de ma is 670.000 épület falazata vályog Magyarországon a KSH adatai szerint [7]. Ugyanakkor a KSH adatai alapján 2010 után csak 175 épület készült vályog falazattal.

A vályog különféle formában beépíthető megfelelő szárazsági követelmények teljesülése mellett mind új, mind meglévő épületek esetén a 1) falakba a) tartószerkezeti vagy b) kitöltő jelleggel; 3) használható vakolatként (főleg beltérben); 3) készíthető belőle előregyártott építőlemez; 4) padlóburkolat; és

5) alkalmazható födémek, tetőteret határoló szerkezetek kiegészítő anyagaként [8],[9].

Magyarországon a vályog a vonatkozó termékrendelet alapján beépíthető egyszerűsített, felelős műszaki vezető által végzett minősítéssel [9] és klasszikusan minősített (NMÉ, ETA) termékként is [10].

A modern vályogépítés területén Németország vezető szerepet tölt be, ahol DIN szabványokat is hoztak az új alkalmazások szabványosítására:

- DIN 18942-1:2018-12 Lehmstoffe und Lehmprodukte - Teil 1: Begriffe
- DIN 18942-100 Lehmstoffe und Lehmprodukte - Teil 100: Konformitätsnachweis
- DIN 18945 Lehmsteine - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung
- DIN 18946 Lehmputz - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung
- DIN 18947 Lehmputzmörtel - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung
- DIN 18948 Lehmplatten - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

2.5 Jelenlegi alkalmazás volumene

Vályogot legnagyobb mennyiségben jelenleg még mindig falazatokhoz használják. Ismereteink szerint a jelenlegi felhasználás volumenéről nincsenek pontos statisztikai adatok. A Környezettudatos Építők Szervezete (Körépítők) összefogja a vályogépítéssel foglalkozó szakembereket. A Körépítők tag-ságából származó információk szerint rakott falas, vert falas, kézzel vetett és géppel préselt és extrudált technológiákkal is készülnek jelenleg Magyarországon új épületek és zajlanak felújítások. Ezek száma azonban nagyságrendekkel kevesebb a konvencionális anyagokkal készült épületekhez képest. Terjedőben van a vályog vakolatok elsősorban beltéri alkalmazása, konvencionális anyagokhoz képest szintén minimális mennyiségben. A vályog építőlemezek alkalmazására alig találunk példát.

A vályog nagyobb mértékű alkalmazásában van potenciál, de a nagyobb mértékű alkalmazásnak jelentős gátjai vannak. [16]

2.6 Nagyobb mértékű alkalmazás gátjai

A különböző technológiák elterjedésének **közös gátjai**:

- „vályog” negatív társadalmi megítélése: az elmaradottsággal, a szegénységgel társítja a magyar társadalom.

A számításba jöhető alkalmazások gátjai ezen közös gáton túlmenően az egyes alkalmazásoknál eltérőek.

A **helyben termelt, beépített technológiák** elterjedésének gátjai:

- az alapanyag lelőhely korlátos, minősége bizonytalan,
- a kézzel vetés és helyben gépi préselés élőmunka igénye jelentős. Sok és nehéz fizikai munkával állíthatók elő az építőelemek/falazatok.
- A tervezést kockázatosá teheti a vályogra vonatkozó szabványok, tervezési előírások hiánya, hiányosságai.
- Az építés nehéz fizikai munkával jár.

Az **üzemben termékként előállított technológiák** elterjedésének gátjai:

- az alapanyag lelőhelyek korlátosak: az agyagbányák nagy része egy kézben van, amely téglagyártó nem érdekelt a vályog termékek gyártásában,
- termékminősítések jelentős költségét kevés gyártó tudja bevételezni a jelenlegi alacsony építési volumen mellett,
- gyártókapacitás hiánya,
- az alacsony eladási volumenből és a nem hatékony gyártásból adódóan a termékek ára magas,
- technológia iránti építetők bizalmatlanság,
- műszaki megoldások újszerűsége miatt kevés építész vállalkozik a tervezésre,
- a műszaki megoldások újszerűsége miatt kevés kivitelező vállalkozik az építésre,

Az **új, kísérleti technológiák** gátjai:

- a legtöbb új technológia pl. 3D nyomtatás még kísérleti fázisban van,
- gyártókapacitás kidolgozatlansága,
- a termékek ára nem ismert,
- technológia iránti építetők bizalmatlanság,
- műszaki megoldások újszerűsége miatt kevés építész vállalkozik a tervezésre,
- a műszaki megoldások újszerűsége miatt kevés kivitelező vállalkozik az építésre.

2.7 Az alkalmazás gátjainak javasolt lebontási módszerei

A helyben termelt, beépített, a tradicionális technológiákon alapuló megoldások vélhetőleg nem fognak tömegeket megszólítani, de továbbra is lesz igény ezen megoldásokra. Ezen szegmensben a szemléletformálás nem szükséges, a megrendelők motiváltak. Szükséges azonban a technológiát értően alkalmazni tudó építésszek és kivitelezők és az építkezésben sok esetben saját erőt alkalmazó megrendelők képzése.

Volumenében nagyobb potenciál van a termékként megvásárolható vályog termékek nagyobb mértékű alkalmazására. Az elterjedések észlelt gátjainak lebontása érdekében a következő tevékenységek szükségesek:

1. Szemléletformálás
2. Képzés tervezőknek
3. Kivitelezői kapacitás növelés
4. Vályog technológiák megvalósításának műszaki-építéshatósági szabályrendszerének rögzítése (folyamatban az Építési Irányelv frissítése révén); szabványok kidolgozása
5. Termékek hatékonyabb gyártását lehetővé tévő gyártósorok fejlesztése.

2.8 Nagyobb mértékű alkalmazás kitörési pontjai:

A gátló tényezők mellett kitörési pontok is fellelhetők: Az ipar fejlődése, a megannyi technológiai és anyagfejlesztési innováció mellett figyelemreméltó vályogot felhasználó építőipari megoldások is felszínre kerültek.

A vályog esetében a kitörést elsősorban a gépesítés, helyszíni, vagy üzemi előregyártás jelenti.

1. jó példa: Martin Rauch - üzemi paneles látszó vert vályog falazat előregyártás



1-2. ábra Martin Rauch (Lehm Ton Erde) látszó vert falazat üzemi előregyártása és helyszíni összeszerelése (forrás: <https://www.lehmtonerde.at/en/>)

2. jó példa: WAS-Ökodome - építéshelyszíni 3D vályog épületnyomtatás



3-4. ábra A WASP Crane nyomtatóval készült első vályogépület (balra) és az Ökodome csoport saját fejlesztésű kupaépülete nyomtatás közben (jobbra) (forrás: Bihari Ádám)

3. Konklúziók

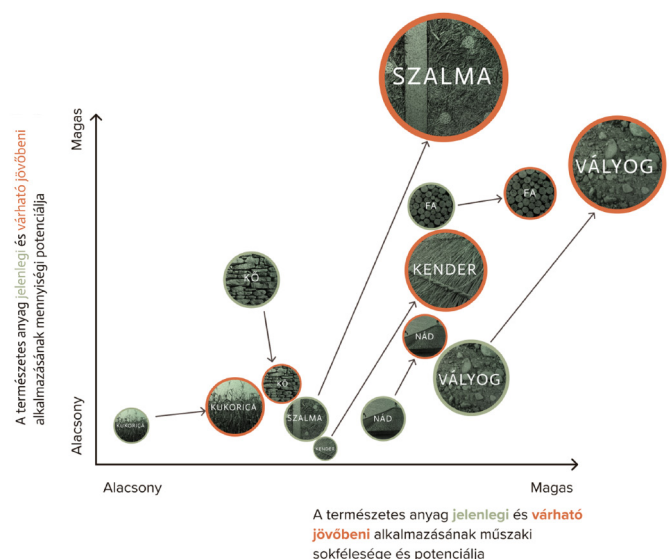
A természetes építőanyagok előtérbe helyezése a magánlakásépítés terén kézenfekvő válasz lehet ezekre a kihívásokra.

Mivel kevesebb feldolgozottságot igényelnek, kisebb a beépített energiatartalmuk, ezáltal a CO₂ kibocsátásuk.

Természetes anyag révén nem környezetszennyezők, a természet körforgásába visszaforgathatók bonyolult hulladékkezelési eljárások nélkül.

Épületbiológiai szempontból az emberi felhasználókra nézve kifejezetten kedvező élettani hatásúak.

Helyben (országosan) hozzáférhetőek, elérhetőek. Számos hazai innováció ért már el eredményt a témában. Hazai anyagból, saját fejlesztésű építőanyagok értékesítésével csökkenne a külföldi építőanyag függőségünk, sőt akár egy új exportképes iparág kifejlődését is lehetővé tenné.



5. ábra Természetes anyagok alkalmazásának várható műszaki és mennyiségi potenciálja (forrás: NaturARCH Házépítő Kft.)

A természetes építőanyagok felhasználásban sok kiaknázatlan potenciál van: környezetbarát (ökologikus), emberbarát (egészséges), hozzáférhető (elérhető, gazdaságos). Napjainkban számos világszintű változást és válságjelenséget tapasztalhatunk, amelyekre reagálnunk kell. (pl.: éghajlatváltozás, civilizációs betegségek, gazdasági- és energiaválság) A természetes építőanyagok előtérbe helyezése kézenfekvő válasz lehet több ilyen kihívásra is. A természetes építőanyagok előállításának és felhasználásának nagy történelmi múltja van Magyarországon. A mai napig nagy mennyiségben állnak rendelkezésre az ehhez az építészethez szükséges nyersanyagok Magyarországon. A meglévő épületállományunk jelentős része csak ilyen anyagokkal, másik részük ilyen anyagokkal is felújítható, korszerűsíthető. Az építőipar gazdasági teljesítménye évek óta stabilan növekvő tendenciát mutat. Ezen belül pedig a természetes építőanyagok volumennövekedése nagyságrendi növekedést jelenhet a következő években. A természetes anyagú épületszerkezetek esetében hazai szinten is egyértelmű felhasználási potenciál növekedés mutatható ki.

Irodalomjegyzék

- [1] Minke, Gernot: Lehm- und Strohbaubuch, ökobuch Verlag, 1999
- [2] Houben H, Guillaud H: Earth construction, Intermediate Technology Publication, London, 1989.
- [3] Szűcs Miklós: Föld- és vályogfalú házak építése és felújítása, Építésügyi Tájékoztatói Központ, 2002.
- [4] Medgyánszky Miklós: Vályogházak - Építés, korszerűsítés, átalakítás, Terc Kiadó, 2005.
- [5] Medgyasszay P, Novák Á: Föld és szalmaépítészet (Earth and Straw-Architecture only in Hungarian language), Terc Kiadó, 2006.
- [6] Morel J.C., et al (2008). Compression behaviour of nonindustrial materials in civil engineering by three scale experiments : the case of rammed earth, Materials and Structures
- [7] https://www.ksh.hu/mikrocenzus2016/kotet_7_lakaskorulmenyek (2.1.1; 2.1.2. táblázatok)
- [8] Medgyasszay, P – Novák, Á: Föld és szalmaépítészet, Terc Kiadó, 2006. ISBN: 9639535435 p 1-178
- [9] Bihari, Á., Medgyasszay, P. (2020). A vályogépítés jelene és várható jövőbeni tendenciái. Metszet, 11(4), 40–44.
<https://doi.org/10.33268/Met.2020.4.6>
- [10] Medvey, B., Bihari, A., Medgyasszay, P.: TERMÉSZETES ÉPÍTŐANYAGOK SZABÁLYOZÁSA: Különös tekintettel a vályog építési anyagokra és technológiákra. METSZET 2018(6), pp. 84-91
- [11] Belső Udvar Építész, Kutató és Szakértő iroda referenciái
www.belsoudvar.hu (2022-07-26)
- [12] Forrástégla <http://forrastegla.hu/> (2022-07-27)
- [13] Forrástégla <http://forrastegla.hu/> (2022-07-27)
- [14] Lehmorenge www.lehmorenge.de (2022-07-27)
- [15] Dezeen <https://www.dezeen.com> (2022-07-27)
- [16] Kovács Ádám Tamás: Az építészeti tervezés jövője Magyarországon az elkövetkező 20 évben. MTA, Jövőkutatói Tudományos Albizottság: A múltból átívelő jövő, VIII. Magyar (Jubileumi) Jövőkutatói Konferencia. Platina 2018. pp.329-339.



Adobe Stock | #552974197

Termőképesség helyreállítása egy agyagbányában, innovatív hulladékhasznosítási módszerekkel

DR. HEIL BÁLINT • Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet

HORVÁTH SÁNDOR • Székesfehérvári Téglaiipari Kft.

DR. KLING ISTVÁN • Észak-dunántúli Hulladékhasznosító Kft.

DR. KOVÁCS GÁBOR • Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet

Absztrakt

Az építőipar az emberiség modern technológiai fejlődésének alappillére. Környezeti hatásai azonban igen jelentősek. A mai népesség mellett szükséges a körkörös gazdaság kialakítása és hosszú távú fenntartása. A téglá és cserépgyártás bányászati tevékenysége végeztével jelentős tájsebek jönnek létre. A rekultivációs folyamatok végén általában nem kerül teljes mértékben visszaállításra a terület termőképessége, legtöbbször csak valamilyen gyér növényzeti borítás jön létre. Mi egy olyan technológiát fejlesztettünk ki, amely nemcsak, hogy alkalmas mély termőrétegű, akár zárt fás növényzet fenntartását lehetővé tevő felszínborítás kialakítására, de egyben gazdaságosan végrehajtható hulladékhasznosítással van egybekötve. A gyakorlatban is eredményesnek bizonyult módszer az agyagos bányameddő és biológiai hulladékok megfelelő elegyítésével, mikrobiológiai kezelésével olyan helyettesítő talajkeverék fedőréteget hoz létre, amely rövid időn belül egy természetes talaj összes funkciójával rendelkezik. Az eljárást mára hazai és nemzetközi szabadalom is védi.

Kulcsszavak: bányarekultiváció, biológiai hulladékok, helyettesítő talajközeg, talajtermékenység

1. Bevezetés

Az építőipar az emberiség modern technológiai fejlődésének alappillére. A városiasodás üteme feltartóztathatatlan. Az ipari és technológiai fejlődés egyre kényelmesebbé teszi életünket azáltal, hogy a környezeti viszonyoktól megóv minket. Egy jól megépített lakóépület megvéd minket a zord hidegtől, a nyári forróságtól, a csapadéktól, külső zajoktól és egyéb kellemetlen behatásoktól. Hazánkban a legtöbb épület falazatát téglából, a tető lefedését cserépből készítik. Ehhez szükséges a természetben megtalálható agyagos ásványi alapanyag kibányászása. Napjainkban komoly környezeti problémát jelentenek az ezen külszíni bányászattal érintett területek miatt a természetes állapothoz képest jelentősen degradálódott felszínek. Regenerálódásuk, termővé fordulásuk rendkívül lassú, több évszázados-évezredes folyamat. Becsült adatok szerint egyes országokban a művelésre alkalmatlan degradálódott területek kiterjedése elérheti az ország területének akár 3-5%-át is.

Környezeti problémát jelent továbbá az egyre nagyobb mennyiségben keletkező kommunális eredetű szennyvíz, amelynek növekvő mennyisége a társadalmi-gazdasági működéssel és fejlődéssel együtt jár. Az általában koncentráltan keletkező szennyvíz kezelése során keletkező szennyvíziszap mennyisége egy tízmillió lakosú országban a csatornázottság függvényében akár évi 250.000 t szárazanyagot is kitehet (Stratégia 2014 Konzorcium, 2016). Ilyen mennyiségű szennyvíz elhelyezése és kezelése a jelenleg rendelkezésre álló technológiákkal csak részben megoldott.

Cikkünkben egy olyan bánya-rekultivációs módszertani fejlesztés eredményét mutatjuk be, amely számos nemzeti és Európai Unió stratégánkhoz illeszkedik. Az ásványi nyersanyagok kitermelése során elérhető legjobb technológia igényének megfelelően, gazdaságosan kivitelezhetővé teszi a termelés

befejezése után kötelezően elvégzendő rekultivációt. A kommunális szennyvíziszap és egyéb biológiai eredetű nem veszélyes hulladékok felhasználása révén eleget tesz a biológiailag lebomló hulladékok hasznosítása elvének, a környezetterhelés ezzel kapcsolatos minimalizálása elvének, a hulladékhasznosítás elvének. Megfelel azon törvényi rendelkezésnek, mely szerint a szennyvíziszap nyersanyag, melynek energia- és növényi tápanyagtartalmát hasznosítani kell, egyben el kell kerülni a szennyvíziszapok kommunális hulladéklerakókban történő tárolását. A módszerünkkel létrehozott, tájba illesztett rekultivált felszínen fás- és lágyszárú, energetikai célú növénytermesztés kivitelezése válik lehetővé. Ez hozzájárul a megújuló energia fokozott mértékű hasznosítása elvének megvalósításához.

1.1 A bányarekultiváció kiinduló állapota

Az agyag kitermelése után általában olyan természetes ásványi felszín marad vissza, amely a talajképződési folyamatoknak csak a kiindulópontját adja. Rajtuk termékeny talajfelszín csak hosszú évszázadok, évezredek alatt alakul ki. Ezt a fejlődési folyamatot azonban jelentősen fel lehet gyorsítani, ha a termékeny talaj tulajdonságait előidéző, magas humusz- és tápanyagtartalmú, nagy víztartó képességű anyagkeveréket hozunk létre úgy, hogy az anyagában, szerkezetében, biológiai aktivitásában rövid időn (akár egy évtizeden) belül is képes már egy kész, termékeny talaj funkcióit betölteni.

Hagyományosan sajnos legtöbbször csak néhány 10 cm vastagságú humuszos feltalaj visszaterítésére kerül sor. Ehhez az akár több évtizeden át prizmában tárolt, eredeti funkcióit gyakran már leginkább elvesztett talajanyagot használnak fel. A létrehozott vékony termőréteg legfeljebb gyér, füves vegetáció fenntartására alkalmas, a fák számára szükséges mélyebb termőréteg, nagyobb tápanyag- és vízkészlet hiányzik.

1.2 Új, tudományos alapú koncepció

Mi abból indultunk ki, hogy zárt fás vegetáció fenntartásához egy közel két méter termőréteg vastagságú talajfelszín szükséges. A talaj fogalma abban tér el a nyers, ásványi földfelszíntől, hogy előbbi már stabil szerkezettel, kellő mennyiségű, tartós összetételű szerves anyag felhalmozódással, aktív talajélettel rendelkezik. Míg a tisztán ásványi felszín esetében a talajszemcsék egymáshoz kapcsolódása nem kellő mértékű, addig a humuszfelhalmozódás révén ún. organominerális (szerves-ásványi) komplexek jönnek létre. Ez stabil formájú, méretű talajszemcsék, valamint a bennük és közöttük kialakuló pórusrendszer kialakulását eredményezi. A talaj pórusaiban víz- és levegőtárolás ill. áramlás zajlik. A szilárd részecskék pórusokkal határos felszínein olyan anyagcserefolyamatok zajlanak, amelyek a talajmikrobák és a növények gyökerei számára biztosítják a tápanyag- és vízfelvétel lehetőségét. A nyers agyagos felszín helyett tehát egy ilyen összetételű, szerkezetű fedőréteget kellett létrehozunk.

1.3 Az eljárás elemei

Eljárásunk a bányameddőben helyben már rendelkezésre álló ásványi kiindulási anyagok mellett olyan biológiai alapanyagok egyidejű hasznosításából indul ki, amelyek máshol feleslegben, hasznosítatlanul, vagyis jogilag is hulladéknak minősítve állnak rendelkezésre.

A bányameddőkhöz hasonló területek közé az antropogén hatásra létrejött, jelen állapotukban művelésre alkalmatlan, terméketlen felszínek tartoznak: ilyenek a földes kopárok, alapkőzetig erodált területek, a külszíni-szén, kavics, homok, agyag, kő, egyéb ásvány bányák és azok környezete, meddőhányói. Fenti ásványi alapanyag a degradálódott felszínen található olyan, az emberi behatást megelőzően nem felszíni alap- ill. ágyazati kőzet (talajanyag), amely összetételében alkalmas az előállítandó helyettesítő talajközegben való alkalmazásra.

Szerves alapanyagként kiemelten alkalmas a kommunális szennyvíziszap, mint a szennyvíztisztítás legnagyobb mennyiségben keletkező hulladéka. A szennyvíz tisztítása során másodlagos anyagként keletkezik. Ennek az anyagnak a kezelése a folyadékfázis technológiai rendszerével való kölcsönhatások miatt attól el nem választható és azzal szerves egységet képez. A települési szennyvíztisztító folyamatokból származó iszap nem tekintendő veszélyes hulladéknak, hanem éppen a benne megtalálható alkotó elemek miatt, korlátozott feltételek mellett – hasznosítható melléktermék, mely alkalmas primer anyagok, illetve megfelelő beavatkozással energiahordozók kiváltására vagy pótlására (tápanyagok, különböző tüzelőanyagok, villamos energia stb.). A szennyvíziszapok összetétele a származási helyüktől és a kezelési technológiától függően változó, de közös jellemzőjük a magas nedvességtartalom. A hazai tisztítókiből, kezelőktől ún. szivacszerű (lapátolható) állapotban kerül ki az iszap nagy része, melynek nedvesség tartalma átlagosan 78-82% körül van, a tisztítóink azonban jelentős mértékben bocsátanak ki ennél magasabb 92-94% víztartalmút (folyadékfázisút) is.

Felhasználható tovább biológiai eredetű, nem veszélyes hulladék, melynek nagy része a mező-, és erdőgazdaságban, valamint az élelmiszeriparban képződő, döntő hányadában szerves hulladék a biológiai körforgásba megközelítőleg teljes egészé-

ben visszakerülő mező- és erdőgazdasági maradvány, hasznosítható biomassza.

A szerves ásványi komplexek kialakulásának, termékenységiük megnyilvánulásának fontos feltétele az aktív talajélet kialakulása, a rekultiválandó területhez közeli, természetes talajképződési folyamatokkal létrejött, termékeny talajból származó starter kultúrák izolálásával és felszaporításával. A starter kultúrák az elkészített keverék mikrobiológiai közösségi összetételének kialakításához kerülnek felhasználásra.

Fenti ásványi, holt szerves és élő biológiai kiindulási anyagok meghatározott paraméterek szerinti, mesterséges keverékének létrehozása révén rövid időn (2-3 éven) belül termékenyebbé váló helyettesítő talajközeg jön létre. Ennek jellemzője, hogy már megfelelő mértékben megvalósult benne a kiindulási anyagok elegyítése, homogenizálása, ami elősegíti a talajosodást, stabil szerves-ásványi komplexek képződését, a növényzet vízzel és tápanyaggal való ellátásának biztosítását.

Az eljárás elemét képezik a helyettesítő talajközeg előállításához szükséges egyedi műszaki megoldást jelentő gépi alkalmazások. Ez egyrészt tartalmazza hagyományos földmunkagépek újszerű technológiai láncban történő használatát, másrészt új fejlesztésű, egyedi műszaki egység kialakítását. Fontos lépés a degradált ásványi felszín megfelelő geomorfológiai alakzatának kialakítása is. Ennek lényege, hogy az anyagmozgatás mind ezen lépés, mind a későbbi bekeverési lépések során minimális mértékű és ebből adódóan költségtakarékos legyen.

Mivel a hétköznapi gyakorlatban sem hazai, sem EU jogszabály nem rögzíti a szennyvíziszap és szennyvíziszap komposzt vizsgálati, elhelyezési paramétereit rekultivációs hasznosítás esetére, ezért (nem mezőgazdasági célú) rekultivált területeken határértékek hiányában az eljárásunkban meghatároztuk a helyettesítő talajközeg létrehozásakor elérendő talajtani paramétereket.

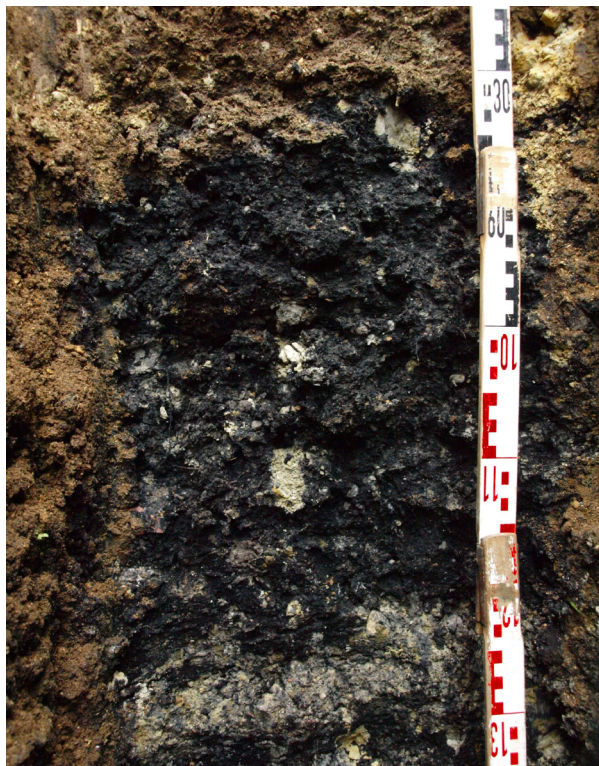
Kiegészítő lépés lehet, hogy az egyszeri bekeveréssel kialakított, helyettesítő talajközegből álló takaróréteget, megfelelő időtartam (3-7 év) kivárása után több ismétlésben, több rétegben egymásra fedve ugyanazon a helyen többször megismételhetjük a folyamatot, ezzel a helykihasználás mértékét jelentősen javítja. Így végül a helyettesítő talajközegből képzett, megfelelő vastagságú takarórétegen, a kísérleteink eredményeként kiválasztott, erre alkalmas fás- ill. lágyszárú fajokból álló növényborítást hozhatunk létre, és ezeket megfelelően gazdasági céllal hasznosíthatjuk (1. ábra).



1. ábra Fás és lágyszárú növényzet sikeres telepítése a rekultivált felszínen

1.4 Az eljárás előnyei

A biológiai rekultiváció révén a korábbi degradált felszín helyett olyan új felszín keletkezik, amelynek helyettesítő talajközege – más eljárásokkal összehasonlítva – rövid időn (2-3 év) belül, magas humusz- és tápanyagtartalmú, nagy víztartó képességű talaj-rendszerként működik (2. és 3. ábra).



2. ábra A helyettesítő talajközeg kiinduló összetétele, talajosodás kezdeti fázisában



3. ábra A helyettesítő talajközeg talajosodáson átesett állapota

A létrehozott helyettesítő talajközeg kielégíti a növények által a természetes úton létrejött termőtalajokkal szemben támasztott igényeket.

Egyben jó alternatívát jelent a szennyvíztisztító telepeken keletkező kommunális szennyvíziszapok hasznosítására. Míg jelenleg hazánkban és az EU-ban is elsősorban a mezőgazdasági földekre történő, tápanyagutánpótlási célú iszapkiuttatás a leginkább elterjedt (4. ábra), az elmúlt években e megoldással szemben egyre több aggály merült fel.

Disposal of sewage sludge from urban wastewater treatment by method of disposal, 2020 (% of total)



Note: Denmark, France, Italy, Portugal, Iceland, Switzerland, United Kingdom: no data or no recent data available
 (*) Data for 2018 instead of 2020
 (†) Data for 2019 instead of 2020
 (‡) Data estimated
 (¶) Data for incineration and other disposal are provisional
 Source: Eurostat (online data code: env_wv_spd)

eurostat

4. ábra A szennyvíziszap hasznosítási módjai Európában

A természetes életközösségek élőlényekre bizonyítottan negatív hatással lehetnek a gyógyszermaradványok, de egyre nagyobb aggodalomra adhat okot a mikroműanyagok felhalmozódása az iszapban. A mi eljárásunk a szennyvíziszapok mezőgazdasági területen történő felhasználásával szembeni nagy előnye, hogy nem érinti az élelmiszerláncot, a kezelés újabb és újabb területek bevonása nélkül, kis területre koncentrálnak fenntartható és ismételhető, biológiai kockázatot a lakosság számára nem jelent. Kiküszöböli a szennyvíziszapban található patogén mikrobák és esetleges gyógyszer-, vegyszermaradványok, mikroműanyagok okozta kockázatot (Stankevičiūtė et al., 2015).

A klímaváltozás egyre nyilvánvalóbb ténye tükrében fontos az is, hogy a kommunális szennyvíziszap magas víztartalma kedvezően hasznosul a növényzet általi felvétellel, kompenzálva a klimatikus vízhiányt. A szennyvíziszap szerves anyagai olyan módon kötik ugyanis a vizet, amely megakadályozza annak gyors elpárolgását, így a növények fokozatosan, több éven keresztül hasznosíthatják azt. A növényi vegetáció kezdeti szakaszában ez igen nagy előnyt jelent, a növényi szervek megfelelő kezdeti kialakulását elősegíti.

A szennyvíziszapban és a felhasznált biológiai hulladékokban jelen lévő szerves anyag gyors lebomlása helyett lehetővé válik annak jóval nagyobb arányú megőrzése, a szerves-ásványi komplexek képződése és a szerves anyag lebomlását ezzel megakadályozó stabilizáció által. Ez egyben a CO₂-kibocsátás csökkentését okozza. A tartós formájúra alakuló szerves anyag humuszt képez.

Nem mellékes az a gyakorlati szempont sem, hogy a technológiában felhasznált biológiai eredetű hulladékok hasznosítása révén gazdaságilag eredményessé, finanszírozhatóvá válhat a teljes bánya-rekultivációs folyamat.

Irodalomjegyzék

- [1] Stankevičiūtė, J., Barkauskaitė S.M., Brazaitis G. (2015): Detection of xenobiotic substances in Mute swans' (Cygnus olor) blood. Proceedings of the International Scientific Conference Rural Development 2017, Aleksandras Stulginskis University, Lithuania.
- [2] Stratégia 2014 Konzorcium: Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014-2023.
https://www.bitesz.hu/wp-content/uploads/2016/11/SES_STRATEGIA_20150923.pdf

Innovatív technológiák az üvegiparban – építőanyagokba integrálható napelemek minősítése

PATTHY GERGELY BALÁZS ■ Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Műszaki Tudományok Kutató-Fejlesztő Központ, Anyagmérnöki Intézeti Tanszék

DR. JAKAB MIKLÓS ■ Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Műszaki Tudományok Kutató-Fejlesztő Központ, Anyagmérnöki Intézeti Tanszék

DR. ZÁVODI-FODOR ZSÓFIA ■ Corecomm SI Kft.

Absztrakt

A kutatás során egy újfajta, tetőcserépbe integrálható napelem panel különböző igénybevételekkel szemben mutatott ellenállóképességét vizsgáltunk. A napelem klasszikus monokristályos szilíciumon alapul, így az átlagfogyasztó számára is megfizethető, konstrukciójának köszönhetően a napelemek utólagos telepítési költségét is megspórolja. A cella üveghordozóra való laminálásos módszerrel készül, ennek eredménye az építőanyagra való integrálásra kész panel. A kutatás célja ezen panelek terhelhetőségének vizsgálata. Erre azért van szükség, mert a panel csak akkor tekinthető környezetbarátnak, ha gyártásához felhasznált energiát legalább visszatermeli és minél hosszabb élettartammal rendelkezik. A hosszútávú működés és a minőség biztosítása érdekében egy olyan teszt sorozatot hoztunk létre, amelyekkel a panelek minősítése alkalmassá válik. A tesztek során, mind az alapanyagokat, mind a kész termékeket vizsgáltuk. Alapanyag szinten az egyedi tulajdonságok, például összetétel, szakítószilárdság, vagy keménység mérése a cél, cellaszinten pedig az egész rendszert érő behatásokat (mechanikai, kémiai, környezeti) vizsgáltuk, amelyek a teljesítményt és ezáltal a hatásfokot hátrányosan érinthetik.

Kulcsszavak: Monokristályos napelemek, öregítési tesztek, szabványos minősítés

1. Bevezetés

A globalizálódó, folyamatosan fejlődő világnak egyre több és több villamosenergia kell. Az IEA adatai alapján 1990-ben még csak 10897,9 TWh energiát használtunk el világszinten, ez 2019-re 25027,3 TWh-ra nőtt meg, tehát a villamosenergia-igény közel 2,30-szorossá vált a kérdéses időszakban [1]. Szerencsére villamosenergia-termelésre van már számos alternatíva áll rendelkezésre, köztük megújuló energiaforráson alapuló lehetőségek. Ezek közül a napenergia és a napelemek kitűnő választás lehet a jövő számára. Legnagyobb előnyük, hogy a Nap egy szinte kifogyhatatlan energiaforrásként tartja pályán a Földet: csak napenergiából jelenleg 15420-szor több energia érkezik, mint amit az emberiség egy év alatt felhasznál [2]. Elviekben tehát lehetőségünk lenne arra, hogy az emberiség energiaigényét csak ezen a módon kielégítsük. Szerencsére a világ teljes energiatermelésében a napelemek jelentősége folyamatosan nő. A zöld energiatermelésre irányuló fokozott figyelem megtette hatását e téren: 2016-ra a kumulatív kapacitás átlépte a 303GW-ot [3].

A címben említett napelem egy újfajta, tetőcserépre közvetlenül integrálható termék, amely így az egész tetőfelületet nagyobb átalakítás nélkül képes hasznos termelő felületté alakítani. Ezeket a napelemeket három lépésben készítik: először a wafer készül el Kínában, majd a magyarországi gyártási lépés során történik az eszköz teljes összeszerelése és laminálása, végül Németországban történik meg a tetőcserépre integrálás. A kutatás során a magyar lépésbe volt belátásunk, ennek ismertetése következik. A beérkező alapanyag 156,75 × 156,75 mm-es napelem wafer. A bekerülés után következik a darabolási fázis, ez lézerrel történik, a forrás IPG Y-60. A lézer nem vágja át

teljesen a wafert, csak 30 µm-ig történő bekarcolás történik, a darabolás kézzel fejeződik be. Ezután gépi forrasztással a darabokat sorosan egymáshoz forrasztják, amivel kialakítanak egy több, azonos típusú és teljesítményű napelem wafer összekapcsolásából álló villamos hálózatot. Ezek az energiatermelési alapegységek, a string-ek. Egy string 13 darab ostyaszeletről áll, amelyet önálló (65 m/m%) és ólommal (35 m/m%) bevont réz huzallal (ribbon) kapcsolnak össze, forrasztással. Az összeszerelés ezután kézzel történik, egy Bosch-palettás rendszeren, több operátorállással. Ebbe először is egy edzett üveglap, az üveglapra pedig egy etilén-vinil-acetát (EVA) fólia kerül. A téglalap alakú üveglapra és fóliára még két teflonszalagot helyeznek a hosszanti oldalaik mentén, ezzel védve azokat a forrasztási fázis során. A következő lépés a cella lényegét alkotó 6 string polaritásának megfelelő elhelyezése, majd a cellamátrix kialakítása. A kialakítás során egy fémötvözetből készült vezető szalagot, úgynevezett ribbont forrasztanak a stringek megfelelő végeihez, az egyik ribbon diódákat tartalmaz. A két szélső ribbon végeit ezután kivezetésként lehet használni. A kivezetések a hátlaapon kapnak majd helyet, de előtte még egy üvegfóliát helyeznek a cellamátrix hátuljára, erre kerül még egy EVA fólia és az izotaktikus polipropilén hátlap. A kontaktokat itt vezet ki, az erre kialakított nyíláson keresztül. Az összeszerelés itt véget ért, egy optikai ellenőrzés és egy feszültségmérés után kerül sor a laminátum kialakítására. A laminálást kétkamrás, olajfűtött laminátorban végzik. Az első kamrában a panel 150 °C-on és 5 mbar nyomáson a panel 8-12 másodperc alatt felmelegedik, majd átkerül a második kamrába, ahol lassú nyomásemelést hajtanak végre. 8-12 perccel később innét is kikerül, és a panelt levegőn lehűtik. A laminálás során megolvadt fóliák

a panel szélein sorjaként megjelennek, amit el kell távolítani. A folyamat gépesített. A panel ezzel elkészült, szállítható a végleges összeszerelési helyre [4].

A cellának azonban bírnia kell a környezeti hatásokat, az időjárás és az egyéb terheléseket és behatásokat. Ezért először egy méréssorozatot végeztünk el a cellán acélból, hogy a megfelelést bizonyítani lehessen és meg lehessen állapítani a cella várható élettartamát, hiszen a félvezető minőségű kvarchomokra nézve a Föld zárt rendszer és csak akkor lehet ezeket a napelemes rendszereket környezetbarátnak tekinteni, amennyiben az élettartama során több energiát termel, mint amit bele kellett fektetni a gyártásába [5]. A kutatás célja tehát a laminálási technológiával gyártott napelem panelek várható élettartamának becslése a gyártási paraméterektől függően, illetve a rendelkezésre álló kísérleti eredmények alapján javaslattevél az integrált termékek minőségfejlesztésére vonatkozóan.

2. Anyagok és módszerek

A kutatási munka során egy kiterjedt mérési módszertant dolgoztunk ki a panelek minősítésére és vizsgálatára, ezek a hely rövidsége miatt csak vázlatosan kerülnek ismertetésre:

2.1 Teljesítménymérés

Alapvető kiértékelő módszer, amellyel a vizsgálatok során a panelek állapotát tudjuk nyomon követni az elektromos tulajdonságaik alapján. A teljesítménymérés során a panel egységes megvilágítás alá kerül, amit műterheléssel és üresjáratú módban is mérünk. Lehet folyamatos, vagy pillanatszerű (flash) módban is mérni, mi az előbbi módszert alkalmaztuk. Az alapvető paraméterezés (I-V görbék, munkaponti teljesítmény) mellett összehasonlító módszerrel megmutatható a cellák degradációja. Saját fejlesztésű műszerrel mérünk. A mérés alapja az IEC 60904-3 4.0-ás verziója. A teljesítmény mellett mérjük a kitöltési tényező értékét is, amely a cella hipotetikus maximális teljesítménye és a valós maximális teljesítmény százalékos aránya.

2.2 Kémiai ellenállóképesség vizsgálata

A vizsgálat célja, hogy a paneleken szimuláljuk a külső savas, illetve lúgos hatásokat. Alapja az EN ISO 10545-13:2016 szabvány. A kísérletet a következőképp végezzük: 45 mm átmérőjű poli-vinil-klorid (PVC) csődarabokat helyezünk a panel felületére, azokat megfelelően tömítjük, majd a következő oldatokkal töltöttük fel őket: 3 és 18 V/V%-os sósav (HCl), valamint 30 g/l és 100 g/l koncentrációjú nátrium-hidroxid (NaOH). Az oldatok 96 órán keresztül maradnak a panel kontaktfelületén, utána desztillált vizes mosással eltávolítjuk a sav, illetve lúgnyomokat. A panelek teljesítményét mérjük a korróziós tesztek előtt és után, valamint a vizuális megítélést helyettesítendő, színínger jellemzők meghatározásán keresztül következtetünk az edzett üvegek korróziós hajlamára [6,7].

2.3 Klímakamrás vizsgálat

A legtöbb információt ezzel a méréstípussal szerezhetjük a panelek termikus behatás okozta degradációs hajlamáról. A módszer meleg-párás és hideg kamrákból áll, melyekbe

adott időtartamokra kell behelyezni a paneleket. A mérés alapjául az IEC 61215 szabvány hőmérsékleti profilja szolgált. Egyszerűsítés volt az áramterhelés elhagyása. A méréseket egy hónapos időtartammal végeztük, végül a paneleket megvizsgáljuk, különös tekintettel a hőingás okozta sérülésekre, repedésekre és delaminációra. A hőmérséklet mellett a páratartalom az üvegfelületre leoldó-roncsoló hatással van. Az élettartamra a legjobban a klímakamrás teszt előtt és után végzett teljesítményméréssel lehet következtetni [8,9].

2.4 Mechanikai ellenállóképesség 1. – Ütőszilárdság

A vizsgálat során az egyszeri, rövid erőbehatás cellára gyakorolt hatását vizsgáljuk. A pillanatnyi erőhatás okozta degradációból következtetni lehet a panel mechanikai szilárdságára. A mérést az EN 14617-9 szabvány módosításával végezzük: ejtőcsöves módszert alkalmazunk, amely során egy csőben egy 2,2 kg tömegű, 83 mm átmérőjű acélgolyót ejtünk le, az ejtési magasságot 5 cm-ként növelve. A cellát a kísérlet közben homokágyra helyezük, a homok átlagos szemcsemérete 1-2 mm. A különböző ejtési magasságból fakadó degradáció mértékét a kitöltési tényező meghatározásán keresztül állapítottuk meg [6].

2.5 Mechanikai ellenállóképesség 2. - Pontszerű terheléssel szembeni ellenállóképesség

A vizsgálat célja a cella makroszilárdságának mérése, pontszerű terheléssel szemben. A mérés során az cellát egy szakítógéppel (Instron 250 kN) terheli pontszerűen. Egy pontban 1, 5 és 10 párhuzamos mérést végzünk, közben mérjük a nyomóerőt. A maximális nyomóerőt 1,25 kN-ban határoztuk meg, mert a korábbi vizsgálatok alapján ennél az erőnél az üveg még pont nem törik el, és a fő célunk nem az üveg törésének megfigyelése, hanem a cella sorozatos vagy dinamikus erőhatással szemben mutatott válaszáának kimérése. Degradáló, de nem destruktív vizsgálat, ezért a terhelések után visszamértük a panelek teljesítményét. Az EN 12825:2001 szabvány mérési módszerét használjuk.

2.6 Mechanikai ellenállóképesség 3. - Statikus terheléssel szembeni ellenállóképesség

A mérés kivitelezése teljesen analóg módon történik az előző alpontban ismertetett méréssel, a fő különbség az, hogy a pontszerű terhelőfeltét helyett egy 15 cm átmérőjű acélpogáccsal nyomjuk a panel felületét. Ezzel a nagy felületű terhelések (egymásra pakolás, hórétteg) hatásait szimuláltuk. Az EN 12825:2001 szabvány mérési módszerét használjuk.

2.7 Műszeres színmérés

A mérés célja az, hogy meg lehessen határozni az öregítés során fellépő színváltozás és a cella teljesítményváltozásának összefüggését. Ehhez egy olyan műszert alkalmazunk, amely a CIE 1971 színrendszert és a CIELab környezetet használja. A színbeli különbség az etalonhoz képesti eltolódása adja meg a színváltozás mértékét. A mérések kivitelezéséhez Konica Minolta CM3600d típusú műszert használtunk [10].

2.8 Mikrokeménység meghatározása

A mérés elsődleges célja a panelt fedő üvegtábla mikro-keménységének meghatározása. A mérést Vickers-módszerrel végezzük (135,95° gyémánt gúla, egy lépéses benyomással, előtolás nélkül). A módszer jellegzetes négyzet alakú nyomot hagy. A benyomódás méretének ismeretében számítható az adott anyag Vickers-féle mikrokeménysége. A mérésekhez Wolpert Group Micro-Vickers Hardness Tester 402MVD típusú műszert használunk, a gúla által hagyott nyom átlóit digitális fénymikroszkóppal mérjük.

2.9 Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok

Az összetétel meghatározásához pásztázó elektronmikroszkópot (SEM) (FEI/ThermoFisher Apreo S LoVac) használunk, EDAX Ametek Octane Elect Plus feltétellel, amivel az energiadisziperzív röntgenanalízist tudtuk elvégezni. A SEM lényege, hogy a vákuumban elhelyezett mintára egy elektronnyalábot bocsátunk és a kölcsönhatás eredményeként kapott jeleket detektáljuk. A detektor megválasztásától függ, hogy az anyag mely fizikai paraméterét jelenítjük meg. Az EDAX (energiadisziperzív röntgen spektrométer) detektor alkalmazásával a mintán kiválasztott területen vagy pontban lokális összetétel-mérést is végezhetünk az elektronsugár által kiváltott karakterisztikus röntgenfotonok energiájának és intenzitásának mérésén keresztül, amivel mennyiségi és minőségi analízist is végezhetünk. [11].

2.10 Fényáteresztő képesség

Egyszerű spektrofotometriás vizsgálat, melynek fő célja a monokromatikus fény intenzitásának mérése. Amennyiben levegőre vonatkoztatva mérünk vele, az adott anyag fényáteresztő képessége százalékban kifejezhetővé válik. Nagy érzékenységű, gyors, olcsó vizsgálat. A méréshez Avaspec 2048 típusú műszert használtunk [8].

2.11 Fénymikroszkópos vizsgálat

A méréseket KEYENCE VHX-2000 digitális fénymikroszkóppal végeztük. (akár 10 µm-es felbontás, érintkezésmentesen, tárgylemez nélküli felületvizsgálat, automata kalibrálás és mélységélesség korrekció).

2.12 Fourier-transzformációs Infravörös spektroszkópia

Az infravörös spektroszkópiás vizsgálat (FT-IR – Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia) az infravörös tartományban végbemenő abszorpción alapul. A rezgési spektroszkópiai módszerekkel a csoportfrekvenciákon keresztül a molekula felépítéséről és szerkezetéről is információt nyerhetünk. A mérésekhez PerkinElmer Spectrum TWO FT-IR típusú spektrométert használtunk.

2.13 Polimerizációfok mérése

Módszerünk oldhatóságvizsgálaton alapul: a nem polimerizálódott molekulákat toluollal kioldjuk, így a minta száraz tömege csökkenni fog. A mérést Soxhlet-extrakciós módszerrel végezzük. A mérést 24 órán át végezzük. Elsősorban kiegészítő szerepű, a paraméterek optimalizálására, az EVA minősítésére

és a hibaanalízis során használjuk [12]. Az oldószer toluol (Sigma-Aldrich, 99,5%).

2.14 Polimerizációfok mérése-Kalorimetriás módszer

A polimerizációfok másik mérési módszere a differenciális kalorimetria. A módszer lényege, hogy két cellát, egy ismert hőkapacitású referenciát és a minta egy darabját melegítjük. A cellákhoz saját fűtőszálak is tartoznak, amelyek a hőmérsékletet igyekeznek kiegyenlíteni abban az esetben, ha a minta és a referencia hőmérséklete nem egyezik meg. A felfűtési profil lineáris. Kiegészítő, hibadetektáló mérés [13]. A polimerizációfok mellett más folyamatok is meghatározhatók az elemzés segítségével.

3. Eredmények

3.1 Alapanyag vizsgálata

A hordozó üveglap az EDAX eredmények alapján hagyományos mész-nátron építési üveg, termikus edzéssel erősítve. Vickers-keménysége 500 körül alakul. Levegőre vonatkoztatott transzparenciája 70-75%-os (AVASPEC 5.4, 500-700 nm kalibrálva). Oka a felületi érdesítettség, amely a laminátum kialakulását segíti. Kémiaileg ellenálló, a szabványos vizsgálat nem okozott szemmel látható változást, a színínger jellemzők csak egy esetben adtak alig észrevehető értéket. Az üveg tehát ellenálló, mind mechanikailag, mind kémiaileg.

Az EVA fólia összetételét FTIR segítségével határoztuk meg. A kapott spektrum megegyezett a referenciaként megadott, 28 m% vinil-acetát 72 m% etilén összetételű fóliáéval. Nyers állapotban transzparenciája alacsony, ez a feldolgozás során azonban erősen megnő. A hátlap fólia összetételének vizsgálata szintén FTIR-vizsgálattal zajlott. A spektrum alapján ez egyszerű izotaktikus polipropilén. Mivel a fólia közvetlenül érintkezik a környezettel, azon korróziós vizsgálatot végeztünk. A vizsgálat végén megállapítható, hogy a fólia igen ellenálló, csak a tömény sósav oldat okozott alig észrevehető színváltozást.

A wafereket SEM segítségével vizsgáltuk (20 kV, 1,6 nA, SE detektor). A kapott képek és EDAX elemzés után meghatározásra került az anyagrendszer: a lapka szilícium, első oldalán a vezetősín ezüst, felületén vékony réteg oxid képződött, mely működését nem folyásolja be. A hátlapot alumíniumréteg erősíti, a vezetősín itt is ezüst, enyhe ólom-magnézium szennyezéssel. A delamináció esetén bejutó kémiai behatások modellezésére hasonló módszert használtunk, mint korábban, csak most a waferek felületére csak felcseppentettük a vegyszert, majd letakartuk a betöményedés ellen. Az igénybevétel 96 órás volt. Savas esetben a vezetősín sérült, ólom klorid és ezüst klorid lerakódást okozott, amely mattá tette a felületet. Az alumínium hátlap is kloridos vegyület formájában sérült. Lúghatás esetén a felső oldalon kirakódott nátrium-oxid-hidroxid lerakódást okozott, a hátlapon az alumíniumot feloldotta. Ezek a kiválások több problémát jelenthetnek: egyrészt, bár magát a wafert nem, a hátlapot és a forrasztási anyagot fogyasztják. Ez valós esetben a mechanikai stabilitás elvesztését vagy elektromos szakadást eredményezhetnek. Másrészt a kiválások a fény útjába kerülnek, így a cella hatásfoka csökkenni fog. Ezért különösen fontos a delamináció elleni védekezés. Vizsgáltuk még a lézervágás során képződött profilt is.

A vágási felületeket digitális fénymikroszkóppal mértük fel, ezek konzisztens 30 μm mély árkok voltak max. 5 μm eltéréssel. Vizsgáltuk az anyag felkeményedésének lehetőségét is mikrokeménységméréssel. Az anyag mind a gravírozási csatornák szélén, mind a wafer belső felületén ugyanakkorák, szerkezeti változás tehát nem történik a szilíciumban.

A napelemek esetén a ribbonok jelentik az elektromos összeköttetést. Vizsgálataink célja az összetétel és a kémiai ellenállóképesség vizsgálata volt. Az összetétel meghatározását pásztázó elektronmikroszkóppal végeztük. A ribbonok esetén megerősíthető, hogy anyaguk „65-35-ös” forrasztóón, némi alumínium adagolással. A vékony ribbon esetén megjelenik némi réz is. Ennek oka a felépítésében keresendő: a ribbon mindkét esetben egy forrasztóóonnal bevont réz huzal, de a vékony ribbon esetén a bevonat vékonyabb, mint az elektronsugár gerjesztési térfogata, így ott mérhető a réz is. Az előző pontokban tárgyalt okok miatt korróziós tesztek is végrehajtottunk, amelynek során a ribbon erősen korrodálódott. A kémiai terhelés során az ólom kioldódik a ribbon bevonatából és ólomkloridot képez. A folyamat hatására a forrasztási kötések elengednek és megszűnik a kapcsolat a wafer és a ribbon között.

3.2 Késztermék (panel) vizsgálata

A mérések során egy eredeti és egy módosított laminálási recepttel készült panelt vizsgáltunk.

A környezeti behatásokat a már említett IEC61215 szerinti klímakamrás vizsgálattal végeztük. Mindkét receptúra esetén a mérési ciklus elvégzése után először szabad szemmel vetettük vizuális vizsgálat alá a cellákat egy ép napelemmel összehasonlítva. Szabad szemmel érzékelhető változás nem történt. A fénymikroszkópos felületvizsgálat szintén nem mutatott változást, a villamos paraméterek alig csökkentek. A szín-mérés ugyanazt a színingert adta, mint korábban. Ezért módosítottunk a mérési cikluson a meleg szakaszt 24 óra 105 °C, a hideg szakaszt 24 óra -20 °C-nak választottuk, ezzel gyorsítva azok öregedését. Az eredmények a drasztikusan kitolt hőmérséklettartományban sem változtak, a kitöltési tényezők legdrasztikusabb csökkenése 7,66% volt (76,53->68,87). Általánosan elmondható, hogy a módosított recept kisebb csökkenést adott a ciklusszám növekedésével, de a csökkenés még ekkor is mérhető volt.

Az ütészilárdság vizsgálatot golyóejtéssel végeztük. A golyó tömege 2,2 kg, a magasságot 10 cm-el növeltük. A maximális ejtési magasság 30-40 cm körül alakul, ami 8,63 J alatti ejtőmunkát jelent. Ekkor a cella eltörik, a teljesítménymérés letörést mutat, a kitöltési tényező 50% alá esik vissza. A szakaszos ejtés során azonban a kitöltési tényezők jelentősen nem változnak (max. 1% változás). Ez mind a sorozatos, mind az egyes ejtések során igazak. Kiemelendő a módosított receptúra néhány példánya, amelyek törése 70 cm esetén következett be. Ez azt mutatja, hogy a ragasztó megfelelő körülmények között kezelve rugalmas, jól fel tudja fogni a beérkező ütési energiát.

A pontszerű terhelési próbák során gyors és lassú terhelési sebességet is állítottunk, maximálisan 125 kN-al terheltük a paneleket. Ezek során a paneleken szemmel látható változás nem történt. A kitöltési tényezők változása bőven 1% alatti, a cellák ellenállónak tekinthetők ezzel a hibatípussal szemben. Nagy felületű terhelések esetén is hasonló volt az eredmény, itt

azonban a fill-factor az első terhelés után 5%-ot esik, utána pedig nem változik tovább, az I-V görbe kis letörésekkel rendelkezik, mikrorepedések okozta diódahibát mutat. Azonban egy küszöbterhelés felett (200 kN) diódahiba és ~20%-os kitöltési tényező esés jelenik meg, annak ellenére, hogy a napelemen nem található külsérelmi nyom. Ez a hibatípus azonban elkerülhető körülmekintő logisztikai tervezéssel.

A kombinált klímakamrás tesztek során kapott eredményekből megmutatták, hogy az eredeti receptúra szerint gyártott panelek teljesítménye jelentősen csökkent az idővel (akár kb. 8%-ot is). Néhány panel a laminációs ciklus után néhány órával a végső sorjázástól függetlenül spontán delaminálódott a széleinel, valamint ott, ahol közvetlenül érintkezik a környezettel. Ez a cella szélein megjelenő elválást jelentette. A probléma kritikusnak minősül, hiszen ekkor a kötőerők hiánya miatt a cella mechanikailag instabil, balesetveszélyes és sérülékeny (korrozív anyagok direkt tudják a wafert támadni). A hibát első közelítésben az üveg-EVA kölcsönhatásra vezettük vissza, ezt kezdtük el vizsgálni. Felmerült ugyanis, hogy a problémát az üveglap izopropil-alkohollal (IPA) való áttörése után maradó folyadéknyomok okozzák, amelyek kioldják a fóliából a szilános iniciátort, ami a felületen lerakódva rontja a kötőerők kialakulását az üveg felé, valamint a Bosch-paletták kenését biztosító szilikonolaj lerakódása is felmerült, mint esélyes hibaforrás. Elektronmikroszkóp alatt vizsgáltunk üvegfelületeket úgy, hogy azokra IPA-t cseppentettünk és EVA-t fektettünk. A kontrollminták mellett a kezelt minták egyáltalán nem mutattak különbséget, egyedül egy helyen találtunk szilánra utaló nyomokat az öt mintából, ott is csak olyan mennyiségben, hogy a mérési hiba lehetősége fennáll. A szilán lerakódása tehát nem a hiba oka volt. Ezután az EVA fóliát kezdtük vizsgálni. Bár alig, de a fólia összetétele változott, ez nemcsak a szilánalapú iniciátort, hanem az etilén és a vinil-acetát keverési arányát is jelentette, ami adott körülmények között a polimerizációfok megváltoztatására képes. A végtermékben található EVA fólia polimerizációjának kimérése elsősorban a gyártási paraméterek optimalizálása miatt fontos, főleg a laminátor paramétereinek meghatározásánál. Itt történik meg ugyanis a végpolimerizáció, amelynek optimálisnak kell lennie, hiszen amennyiben a hőmérséklet, vagy a tartózkodási idő túl kicsi, a polimerizáció nem teljes és az adhéziós erők nem lesznek elég erősek, ellenkező esetben a fólia rideggé válik, ragasztó hatása romlik. A tesztekhez tefloncsíkok közé tettünk EVA-t és lamináltuk, először az eredeti, majd egy módosított, rövidített recept szerint. A kész fóliából vettünk egy darabot és DSC analízisnek vetettük alá.

A rövid recept szerint hőkezelt minta esetén a görbe az endo-term olvadás miatt lefelé indul meg. A görbe alján egy kis exo-term csúcs jelent meg, ami olvadás végét jelezte, majd később megjelent a fő kristályosodási exo-term csúcs, ami a polimerizáció lejártszódását jelezte. A polimerizáció során leadott hő ebben az esetben 19,83 J/g volt.

Az eredeti kezeléssel gyártott minta esetén a lefutás teljesen azonos, de a hő itt csak 14,94 J/g volt. A kisebb energia azt jelenti, hogy több anyag polimerizálódott, mint a rövidített esetben, de ekkor túllépjük az ideális polimerizációfokot. Ezt a Soxhlet-extrakció során kapott eredmények is alátámasztják, ekkor a polimerizációfok átlaga 89,11% volt, a rövid recept ese-

tén pedig 83,03%. Ez az ideális, gyártói 85% értékhez képest kell hasonlítani.

A kapott adatokból arra tudtunk következtetni, hogy az EVA az eredeti recept által megadott kezelési idő alatt túlsült. Ezt a DSC adatai, az extrakció adatai, illetve a leválasztott minta is igazolta: a jól nyújthatóság helyett egy kifejezetten rideg anyagot kaptunk, amely a lehülés során nem tudta követni az üveg dilatációját és levált arról. Amennyiben csökkentjük a laminátorban a hőkezelés idejét, olyan terméket kapunk, amely tudja követni a hőingadozással járó dilatációt és elkerülhető a delamináció jelensége. A rövidebb kezelési idővel növelhető az adott idő alatt gyártott termékek mennyisége és csökkenthető az egységnyi termékre fordított energia is.

4. Összegzés

A napelem mint zöld energiaforrás kitűnő választás lenne az áramtermelés szempontjából. A gyártás során azonban számos hiba felléphet. Ha az a célunk, hogy a panelek kibírják a névleges 25 év időtartamot, fontos, hogy jó minőségű panelek kerüljenek ki a fogyasztókhoz. Az eddigi vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy ezek a tényezők és szempontok megvalósulni látszanak: jó minőségű alapanyagokból egy strapabíró, robosztus termék készült el, mely jól fogja bírni a környezeti behatásokat.

A vizsgálatok célja csak néhány esetben volt a panelek teljes elroncsolása, általában azonban a környezeti behatások modellezésén keresztül valamilyen mérhető változást, választ várunk a panelektől, amely az élettartamra és a behatások cellára való hatásaira enged következtetni valós használat esetén. Ezek az I-V görbe, a maximális teljesítmény, de elsősorban a kitöltési tényező értékei voltak, ez utóbbi nyomkövetése a vizsgálatok során kiváló indikátornak bizonyult. A mechanikai tesztek (pontoszerű terhelés, nagy felületű terhelés, ütőmunkával szembeni ellenállóképesség tesztje) során nemcsak a mérési sorozat elején és végén, hanem közben is kerültek felvételek mérési pontok, így a változások folyamatszempontú módokban tudtuk végezni. A mérések megerősítik, hogy a laminációs technológia egy működőképes és (mechanikai szempontból) jó ellenállóképességgel rendelkező napelemek gyártására alkalmas. Reméljük a további vizsgálatok is megerősítik ezeket a kívánalmakat. Megállapítható továbbá, hogy az elvégzett mérések a végtermék tesztelésére alkalmas, azokon keresztül jól minősíthető.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=TotElecCons> Hozzáférés 2024.03.04
- [2] Török Imre. Napelemes rendszerek energiahozama és működési hatékonysága, Doktori (Ph.D.) értekezés. Debreceni Egyetem, Kerpeley Kálmán Doktori Iskola. Debrecen. 2017
- [3] E. Wesofoff, IEA: Global Installed PV Capacity Leaps to 303 Gigawatts, 2017. Available at: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/iea-global-installed-pv-capacity-leaps-to-303-gw#gs.E7rAO0g>.
- [4] Bereczky György. CorecommSi-Pannon Egyetem, Műszaki Tudományok Kutató-Fejlesztő Központ, elektronikus tananyag
- [5] Degradation analysis of crystalline silicon photovoltaic modules exposed over 30 years in hot-humid climate in China. Huili Han, Xian Dong, Bingzhi Lib, Huan Yan, Pierre J. Verlinden, Jiangfeng Liu. Jiawei Huang, Zongcun Liang. Hui Shen. 2018, Solar Energy, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.05.027>
- [6] Dr. Tamás Ferenc (1982): Szilikát ipari kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- [7] Ludwig B. Klindt, Dr. Wolfgang Klein: Az üveg mint építőanyag, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981
- [8] Kristóf, J.: Kémiai analízis II, Veszprémi Egyetemi Kiadó, 2000, 70-90 oldal
- [9] <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel> (2022. november 1-i hozzáférés)
- [10] Lukács Gyula. Színmérés, Műszaki Kiadó, Budapest, 1982
- [11] Scanning Electron Microscopy. An Introduction to Microscopy by Means of Light, Electrons, X-Rays, or Ultrasound Rochow, T. G., & Rochow, E. G. Springer, Boston, MA, 1978, 273–298. oldal https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2454-6_13
- [12] Szerk.: Pokol György. ANALITIKAI KÉMIA-Egyetemi tananyag. BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék, 2011, 166. oldal
- [13] Karoui R. (2012). Food Authenticity and Fraud. In.: Chemical Analysis of Food: Techniques and Applications, Elsevier, 2020, 579–608. oldal <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813266-1.00013-9>



A cement- és betonipar jövője, fejlesztési lehetőségek

HOFFMANN TAMÁS • Holcim Magyarország Kft.

1. A klímaváltozás, mint kihívás és lehetőség

Az éghajlatváltozás egyre növekvő kihívást jelent az emberiség számára. Földünk erőforrásai csökkennek, a légkör felmelegedése és a légkörben található szén-dioxid koncentráció emelkedése hatalmas kihívások elé állítanak minket. Az elmúlt 12 hónapban a globális hőmérséklet a valaha dokumentált legmagasabb volt, Európa hőmérséklete 2,3 °C-kal haladja meg az iparosodás előtti szintet [1], a globális szén-dioxid-kibocsátás pedig rekordokat döntöget [2]. Az építőipar és az épületek (ha az upstream energiatermelést is beleszámítjuk) a globális CO₂ kibocsátás 39%-áért [3], a cementgyártás ezen belül 7%-ért [4] felelős, így egyike azon iparágaknak, amelyek jelentős hatással vannak a környezetre és a klímaváltozásra.

A klímaváltozás hatásainak kezelése és a fenntartható jövő felé történő elmozdulás érdekében az építőiparnak új irányokat kell fontolóra vennie és a zöld átállást segítő eljárások, innovatív technológiák és alternatív alapanyagok alkalmazásán kell munkálkodnia. Ez lehet az építőipar klímaváltozásra adott válasza, mely nemcsak a környezet és a társadalom számára fontos, de az iparág fenntarthatóbbá válását is előmozdítja, hogy egy élhető bolygót hagyjunk hátra a következő nemzedékeknek (1. ábra).

1.1 Az építőipar feladata a fenntarthatóság felé vezető úton

Az építőipar hozzájárul az üvegházhatású gázok kibocsátásához, legyen szó épületek energiafelhasználásáról vagy az építési

folyamat során felhasznált anyagok előállításáról és szállításáról. A klímaváltozás hatásai, mint például az extrém időjárási események és a tengerszint emelkedése, tovább súlyosbíthatják az épített környezet fenntartására és a városi infrastruktúrára gyakorolt nyomást. Az építőipar feladata, hogy adaptáljon és csökkentse környezeti lábnyomát.

A fenti tényeket figyelembe véve az építőipar elsődleges feladata, hogy felmérje, mit mutatnak az előrejelzések, hol, hogyan és milyen lépéseket lehet tenni a környezettudatosabb építkezések irányába. Az adatgyűjtésnek a teljes értékláncot le kell fednie, az építőipari alapanyagok gyártásától az épületek használatáig, azok teljes életciklusa alatt, a tervezéstől az építőanyagok gyártásán, szállításán és a kivitelezésen át az üzemeltetésig, valamint a bontásig, minden szinten és területen számba véve azokat a lehetőségeket, melyek megmutatják, hogyan, milyen technológiai újításokkal lehet még fenntarthatóbb építkezéseket megvalósítani.

1.2 Alternatív megoldások alkalmazása

A fenntartható építőipar környezetbarát megoldásokkal járul hozzá az éghajlatváltozás elleni küzdelemhez. Ilyenek lehetnek:

- Alternatív alapanyag felhasználás:** Az üvegházhatású gázok kibocsátásának további csökkentése érdekében helyettesíthetjük a fosszilis tüzelőanyagokat alternatív tüzelőanyagokkal, valamint jelentős szerepet kaphatnak azok a már meglévő anyagok, melyek építési és bontási hulladékból származnak. Az újrahasznosított anyagok és



1. ábra Holcim Magyarország Kft. saját szerkesztés

az alacsony karbonkibocsátású építőanyagok használata csökkenti a természeti erőforrások fogyasztását és a hulladék mennyiségét.

2. **Megújuló energia:** A megújuló, zöld energiaforrások használata az alapanyag gyártás során, az energiatakarékos építőanyagok és technológiák pedig az építkezések során segítenek csökkenteni az energiafogyasztást, ezáltal csökkentve az üvegházhatású gázok kibocsátását.
3. **Hidrogén felhasználás a gyártás során:** Nagy mennyiségben rendelkezésre álló, szilárd, vagy folyékony halmazállapotban is alkalmazható, természeti erőforrás a hidrogén, melyben számos lehetőség rejlik. Napenergiából vízbontással, a cement előállításában kulcsszerepet betöltő kemencébe fecskendezve alkalmazható, de – a technológia fejlődésével – a szállító járművek, vagy az építkezések során alkalmazott nagygépek meghajtására is alkalmazható lesz a jövőben.
4. **CCUS (Carbon Capture Utilization and Storage):** A megújuló, zöld energiák alkalmazásához hozzá tud még tenni az akkumulátor technológia, vagyis az energiatárolás fejlődése, ami lehetővé teszi, hogy pl. a nappól, vagy szélből nyert energiát folyamatosan alkalmazni lehessen a 24 órás alapanyag előállítás során. A jövőben a végtelenül megújuló, atomenergia alkalmazásában is nagy potenciál lehet, mely a decentralizált energiatermelést biztosíthatja.
5. **CO₂ leválasztás:** A legnagyobb áttörés a szén-dioxid leválasztással lesz elérhető, amely során a technológiai kibocsátásból tiszta CO₂-t leválasztva, a tüzelőanyagok, szén-szálak és vegyi anyagok, de akár új építőanyagok nyersanyagává is válhat.
6. **Digitalizáció és mesterséges intelligencia:** A rendelkezésünkre álló, hatalmas adatmennyiség gépi feldolgozása és elemzése lehetővé teszi, hogy optimalizáljuk a gyártási folyamatokat, a tüzelőanyagok adagolását, tökéletesítsük a receptúrákat, továbbá alkalmazhatjuk a kereskedelmi előrejelzésekhez, vagy a bányai nyersanyagkutatás során is. A robottechnológia és az önjáró robotok elterjedésével nem csak a kutatásban, de a veszélyes munkakörök támogatásában is jelentős áttörést érhetünk el, amire Svájcban már látunk is példát. Ezáltal csökkentve a kockázatokat, a munkavédelmi kultúra fejlesztésével pedig lehetővé válna a balesetmentesség a cementgyártás teljes folyamatában.

1.3 Környezettudatos technológiák az építészetben

Az építőiparban számos környezettudatos technológia és gyakorlat került bevezetésre, amelyek lehetővé teszik a fenntarthatóbb építkezést és üzemeltetést. Erre példa:

1. **Passzív hűtési és fűtési rendszerek alkalmazása:** Olyan tervezési megoldások, amelyek kihasználják a természetes megoldásokat, mint például a föld geotermikus, hő, vagy

a nap energiáját és a természetes szellőzést, hogy minimalizálják az épületek energiaigényét.

2. **Zöld energiák:** Napelemek, napkollektorok, szélérőművek alkalmazásával energiahatékonyabbak és környezettudatosabbak lesznek az épületek.
3. **Zöld tetők és épületburkolatok:** A zöldtetők és más zöld felületek hozzájárulnak a hőmérséklet csökkentéséhez, a légminőség javításához és a városi hőszigetelés csökkentéséhez.
4. **Újrahasznosított alapanyagok:** Az újrahasznosított építőanyagok, például az újrahasznosított fa vagy az újrahasznosított acél szintén csökkentik az építőipar ökológiai lábnyomát.

1.4 Aktív szerep a körforgásos gazdaságban

A fenntartható építő és építőanyag-ipar nagy mértékben hozzájárul a körforgásos gazdaság eléréséhez [5]. Az újrahasznosított anyagok alkalmazása és a termelési folyamatok optimalizálása lehetővé teszi az erőforrások hatékonyabb felhasználását és a hulladék minimalizálását. Ezzel csökkenthetjük a személtlerakókba kerülő hulladék mennyiségét és hozzájárulhatunk egy zöldebb jövő megvalósításához.

A cement- és betonipar fontos célkitűzése és feladata, hogy az előállítás további kezelést igénylő hulladékoktól mentes legyen, minimális bányászott természeti erőforrás felhasználásával szénsemlegessé váljon, életciklusa minél hosszabb és a végén 100 százalékban újrahasznosítható legyen.

2. Összegzés

A klímaváltozás jelentős kihívást jelent az építőipar számára, ugyanakkor lehetőségként is szolgál, hogy felülvizsgáljuk eddigi gyakorlatainkat és elébe menjünk a változásnak. A Magyar Cement-, Beton- és Mészipari Szövetség elnökeként és a Holcim Magyarország Kft. Ügyvezető igazgatójaként fő törekvésünk, hogy a cementipar jelentősen csökkentse a szén-dioxid-kibocsátását és 2050-re elérje a teljes szén-dioxid-semlegességet. Elkötelezett vagyok amellett, hogy utat mutassunk az építőipar zöldebbé válásában és felhasználva a technológia fejlődését és a megújuló energiákban rejlő lehetőségeket mindent megtegyünk az iparágunk zöldebbé válása érdekében és erre ösztönözzük az építőipar minden szereplőjét.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://24.hu/tudomany/2024/04/22/europa-melegedes-hoseg-klimavaltozas-veszely/>
- [2] <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20231206/igy-nehez-lesz-megallitani-a-felmelegedest-iden-is-no-a-globalis-szen-dioxid-kibocsatas-656103>
- [3] <https://www.hugbc.hu/hirek/uj-jelentes-az-epuletek-es-az-epitoipar-2050-re-elhereti-a-netto-nulla-karbonkibocsatas/3949>
- [4] https://www.nfft.hu/documents/1238941/0/NFFT_Epitoipar_20210316+%281%29.pdf/eb8d7060-6829-48a4-0926-37f1cc3400da?t=1621501854096
- [5] https://www.cembeton.hu/userfiles/Korforgasos_gazdasag_web.pdf

Vízszigetelések készítése a múltban és napjainkban

HARASZTI LÁSZLÓ

Talán kevesen gondolják, hogy a bitumenes szigetelés története, főleg a kezdete több mint 2500 éves. Nem is ismert, hogy hol alkalmazták először és korábban, csak az ismert, hogy i.e. 500-600 körül II Nabú-kudurri-uszur (magyarosítva II: II. Nabukodonozor) feleség örömeire, hogy honvágyát a hegyek felé, Perziában található fák és növények után csillapítsa, kielégítse a Babiloni városépítése során egy többszintes, lépcsőzetes kerteret építtetett részére (1. ábra).

Sztrabón az i. e. 1 században így írt: „Boltozatos teraszokból áll egymás felé emelkedve, és a pillérek kocka-alakban pihennek. Ezeket a lyukakat feltöltötték földdel, így a fák képesek voltak a lehető legmagasabbra megnőni. A pillérek, boltozatok és a teraszok égetett téglából és aszfaltból készültek.”

Diodorus Siculus írásai szerint a többszintes kertek elértek a 22 m-es magasságot és öntözőrendszerrel voltak ellátva. A kertetek földrengések rombolták le az i.e. 2. században.

1906-ban a híres Freiburgi német régész Johannes Gustav Eduard Robert Koldewey kiásta a függőkert maradványait és részletes feltárási jegyzőkönyvet készített.

Az Oxfordi Egyetem Keletkutató Intézetének munkatársa, Stephanie Dalley szerint az építmény Szín-ahhé-erība asszír királyhoz köthető (i. e. 704–681), aki egyik domborművén azzal kérkedik, hogy a kert és a palota, amelyet épített, csoda minden népnek. A király unokája, Assur-bán-apli pedig reliefjén meg is örökítette a falak fölé emelkedő, vízvezetékrendszerrel öntözött luxuskertet (2. ábra). A vizet nagy magasságba felemelni képes, bronzból készített csavarszerkezetről esik szó – jó négy évszázaddal az arkhimédészi csavar néven ismert szivattyú előtt! (forrás: Wikipédia)

A római Birodalomban az aszfaltot, csak agyag csövek tömítésére használták építés-szigetelési célra nem. A népvándorlás korában és a középkorban azonban minden a szigeteléssel kapcsolatos korábbi tapasztalat elfelejtődött.

Az 1810-es években először a Freiburgi Egyetem díszdoktora Wilhelm August Lampadius köszén kátránnyal kísérletezett, amelyet kartonpapírra kent.

Mivel az alapanyag a kőszénkátrány előállítás rendkívül egészségkárosító volt, a szigetelés téren továbbfejlesztés csak a texasi kőolajból az 1870-es évektől készített bitumen/aszfaltok utépítési célú alkalmazásával párhuzamosan folytatódhatott.

A XX. Század elején Le Corbusier és Walter Gropius neves építészek tervei már a lapostető épületmegoldásokat fogalmazták meg, amelyhez értelemszerűen szükséges volt a szigetelések fejlesztése, a biztonságos és tartós technológia kidolgozása. 1920-ban Le Corbusier megfogalmazott tervei szerint hasznosított tetőket kell építeni, azaz terasz, parkoló és zöldtetőket. Ez mind az építészetre mind pedig az építőiparra jelentősen kihatott.

Jelentős fejlesztések, kísérletek, kutatások kezdődtek és történtek. 1920-30-ig Európában ugyanis a falak bitumenes vízszigetelését nem készítették, hanem különböző egyéb épületszerkezeti megoldásokkal pl. falak átszellőztetésével, illetve átszellőztetett pincék megoldásával próbálták kiszárítani a földszint feletti falakba jutó kapilláris nedvességet.

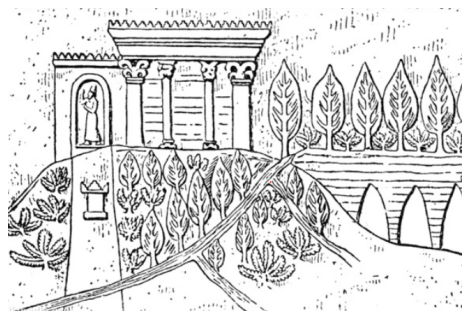
Az 1940-60-as években a pincék, lapos és terasztető szigetelés megoldása Európában az olvasztott bitumenes kenésű, többrétegű papírbetétes vízszigetelés volt, s ez kiforrott kivitelezésnek volt tekinthető. A zöldtetős szigetelések esetében viszont akkor történt jelentős előrelépés, amikor a franciaországi Mondenbleauben kikísérletezték az SBS (sztirol-butadién-sztirol) műanyaggal modifikált bitumenes anyagot. Ugyanezen időben kezdődtek az olvasztott és kent bitumenes szigetelések helyett az ún. vastagbitumenes lemezek gyártása és ezzel a korszerűbb hordozó betétek (üvegfátyol, üvegsvövet, poliészter fátyol) alkalmazása is.

A műanyag ipar fejlődésével párhuzamosan megjelentek különböző kőolajszármazékból készített vízszigetelő anyagok is, mint pl. a gumi, PVC, TPO, stb. lemezek, valamint azok kivitelezésének megoldásai és szabályai.

Német fejlesztésnek köszönhetően megjelentek az 1970-es évekre a gyökérállósággal rendelkező bitumenes lemezek is.

Ugyanekkor nagyobb figyelem fordítódott a födémekbe beépített anyagok és szerkezeti megoldások együttes épületfizikai viselkedésére, a tapasztalt jelenségek értelmezésére és a szakszerű kivitelezésre is. Megjelentek a több rétegben kiépített egyenes és fordított rétegrendű, acélszerkezetű és vasbeton födémek építése, és ezzel megkezdődött a kellő tapasztalatok és ismeretek hiánya miatti szakszerűtlen kivitelezés is.

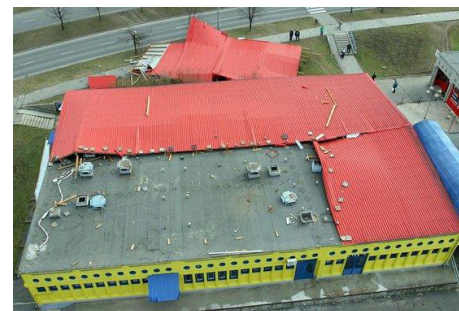
A tetők tudnak „repülni” is. Csak megfelelő szél kell hozzá és szakszerűtlen rögzítési megoldás.



1. ábra Korabeli relief kép a Függőkertről



2. ábra Rekonstrukciós elképzelés Ravindranath Murugesan szerinti



3. ábra Rosszul kivitelezett tető

TÁMOGATÓINK



baumit.com

BAUMIT KFT.

H-2510 Dorog, Baumit út 1.
+36-33/512-920
baumit@baumit.hu
www.baumit.hu



BETONPARTNER MAGYARORSZÁG KFT.

H-1186 Budapest, Zádor utca 3.
+36-30/179-8001
office@betonpartner.hu
www.betonpartner.hu

**BUDAI
TÉGLA
ZRT.**



CALMIT HUNGÁRIA KFT.

H-2541 Lábatlan Rákóczi út 60.
+36-30/339-1726
office@calmit.hu
www.calmit.hu



DANUCEM MAGYARORSZÁG KFT.

H-1138 Budapest Váci út 144-150.
+36-1/472-5000
kapcsolat@danucem.com
www.danucem.com/hu



DUNA-DRÁVA CEMENT KFT.

H-2600 Vác, Kőhídpart dűlő 2.
+36-27/511-600
info@duna-drava.hu
www.duna-drava.hu/hu



HOLCIM MAGYARORSZÁG KFT.

H-7953 Királyegyháza, Cement utca 1.
+36-73/500-900
cementhungary@holcim.com
www.holcim.hu

MUREXIN

MUREXIN KFT.

H-1103 Budapest, Noszlopy u. 2-6.
+36-1/262-6000
murexin@murexin.hu
www.murexin.hu



RATH HUNGÁRIA KFT.

H-1106 Budapest, Porcelán utca 1.
+36-1/433-0040
www.rath-group.com

BUILDING TRUST



SIKA HUNGÁRIA KFT.

H-2051 Biatorbágy, Rozália park 5-7.
+36-1/371-2020
info@hu.sika.com
www.hun.sika.com



**SZIKKTI LABOR SZILIKÁTKÉMIAI
ANYAGVIZSGÁLÓ-KUTATÓ KFT.**

H-1034 Budapest, Bécsi út 122-124. „D” épület
+36-1/388-8752; +36-30/922-3368
szikktlabor@szikktlabor.hu
www.szikktlabor.hu



WIENERBERGER TÉGLAIPARI ZRT.

H-1119 Budapest, Bártfai utca 34.
+36-1/464-7030
info@wienerberger.hu
www.wienerberger.hu



A ROCKWOOL kőzetgyapot szigetelés
1000°C feletti hőmérsékletnek is ellenáll,
gátolja a tűzterjedést, ezzel biztonságot
nyújt az épületben élő családoknak.

TŰZÁLLÓ

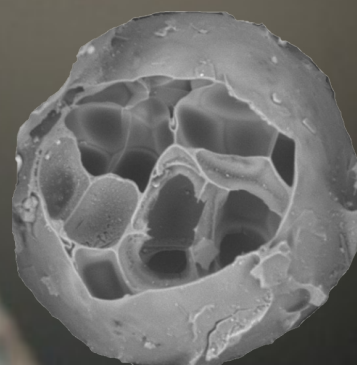


ROCKWOOL®

**INSPIRED
BY
NATURE.**

Perlit

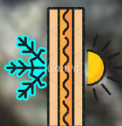
a geológia csodája



Kertészet



Katasztrófaelhárítás



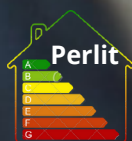
Hőszigetelés



Élővíz-védelem



Kriogenikus
szigetelés



Energiahatékonyság

Anzo Perlit

Építőanyaggyártó Kft

Gyár: Tököl, Ráckevei út 10.

+36 30 925 1450

zoltan.vesztoi@anzokft.hu

www.anzokft.hu



ANZO
Perlit