

SZILIKÁTTUDOMÁNY

Mechanokémia és agglomeráció*

Juhász A. Zoltán Veszprémi Egyetem
Opoczky Ludmilla, CEMKUT Kft.

Bevezetés

A mechanikai aprítási folyamat célja a technológiai rendeltetésnek megfelelő – általában nagy finomságú – őrlmények előállítására. Az őrlés közvetlenül érzékelhető eredménye a részecskeméret csökkenése, de a finomőrlésnél az őrleményben ennél mélyrehatóbb *anyag* változások, ill. jelenségek is végbemennek. E jelenségek egyik része az őrlemény aktivitásának, reakcióképességének növekedését, másik része viszont azok csökkenését idézheti elő. Ez utóbbinak klasszikus példája az őrlemény részecskéinek kölcsönhatása – az *agglomeráció* –, amely egyben a finomőrlés nagy energiafogyasztásának egyik fő okozója is.

E dolgozatban az *agglomeráció*-jelenségnek *mechanokémiai* vonatkozásait kívánjuk bemutatni, mely alapelveit monográfiában foglaltuk össze [1-3].

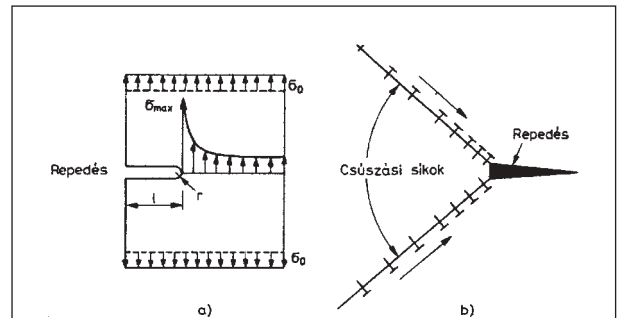
1. A törés folyamata

Ma már tudományosan bizonyított, hogy a törés, ill. őrlés a részecskeméret csökkenése mellett a szilárd anyagban szerkezeti változásokat is előidéz.

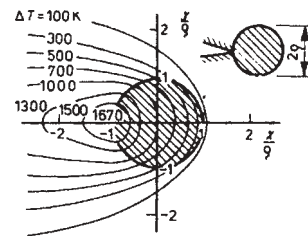
Az anyagszerkezeti változásokat az őrlésnél tulajdonképpen három jelenség váltja ki: a szilárd test *széttörése*, illetve a *kémiai kötések felszakadása*, a törés okozta *plasztikus deformáció* és *felmelegedés*, valamint a *mechanikai és hőhatások* következtében a *kristályrácsban* bekövetkező *deformáció* (1. ábra).

Amikor egy szilárd testet mechanikai hatás ér, a test méretváltozást (alakváltozást) szenved, majd ha az erőhatás következtében fellépő feszültségek a törőfeszültséget elérik, akkor eltörnek.

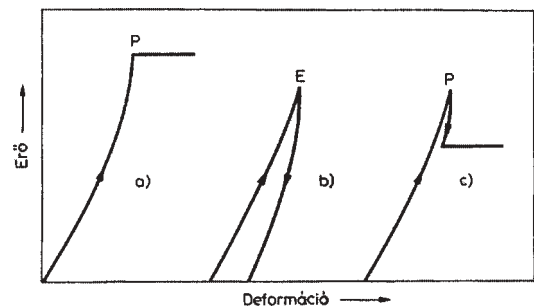
Elméleti megfontolások alapján a rideg anyagok esetében a törés akkor következik be, ha a testben legalább egy helyen a külső terhelés okozta feszültségek elérik a molekuláris szakítószilárdságot (1/1. ábra).



1/1. ábra. Repedés kialakulása a csúszási síkok metszésénél (a) és a repedés terjedése (b)



1/2. ábra. A törésnél a repedés-csúcsnál fellépő hőmérsékletek



1/3. ábra. Erő-deformáció összefüggése egyedi részecske törésénél

1. ábra. A törés folyamata

* A Magyar Tudományos Akadémián 2003. április 16-án elhangzott előadás alapján

A molekuláris (elméleti) szakítószilárdság (σ_{mol}) a rugalmassági modulus alapján durva megközelítéssel becsülhető:

$$\sigma_{\text{mol}} \sim (0,1 - 0,2) E,$$

ahol E a Young-féle modulus.

A számított elméleti szakítószilárdság a rideg anyag valódi szilárdságát azonban két-három nagyságrenddel is meghaladja. A magyarázatot a „hibahelyelmélet” adja, mely szerint a szilárd testek elméletinél kisebb szilárdságát az anyag szerkezetében „eleve benne lévő” mikrorepedések (hibahe-lyek) okozzák.

A törés energetikai probléma. A létrejött kezdeti repedés továbbterjedéséhez a rugalmas deformáció energiája a rendszer határfelületi energiájával legalább egyenlő kell hogy legyen. A törési energia valójában sokkal nagyobb, mint a felületi szabadenergia. A törési energiátöbblet részint a plasztikus deformáció energiáját fedezi, részint pedig hővé alakul át, aminek következtében a törési zónában a törés pillanatában magas hőmérsékletek lépnek fel (1/2. ábra).

A méret csökkenésével nő a részecske töréssel szembeni ellenállása, illetve törési szilárdsága. Bizonyos kis méret alatt a részecske gyakorlatilag hibahelymentessé válik. A külső mechanikai igénybevétel hatására az ilyen méretű részecske már nem törik szét, hanem plasztikus (mikroplasztikus) deformációt szenved. A finomörlés során végbemenő anyag-szerkezeti változások és mechanokémiai reakciók szempontjából a plasztikus deformáció, ill. a mikroplasztikus állapot létrejötte igen fontos szerepet játszik.

A makroszkopikus tartományban egyébként rideg anyagok, mint például a kalcit, a kvarc, a cementklinker, töréskor plasztikus deformációt szenvednek. Ez a jelenség az 1/3. ábrával illusztrálható. Az első esetben (a) a nyomás növelése a részecske deformációjához vezetett, egészen a P pontig, ahol bekövetkezett a törés. A második esetben (b) egy terhelési és egy tehermentesítő görbe látható. Itt még a törés előtt, az E pontban, a részecskét tehermentesítették. Ez az az eset, amelynél a makroszkopikus tartományban egyébként rideg anyagok, mint például a kvarc, plasztikus deformációt szenvednek. Végül a harmadik eset (c) olyan terhelési görbét mutat, amely hasonlít az előző görbéhez, azzal a különbséggel, hogy itt a P pontban ún. tehermentesítő törés lépett fel. Ebben az esetben a törésnél keletkezett részecskék plasztikusan deformált állapotban maradtak.

A törés új felületeket hoz létre, amelyek morfológiai-lag és energetikailag is különböznek az egyensúlyi felülettől. A friss törési felület igen aktív állapota miatt azon adszorpciós és kémiai reakciók mehetnek végbe, melyek a felületi szabadenergia csökkenését eredményezik.

2. Örlési folyamat a mechanokémia szemszögéből

Az örlés során végbemenő anyagszerkezeti és kémiai átalakulások tanulmányozása a mechanokémia szakterületére esik.

Általános megfogalmazásban az örlést a kristályos szilárd testek kötési energiájával szemben végzett munkának foghatjuk fel, kötési energián értve azt az energiát, melyet elméletileg akkor végzünk, amikor a diszperz rendszert atomjait (ionjait) környezetükből kiemelve egymástól elvileg végtelen távolságra visszük.

A kötési energia változásának figyelembevételével az örlés – mint mechanikai energiával történő aktiválás – a következő egyenlettel jellemezhető:

$$\Delta E_k = \Delta E_r - \Delta(e_r \cdot a_s) = \eta_z W_z \quad (1)$$

ahol ΔE_k a kötési energia változása az örlés következtében, ΔE_r a nem-diszperz rendszer kötési energiájának (tökéletes kristály esetén a rácsenergiának) változása az örlés következtében, e_r a fajlagos felületi szabadenergia, a_s a fajlagos felület, W_z az örléskor végzett munka, η_z az örlés hatásfoka.

A kötési energia változása szempontjából az örlési idő függvényében a következő részfolyamatokat állapítottuk meg:

– Ha az örléskor csak a fajlagos felület változik, akkor:

$$\eta_z W_z = \Delta E_k = -e_r \Delta a_s \quad (2)$$

Abban az esetben, ha η_z állandó, akkor az egyenlet a Rittinger-egyenlettel összhangban van.

– Ha a fajlagos felület mellett a felületi szabadenergia is megváltozik, akkor a következő örlési munka egyenletet kapjuk:

$$\eta_z W_z = \Delta E_k = -\Delta(e_r a_s) \quad (3)$$

– Végül, ha a fajlagos felület és a fajlagos felületi szabadenergia növekedése mellett csökken a kristály rácsenergiája is (kristályrácsstorzulás következik be, vagy az anyag amorffá válik), akkor az általános egyenlethez jutunk:

$$\Delta E_k = \Delta E_r - \Delta(e_r a_s) = \eta_z W_z \quad (4)$$

A szélső esetek alapján az első esetben *mechanikai diszpergálást*, a másodikban *felületi aktiválást*, a harmadikban pedig *mechanokémiai aktiválást* különböztettünk meg.

A szilárd anyagokban örlés közben végbemenő, meglehetősen bonyolult átalakulások között különbséget tesszünk *elsődleges* és *másodlagos* mechanokémiai folyamatok között.

Az *elsődleges* mechanokémiai folyamatok a rendszer szabadenergiájának növekedését hozzák létre, és az örlésmény reakcióképességét, aktivitását növelik.

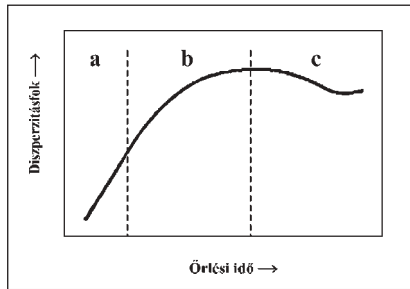
A *másodlagos* mechanokémiai folyamatok a rendszer szabadenergiájának csökkenését, ill. a kötési energia növekedését, azaz az aktivitás csökkenését idézik elő. Egy tipikus *másodlagos* folyamat az örlésmény *részecskéinek kölcsönhatása*, az *agglomeráció*, mely nemcsak az örlé-

mény durvulásához, hanem aktivitásának, reakcióképességének csökkenéséhez is vezet.

3. Finomórlés és a részecske-kölcsönhatás

Az őrlési gyakorlat azt mutatja, hogy bizonyos diszperzításfok elérése után az anyag további finomodása lelassul, sőt a részecskeméret növekedése, azaz az őrlemény durvulása következik be.

A diszperzításfok őrlési idővel történő változását az 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. A diszperzításfok változása az őrlési idővel

Az őrlés megindulásakor az anyag aránylag gyorsan finomodik, az őrléshez szükséges munka (adott esetben őrlési idő) megközelítőleg arányos a létrejött új felülettel, azaz a képződő őrlemény diszperzításfokával. Ezen a szakaszon – melyet *Rittinger*-szakasznak nevezünk – a részecske-kölcsönhatás elhanyagolhatóan kicsi (2. ábra, a szakasz).

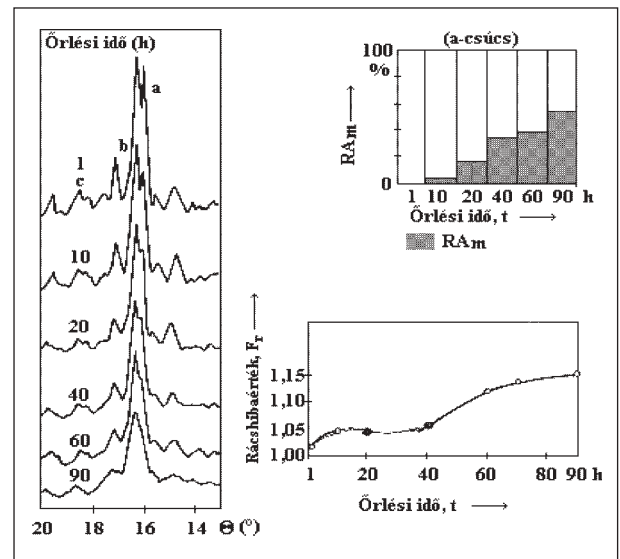
Az őrlés előrehaladásával, az őrlemény diszperzításfokának növekedésével csökken az anyag hibahelysűrűsége és nő a törési szilárdság. Ezzel párhuzamosan megkezdődik a részecskének az őrlőtestekre és a malom falára, valamint egymáshoz való tapadása. A diszperzításfok görbéjének laposodása arra mutat, hogy az őrléshez szükséges munka és a létrejött új felület közötti arányosság megszűnt, de a diszperzításfok növekedése – ennek ellenére – még mindig jelentős (2. ábra, b szakasz).

Hosszabb ideig tartó őrlés után a finomság növekedése minimumra csökken, majd teljesen megszűnik, sőt a diszperzításfok csökkenése, azaz az őrlemény durvulása következik be (2. ábra, c szakasz). Ezen a szakaszon a rideg anyagok általában kristályszerkezeti, illetve mechanokémiai változásokat is szenvednek.

A b szakaszt az *aggregáció*, a c szakaszt az *agglomeráció* szakaszának neveztük, mivel vizsgálataink szerint a megjelölt szakaszokon a részecske-kölcsönhatás folyamatai nemcsak mennyiségileg, hanem minőségileg is különböznek egymástól.

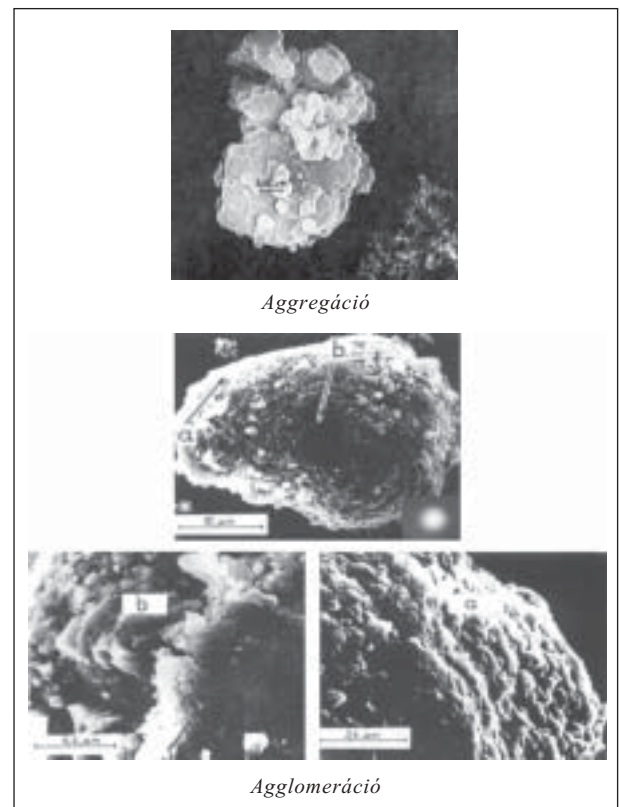
A részecske-kölcsönhatás kinetikája és mechanizmusa igen bonyolult. A részecskék összetapadása a szitamareadék növekedését okozhatja. Az őrlés folytatását az összetapadt részecskék újbóli aprózódása vagy éppen további részecskeméret-növekedés is kísérheti. A finomórléskor az őrl-

ményben végbemenő anyagszerkezeti és mechanokémiai átalakulások a részecske-kölcsönhatási jelenségeket is nagymértékben befolyásolják (3. ábra).



3. ábra. Kristályszerkezeti változások a klinker finomórlésénél

Az őrlemény finomságának időbeli alakulását meghatározó két ellentétes folyamat – a részecskeméret csökkenése és a részecskék másodlagos halmazokba való összetapadása – elektronmikroszkóppal jól követhető (4. ábra).



4. ábra. A finomórlés és a részecske-kölcsönhatás

A kezdeti őrlési szakaszra a részecskeméretnek, valamint a nagyobb méretű részecskék számának csökkenése jellemző. Emellett megfigyelhető a kisméretű részecskéknek a nagyobbak felületére, valamint az egymáshoz való laza tapadása, melyet *aggregációnak* nevezünk. A hosszú ideig tartó őrlésre már nem a részecskeméret csökkenése, hanem a részecskeméret növekedése és igen tömör képződmények keletkezése a jellemző. Az ilyen tömör képződményeket nevezük *agglomerátumoknak*. Ezen vizsgálatok szerint az őrlés különböző szakaszaiban – a részecskék kölcsönhatása következtében – keletkező másodlagos képződmények különböző tömörséggel, illetve szerkezeti felépítéssel rendelkeznek.

Az őrlés előrehaladásával tehát nemcsak a részecskék kölcsönhatás intenzitása, hanem a keletkezett másodlagos képződmények szilárdsága és tömörsége is változik, amit az őrlemény „összes” fajlagos felületének időbeli változása egyértelműen bizonyít. Az „összes” fajlagos felület (a_s) gáz- (gőz-) adszorpció mérésen alapuló meghatározásából fontos következtetéseket lehet levonni a finomőrlés során az őrleményrészecskék között lejátszódó felületi jelenségekről. Ugyanis ilyen mérésnél az „összes” fajlagos felület értéke többek között függ az adszorbens szubmikroszkopikus szerkezetétől és egyedi tulajdonságaitól, az adszorptívum kémiai természetétől, elsősorban az adszorbeált molekula nagyságától. Nyilvánvaló, hogy kis molekulájú gázok behatolhatnak olyan szűk pórusokba is, amelyekbe nagyobb molekulák nem férnek be.

A finomság alakulását meghatározó két ellentétes folyamat – a részecskeméret csökkenésével járó „összes” fajlagos felület növekedése és a részecskeméret-növeke-

déssel járó „összes” fajlagos felület csökkenése – az 5. ábrán jól látható. A kétféle adszorptívummal (vízgőz és nitrogén) kapott fajlagos felületértékek az őrlés kezdetén gyakorlatilag azonosak, ill. kismértékben különböznek egymástól, de az őrlési idő növekedésével a különbség növekszik.

Az őrlés különböző szakaszaiban tehát különböző tömörségű másodlagos képződmények keletkeznek, sőt olyan tömör szerkezetűek is, amelyek belső felületeihez sem a nitrogén, sem pedig a vízmolekula nem tud elérni. Az ilyen tömör képződményeket neveztük korábban *agglomerátumoknak*.

Míg az őrlés viszonylag durva szakaszában keletkezett aggregátumok vizes közegben könnyen, addig a tömör agglomerátumok már nem „dezaggregálhatók”. Az „összes” fajlagos felület csökkenésével járó agglomeráció az őrlemény aktivitását, reakcióképességét, például a cementpor hidratációs képességét kedvezőtlenül befolyásolja, miután ez utóbbit éppen a vízzel érintkező felület nagysága határozza meg. Az agglomeráció visszaszorításával (pl. felületaktív anyag alkalmazásával) a cement hidratációs aktivitása, illetve szilárdsága növelhető.

4. Az agglomeráció értelmezése

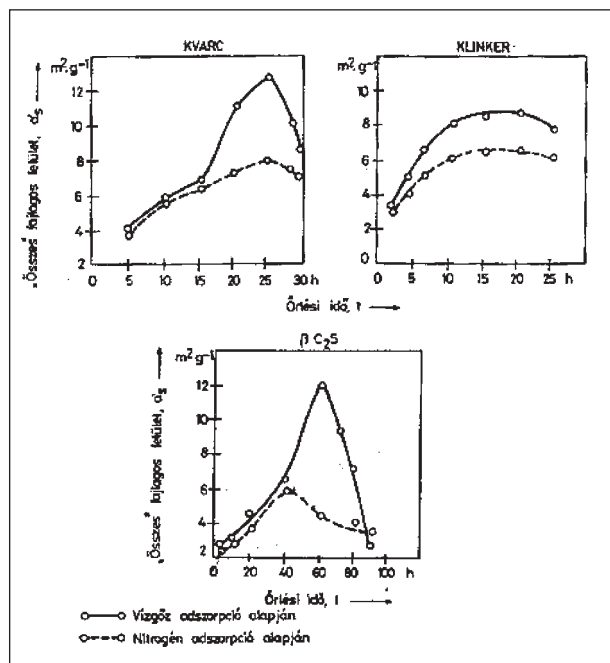
A részecskék-kölcsönhatási jelenségek mechanizmusának, valamint ezeknek a jelenségeknek az őrlési folyamat hatékonyságára és az őrlemény minőségére gyakorolt hatásának vizsgálata alapján a részecskeméret-növekedéssel járó jelenségek között *két fokozatot* különböztettünk meg:

- az *aggregációt* – a részecskék van der Waals-féle adhéziós erők (elsősorban a London-féle diszperziós erők) hatására történő gyenge összetapadását, valamint
- az *agglomerációt* – a részecskék igen tömör, „irreverzibilis” összetapadását (összekristályosodás, összehegedés, mechanokémiai reakciók), melyben kémiai kötések is szerepet játszanak.

Az *aggregáció* viszonylag rövid őrlés után lép fel, és elsősorban a finomodási folyamatot befolyásolja kedvezőtlenül.

Az *agglomeráció* az igen finom őrlés során léphet fel, és az őrlemény minőségét (hidraulikus aktivitását, hidratációképességét, oldhatóságát stb.) – általában kedvezőtlenül befolyásolja. Az agglomeráció egyértelműen akkor mutatható ki, amikor a finomőrlés hatására az őrleményben kristályszerkezeti, illetve mechanokémiai változások is végbemennek.

Agglomerátumok keletkezhetnek a részecskék összekristályosodása, összehegedése folytán, közvetlenül az érintkező felületelemekből kiindulva, vagy pedig a részecskék felületén (elsősorban érdességi csúcsokon, éleken stb.) megjelenő „olvadékhidakon” keresztül. Ezek az „olvadékhidak” hasonlóak a magas hőmérsékletű zsu-



5. ábra. Az „összes” fajlagos felület változása az őrlési idővel

gorításnál képződőkhöz, azzal a különbséggel, hogy a finomórlésnél az olvadáshoz szükséges hő a mechanikai hatásokból, sűrűdésből és plasztikus deformációból származik. Az üto-dörzsölő hatással működő őrlőberendezésekben – elsősorban a golyósmalmokban – az agglomerátumok képződéséhez kedvező feltételek vannak, mert az őrlőtestek a részecskék „egymásba való hatolását”, az „olvadékhidak” keletkezését elősegítik.

Irodalom

- [1] Juhász, A. Z. – Opoczky, L.: Szilikátok mechanikai aktiválása finomórléssel. Szilikátkémiai Monográfiák XI. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1982.
- [2] Juhász A. Z.: Építőanyag-ipari nyersanyagok mechanikai kémiaja. Doktori értekezés. MTA, Budapest, 1980.
- [3] Opoczky, L.: Szilikátipari rideg anyagok finomórlésének folyamata. Doktori értekezés. MTA, Budapest, 1982.

Juhász A. Zoltán fő munkái

(a Révai Új Lexikon X. kötete alapján):

A szegilongi samottkaolin előkészítési-nemesítési kísérletei. Egyetemi doktori értekezés (Veszprém, 1958). Szilikátásványok mechanikai aktiválása. Kand. értekezés (MTA Kémiai Tudományos Osztálya Közleményei, 1969). Szilikátok mechanikai aktiválása (Opoczky Ludmillával, Bp., 1979). Vizgőzadszorpció szilikátfelületen (Bp., 1979). Mechanokémia (Szilikátkémia. Szerk. Tamás Ferenc, Bp., 1979). Építőanyag-ipari nyersanyagok mechanikai kémiaja. Doktori értekezés (Bp., 1980). Bevezetés a szilikátkémiai technológiába I-II. (Veszprém, 1985). Some Surface Properties of Hungarian Bentonites (Colloids and Surfaces, 1990). Mechanical Activation of Minerals by Grinding (Opoczky Ludmillával, Chichester – Bp., 1990). Mechanikai alap kutatások hazai megalapozása (Bp., 1994). Általános és szilikátkémiai technológia I-III. (Veszprém, 1996).

MEGRENDÜLVE BÚCSÚZUNK DR. JUHÁSZ A. ZOLTÁNTÓL



a kémiai tudomány akadémiai doktorától, az SZTE örökös tagjától, a Veszprémi Egyetem emeritusz professzorától, ki életének 74. évében eltávozott közülünk.

Az ELTE TTK-n végzett (1951) okleveles vegyészmérnökként, pályafutását a bányászat területén kezdte, és egész életét a szilikátok kutatásának, hasznosításának szentelte. Először a Vegyesásványbányászati Laboratórium analitikai kutatómérnöke (1951-1952), majd a Bányászati Kutató Intézet Érc- és Kőzetosztály tudományos munkatársa (1952-1956), ezt követően az Országos Érc- és Ásványbányák Ásványbányászati Központi Laboratóriumának vezetője, majd műszaki-gazdasági tanácsadója (1956-1969).

Igazi iskolateremtő munkássága két egyetemi munkahelyén bontakozott ki. 1969-től a BME Építőmérnöki Kar Építőanyag Tanszékén egyetemi adjunktusként, majd tudományos tanácsadóként és ezzel párhuzamosan a tanszék Kémiai és Anyagszerkezeti Laboratóriumának vezetőjeként dolgozott. 1982–1995 között a VE Szilikátkémiai és Technológiai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára és 1998-tól emeritusz professzora.

Gazdag tudományos pályája során a magyarországi érc- és ásványbányászati nyersanyagkutatás elméleti és gya-

korlati kérdéseivel, általános kolloidkémiai és technológiai kutatásokkal foglalkozott. Jelentős eredményeket ért el a mechanokémia, az építőanyagok adszorpció és adhéziós kutatása, a kapillárpórusos rendszerek, az őrlémények fizikai és kémiai tulajdonságainak vizsgálata, a vizes agyagrendszerek reológiai tulajdonságainak feltárása terén.

Kutatási eredményeiből több mint száz cikket, több könyvet és kiadványt jelentetett meg. Ezeket a kiemelkedő eredményeket ismertette és magyarázta számos Akadémiai (Szilikátkémiai, Kolloidkémiai, Ásványtani) Munkabizottság tagjaként, előadásaiiban és pedagógiai munkásságában. 1982-ben az Akadémiai Kiadó gondozásában jelent meg (Opoczky Ludmilla társszerzővel közösen írt) a „Mechanikai aktiválás finomórléssel” c. könyve, melyet 1990-ben angol nyelven is kiadtak. A kedvező kritikák az egész világon ismertté tették a professzor nevét és a „magyar mechanokémiai iskola” szemléletét. E könyv szerzőjeként megkapta az Akadémiai Díjat, valamint az MTA elnöke és az Akadémiai Kiadó igazgatójának nívódíját. Kiemelkedő munkájának elismeréseként számos kitüntetésben részesült (Bányászati Szolgálati Érdemérem (1967), Kiváló Munkáért (1983), Kiváló Pedagógus (1991).

Barátai nemcsak tudósként, tudományszervezőként és vezetőként, hanem kiváló oktatóként és a mások problémái iránt érzékeny, segítőkész kollégaként is ismerték. Fontosnak tartotta a Szilikátipari Tudományos Egyesület munkájában való aktív részvételt. Sok éven át az „Építőanyag” folyóirat tudomány rovatának szerkesztője.

Halála nemcsak közvetlen családja, hanem barátai, tanítványai és munkatársai körében is mélységes fájdalmat okozott. Nyudodj békében, emlékedet megőrizzük!

W. L-né

Ce_xGd_yTb_zMgB₅O₁₀ (x + y + z = 1) pigmentet tartalmazó kerámiai festékek

Tax Zoltán – Kotsis Leventéné – Horváth Attila
Veszprémi Egyetem

Bevezetés

Ismeretes, hogy az emberi szem az 520-550 nm hullámhosszúságú, azaz a zöld fotonokra a legérzékenyebb. Éppen ezért célszerű olyan kerámiafestékeket előállítani és alkalmazni, amelyek gerjesztés hatására zöld fényt bocsátanak ki.

Looye és munkatársai olyan cérium(III)- és terbium(III) ionokkal aktivált borátokat állított elő, amelyek ibolyántúli fotonok hatására zöld fényt emittálnak, viszonylag nagy kavantumhasznosítási tényezővel. Ezek, az (Y,La)_{1-x-y-z}Ce_xGd_yTb_z(Mg,Zn)_{1-p}Mn_pB₅O₉ általános képletű foszforok lényegében a GdMgB₅O₁₀ célszerűen módosított változatainak tekinthetők. Mind az előbbieket, mind utóbbi egyik fontos jellemző sajátossága, hogy a borát gazdarácsban lineáris gadolínium-láncok alakulnak ki [2, 5]. Megállapították, hogy a Ce-Gd-Tb foszforokban a gerjesztő fotonokat a cérium(III) nyeli el, azaz „antennaként” működik a rendszerben. Az energia a gerjesztett cérium(III)ionokról a gadolínium(III) ionok közvetítésével jut el a zöld fényt kibocsátó terbium(III)ionokra. A gerjesztést követően, szobahőmérsékleten a cérium(III) által átadott energia rezonanciamechanizmussal vándorolhat a gadolínium-láncokon belül, amit végül a terbium(III)ionok vagy különböző rácshibák nyelnek el [3, 6]. A ${}^*Gd^{3+} + Tb^{3+} \rightarrow Gd^{3+} + {}^*Tb^{3+}$ energiaátadás hatásfokát egyfelől magának az energiaátadásnak, másfelől a vele versengő folyamatoknak – mint például a rácshibák energiaelnyelése – a sebessége határozza meg. A hasznos folyamat sebessége függ a donor (${}^*Gd^{3+}$) és az akceptor (Tb^{3+}) közötti távolságtól [7], valamint a donor emissziós és az akceptor elnyelési szinképeinek átfedésétől. Azt a tapasztalatot, miszerint a terbium(III)ionok már kis koncentráció esetén is csaknem teljesen kioltják a gerjesztett gadolínium(III)ionokat, a gadolínium-láncokon bekövetkező gyors energiavándorlással magyarázzák, ami mintegy 10^{-10} s alatt bekövetkezik. Ezzel szemben a láncok közötti energiaátadás sokkal lassabb, kb. 10^{-4} s alatt megy végbe [2].

Korábbi közleményünkben beszámoltunk arról, hogy előállítható olyan üvegfázis, amely meghatározott összetételű Ce_xGd_yTb_zMgB₅O₁₀ (x + y + z = 1) foszforokkal lumineszcens kerámiai festékként használható [8]. Ennek a munkának folytatásaként azt a célt tűztük ki, hogy a cérium(III)-, terbium(III)- és gadolínium(III)ionokat különböző koncentrációban tartalmazó LnMgB₅O₁₀ (Ln = Ce, Gd, Tb) gazdarácsú foszforokat állítunk elő. Megvizsgáljuk a lumineszcencia intenzitásváltozását, vala-

mint a kristályok szerkezeti jellemzőit a lantanidaionok koncentrációjának függvényében annak érdekében, hogy pontosabban megismerjük a Gd³⁺ és a Tb³⁺ energiaátadásban és a gazdarács szerkezetének kialakításában betöltött szerepét.

Alkalmazott anyagok és módszerek

A foszforokat (Ce_xGd_yTb_zMgB₅O₁₀ x + y + z = 1) a fémek nagy tisztaságú (Merck 99,99%) oxidjaikból és nitrátjaikból szilárd fázisú reakcióval állítottuk elő. A programozott égetést (200 °C/h fűtési és 500 °C/h hűtési sebesség, 1035 °C-on 1h hőntartás, 99,99% N₂ atmoszféra) platina-tálban végeztük. A lehűlt termékeket porítottuk, majd az említett paraméterek alkalmazásával ismételt hőkezelésnek vetettük alá.

Három különböző összetételű sorozatot hőkezeltünk, amelyeknél a Ce³⁺ koncentráció szélesebb tartományban (0,05 < x < 0,6) változott, mint az irodalomban közölt összetételeknél.

- I. x = 0,05; y = 0,65; 0,80; 0,90; 0,94; z = 0,30; 0,15; 0,05; 0,01
- II. x = 0,3; y = 0,35; 0,5; 0,65; z = 0,35; 0,2; 0,05
- III. x = 0,6; y = 0,05; 0,2; 0,35; z = 0,35; 0,2; 0,05

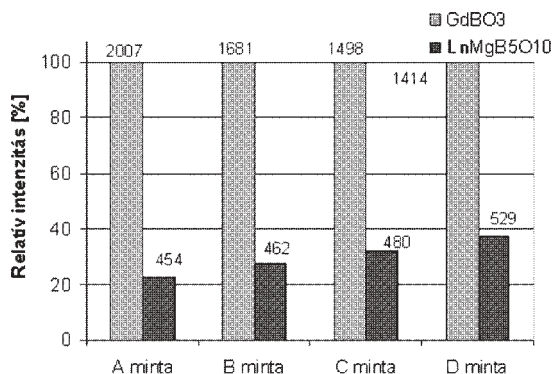
A különböző minták jelöléseit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

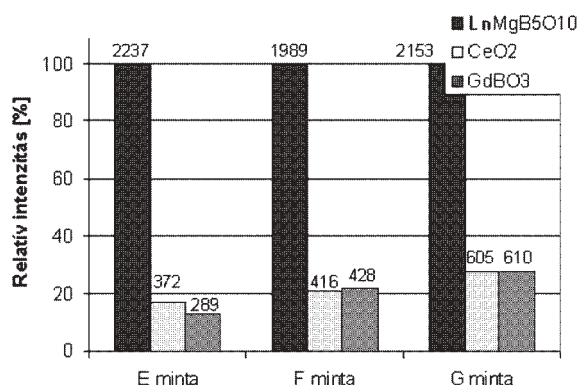
A pigmentek jelölése Ce³⁺, Gd³⁺ és Tb³⁺ tartalmuk feltüntetésével

	Ce	Gd	Tb		Ce	Gd	Tb		Ce	Gd	Tb
A	0,05	0,65	0,30	E	0,3	0,35	0,35	H	0,6	0,05	0,35
B	0,05	0,80	0,15	F	0,3	0,50	0,20	I	0,6	0,20	0,20
C	0,05	0,90	0,05	G	0,3	0,65	0,05	J	0,6	0,35	0,05
D	0,05	0,94	0,01								

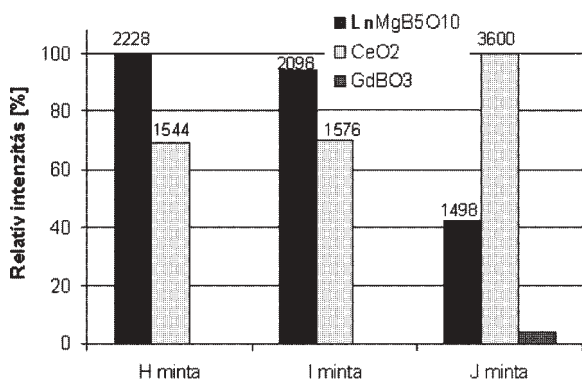
A hőkezelt anyagok fázisösszetételét Philips gyártmányú PW 3710 típusú röntgendiffrakciós készülékkel határoztuk meg, a gerjesztési és emissziós szinképeket Perkin Elmer LS 50 B lumineszcencia spektrofotométerrel vetettük fel. A foszforok emissziójának mérésénél mind a gerjesztő, mind az emittált fény 5-ös nyílású résen haladt keresztül, a kerámiai festékek esetében a résméret 8-as volt. Mérés előtt az emittált sugárzás SZZ-25 jelű szűrőn haladt keresztül. A gerjesztéshez 270 és 360 nm-es hullámhosszúságú ibolyántúli fényt választottunk.



1. ábra. Az első sorozat ($Ce^{3+} = 0,05$) fő kristályos fázisainak aránya



2. ábra. A második sorozat ($Ce^{3+} = 0,3$) fő kristályos fázisainak aránya



3. ábra. A harmadik sorozat ($Ce^{3+} = 0,6$) fő kristályos fázisainak aránya

Összefoglalva, a vizsgált mintáknál a Ce^{3+} koncentráció függvényében eltérést tapasztaltunk a legnagyobb mennyiségben jelentkező kristályos fázisok között. Míg az első sorozatnál a $GdBO_3$, addig a második és harmadik sorozatnál a $LnMgB_5O_{10}$ (kivételesen a harmadik sorozat „J” minta) a domináns kristályos fázis.

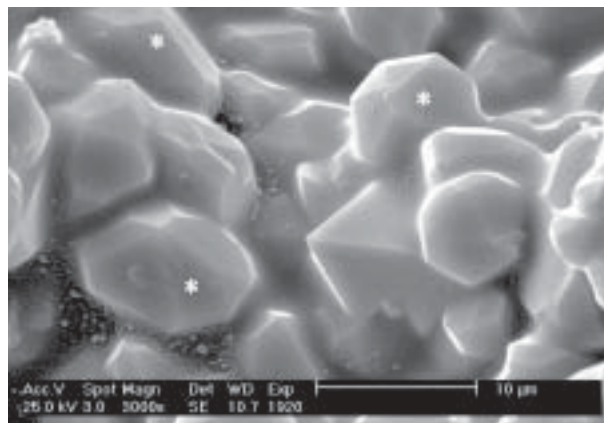
A minták elektronmikroszkópos vizsgálata során a $GdBO_3$ jelenlétét megfigyelni nem lehetett. Ennek okát a kristály kis méretében és a kristályos sajátalakúság hiányában ésszerű keresni.

Eredmények

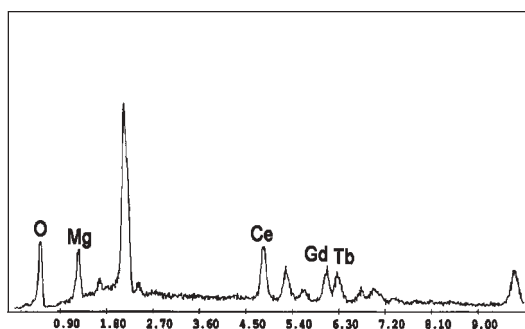
A $Ce^{3+} = 0,05$ tartalmú minták fő fázisaként $GdBO_3$ -ot és $LnMgB_5O_{10}$ -ot azonosítottunk. A $Ce^{3+} = 0,3$ tartalmú minták fő fázisának ($LnMgB_5O_{10}$) reflexiói mellett megjelennek a CeO_2 és kis intenzitással a $GdBO_3$ röntgen jelei is. A $Ce^{3+} = 0,6$ tartalmú mintákban a fő fázis egyértelműen az $LnMgB_5O_{10}$ és a CeO_2 . Ennek a sorozatnak a legtöbb Gd^{3+} -ot ($y = 0,35$) tartalmazó tagjában nagyon kis intenzitással megjelenik a $GdBO_3$ legintenzívebb vonala.

Az 1-3. ábrák a különböző sorozatokban található kristályos fázisok arányát mutatják be. A különböző fázisok relatív mennyiségét mutató oszlopok felett feltüntetett értékek a $GdBO_3$ -nál a $d = 3,32 \text{ \AA}$ (1 0 0) reflexió, az $LnMgB_5O_{10}$ -nél a $d = 6,60 \text{ \AA}$ (1 0 0) reflexió, és a CeO_2 -nél a $d = 3,124 \text{ \AA}$ (1 0 0) reflexió beütésszámát mutatják.

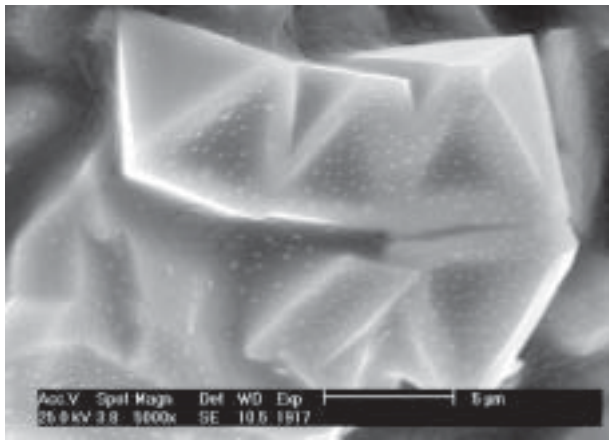
A $LaMgB_5O_{10}$ általános képletű anyagot B. Saubát és munkatársai a 35-0120 ASTM kártyaszámú reflexiósorozattal jellemezték [6]. A Ce^{3+} , Gd^{3+} és Tb^{3+} koncentrációjának változásával az intenzitásmaximumok eltolódása olyan csekély mértékű a tiszta $LaMgB_5O_{10}$ vegyületéhez képest, hogy az elemi cella paramétereinek változása nem határozható meg. Ezért a $Ce_xGd_yTb_zMgB_5O_{10}$ szilárd oldat reflexióit $LnMgB_5O_{10}$ -zel jelöltük a továbbiakban.



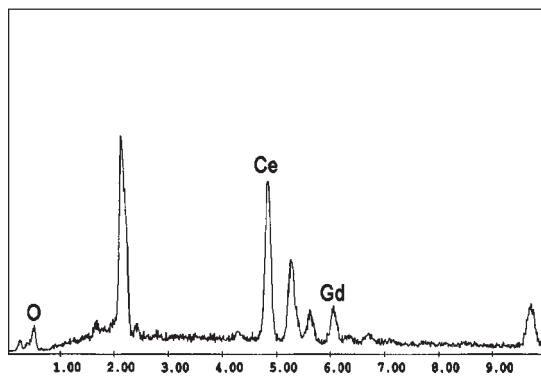
4. ábra. $LnMgB_5O_{10}$ kristályok



5. ábra. $LnMgB_5O_{10}$ kristályokról készített EDX felvétel



6. ábra. CeO_2 kristályok

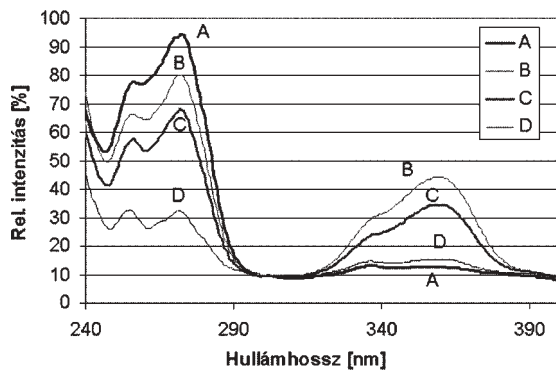


7. ábra. CeO_2 kristályokról készített EDX felvétel

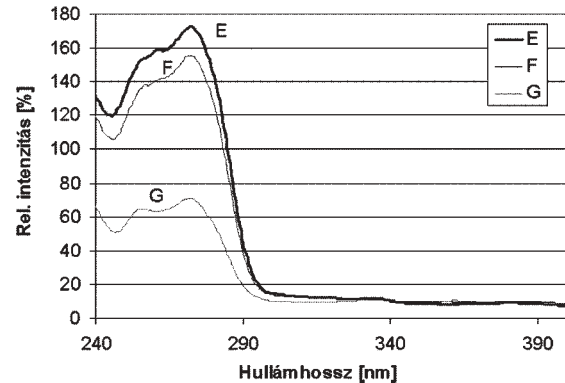
Az $LnMgB_5O_{10}$ kristályok minden minta elektronmikroszkópos felvételén jól láthatók, ahogy azt a 4. ábra is szemlélteti. A sok kristálylappal határolt (csillaggal jelölt) lencse alakú kristályok az $LnMgB_5O_{10}$ vegyületre jellemzők. EDX analízissel e vegyületekben mindig kimutatható a Ce és Tb jelenléte a Gd, Mg és O mellett (5. ábra).

Azoknál a mintáknál, amelyeknél a CeO_2 jelenlétét röntgendiffrakcióval kimutattuk, elektronmikroszkóppal is megfigyeltük a jellegzetes oktaédes kristályokat (6. ábra). E kristályok EDX analízise látható a 7. ábrán, amely azt mutatja, hogy a mintában a Ce mellett kis mennyiségű Gd is található. Ez arra enged következtetni, hogy CeO_2 - GdO_2 szilárd oldat képződik. Az összetétel a következő képlettel adható meg: $Ce_{0,8}Gd_{0,2}O_{1,90}$. A CeO_2 - GdO_2 szilárd oldat képződésének lehetőségét megerősítik a $Ce_{0,4-0,9}Gd_{0,1-0,6}O_{1,85-3,2}$ szilárd oldatok 46-0507, 46-0508, 75-0161, 75-0162 és 75-0163 számú ASTM kártyák adatai is.

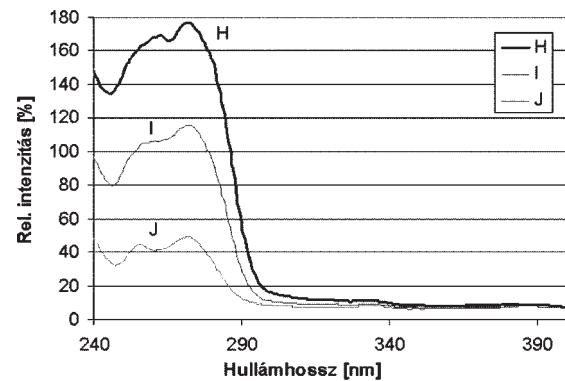
A 8., 9., 10. ábrán a foszforok 544 nm-es emissziójának intenzitását láthatjuk a gerjesztő hullámhossz függvényében. A kapott eredmények öt különböző mérés átlagai. (Az egyes mérési eredmények egymástól való eltérései mindig ± 2 rel. %).



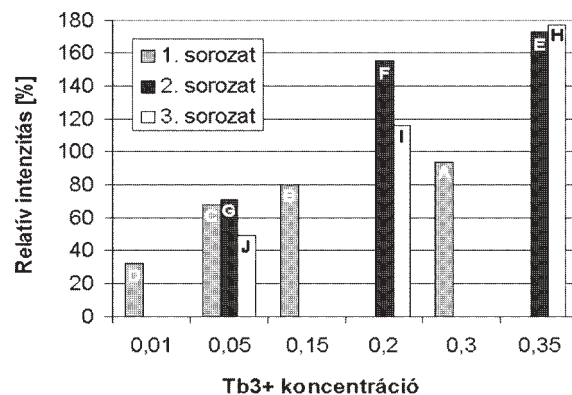
8. ábra. Az első sorozat ($Ce^{3+}=0,05$) gerjesztési spektrumai



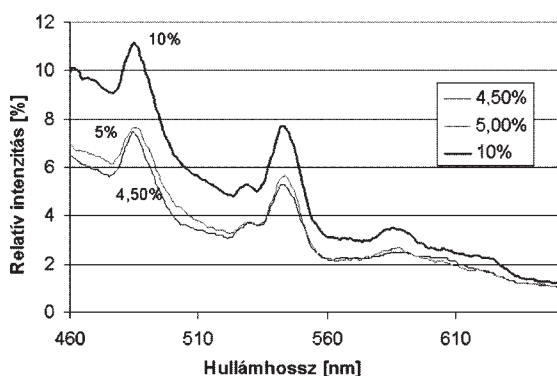
9. ábra. A második sorozat ($Ce^{3+}=0,3$) gerjesztési spektrumai



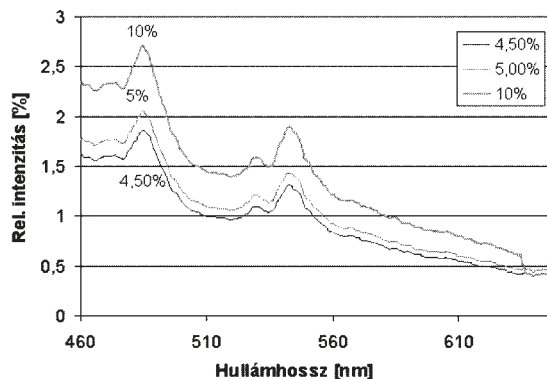
10. ábra. A harmadik sorozat ($Ce^{3+}=0,6$) gerjesztési spektrumai



11. ábra. Az emissziók intenzitása a Tb^{3+} koncentráció függvényében



12. ábra. A kész dekorok emissziós spektrumai 274 nm-es gerjesztésnél



13. ábra. A kész dekorok emissziós spektrumai 360 nm-es gerjesztésnél

A 8., 9. és 10. ábra arra enged következtetni, hogy egy gazdarácson belül (egy mintasorozatnál) az emisszió intenzitását, ami a $Tb^{3+} = 0,30-0,35$ -től a $Tb^{3+} = 0,01-0,05$ irányában csökken minden foszfor esetében, elsősorban a Tb^{3+} határozza meg. Ezt illusztrálja a 11. ábra, amin az is jól megfigyelhető, hogy a lumineszcencia intenzitása a Tb^{3+} koncentráció függvényében közel lineárisan változik. A 11. ábra azt mutatja, hogy a $Ce^{3+} = 0,6$ tartalmú mintáknál a $Tb^{3+} = 0,35$ -ös értéke nincs a telítési koncentráció közelében. Így várható, hogy a Tb^{3+} koncentráció növelése az emisszió további növekedéséhez vezet.

A három spektrum közötti további hasonlóság az, hogy az 544 nm-es emisszió mindhárom mintasorozatban 245-280 nm-es fotonokkal gerjeszthető. Az alapvető különbség abban rejlik, hogy a $Ce^{3+} = 0,05$ tartalmú mintáknál az 544 nm-es emissziót a 330-380 nm-es sugárzással is kiválthatjuk a B és C összetételeknél. A 360 nm-es gerjesztéskor az emittált fény intenzitása kb. fele a 274 nm-esnek. Az emissziókban mutatkozó lényeges eltérést feltehetően az eltérő gazdarácsok jelenléte okozza. Analóg gazdarács esetén az emissziót azonos hullámhossz tartománnyal tudjuk előidézni (lásd: 9. és 10. ábra).

Az első (A-D) és a második (E-G) sorozat mintáiról készült gerjesztési színeképeket összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy $Tb^{3+} = 0,15-0,35$ koncentrációtartományban a 274 nm-es gerjesztéssel előidézett és 544 nm-nél detektált emisszió az $LnMgB_5O_{10}$ gazdarácsú mintáknál kétszer akkora, mint a $GdBO_3$ gazdarácsúaknál. Ha viszont a $Tb^{3+} = 0,05$, akkor az emisszió intenzitása gyakorlatilag megegyezik (C és G minták).

Az is figyelemre méltó a $Ce^{3+} = 0,3$ és $Ce^{3+} = 0,6$ mintáknál, hogy minden esetben önálló fázisként az $LnMgB_5O_{10}$ mellett megjelenik a CeO_2 - GdO_2 is.

Az irodalomban is közzétett összetételű anyag, ami a mi vizsgálatainkban az F jelűvel azonos, lumineszcencia intenzitása kisebb, mint az E és H mintáké. Ezek intenzitása lényegében megegyezik. Figyelemre méltó, hogy az utóbbi két minta azonos mennyiségű $LnMgB_5O_{10}$ -ot tartalmaz, és ezekben található a legtöbb ilyen fázis.

A Ce, a Gd és a Tb az $LnMgB_5O_{10}$ kristályban azonos rácspozícióban helyezkedik el, ezért nem lehet különb-

séget tenni a rácsparaméterek alapján a két mintában található szilárd oldat között.

Az A-D minták gerjesztési színeképe nemcsak abban tér el a E-G és H-J sorozatokétól, hogy 320-380 nm között jellegzetes szerkezetet mutató sávrendszer jelenik meg, hanem a 250-290 nm intervallumban észlelhető sávok alakja is különbözik az E-G és H-J mintákétól. Mivel a tapasztalt jelenség akkor figyelhető meg, ha a $GdBO_3$ fázis domináns, arra következtethetünk, hogy a gerjesztő fényt az A-D minták $LnMgB_5O_{10}$ fázisának Ce^{3+} centrumai mellett a $GdBO_3$ is elnyeli. A 320-380 tartományban akkor észlelhető intenzív sávrendszer a gerjesztési színeképekben, ha a fő fázis a $GdBO_3$. Mindezek azt támasztják alá, hogy az ideális foszforokban a fényelnyelést, energiaátadást és a kívánt lumineszcencia fényt kibocsátó komponensek arányát, koncentrációját és a gazdarácsok szerkezetét és kristályossági fokát egyaránt optimalizálni kell.

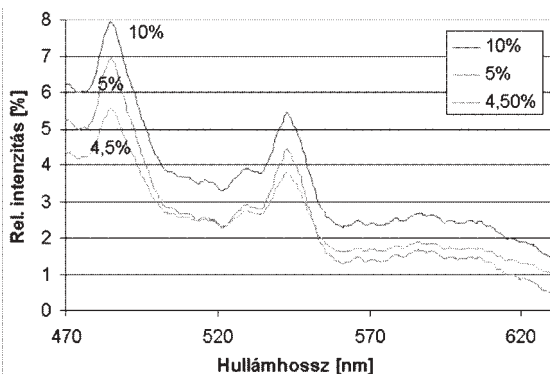
A „H” mintából és „B” mintából hasonló módon készítettünk kerámiai festékeket, mint ahogy azt a [8] cikkben már bemutattuk. A festékek a $SiO_2 = 60$ (m/m)%, $B_2O_3 = 27,5$ (m/m)%, $CaO + MgO + Na_2O + K_2O = 12,5$ (m/m)% összetételű üvegfázist 95,5; 95,0 és 90,0%-ban tartalmazták. A lumineszcencia mérésénél a gerjesztő és emittált fénysugár nem 10-es (mint [8]-ban), hanem 8-as nyílású réseken haladt keresztül.

A festékeket 0,25 mm vastagságban vittük fel herendi mázas porcelán felületére, ahol hőkezelésük elektromos alagútkemencében 850 °C-on 30 perc hőn tartással történt, így módon lumineszkáló dekorokat kaptunk.

A 12. és 13. ábrán láthatók a dekorokról készült emissziós spektrumok. A „H” mintából készült festékek gerjesztési hullámhosszaként 274 nm-t választottunk, a „B” mintából készült festékekénél pedig 360 nm-es hullámhosszúságú volt a gerjesztés. Az emissziós spektrumban két csúcs jelentkezik 489 nm-es és 544 nm-es hullámhosszaknál, ezek a $Tb^{3+} \ ^5D_4 - \ ^7F_6$ és $\ ^5D_4 - \ ^7F_5$ átmenetei.

A 274 nm-es gerjesztésnél megjelenik az 588 nm-en jelentkező $Tb^{3+} \ ^5D_4 - \ ^7F_4$ átmenet is.

Az emissziós spektrumokból látható, hogy a vizsgált összetételek közül a legkedvezőbb pigmentkoncentráció 10%. A mázas felületen égetett festékek korábbi eredménye-



14. ábra. Az „A” mintából készült dekorok emissziós spektrumai

10%. A mázas felületen égetett festékek korábbi eredményeivel összehasonlítva látható (14. ábra), hogy az $\text{LnMgB}_5\text{O}_{10}$ szilárd oldat összetételének változtatásával sikerült nagyobb intenzitással emittáló festéket előállítani.

Következtetések

- Bármilyen gazdarács építi fel az anyagot, az emisszió intenzitása minden esetben függ (egy-egy mintasorozatonál) a Tb^{3+} koncentrációjától.

- A vizsgált összetétel-tartományok esetében a Ce^{3+} 0,6 mintasorozatonál a Tb^{3+} koncentrációja valószínűleg tovább növelhető az emisszió intenzitásának fokozására.
- Az emisszió intenzitását és gerjeszthetőségét a gazdarács nagyon jelentősen befolyásolja.
- A $\text{LnMgB}_5\text{O}_{10}$ gazdarácsban a Ce- és Gd-ionok a lumineszcencia szempontjából azonos fontosságúak, de különböző szerepet töltenek be. Nevezetesen, a Ce^{3+} elsősorban fényelnyelő (antenna), a Gd^{3+} pedig főként energiaközvetítő a Ce^{3+} és a Tb^{3+} között, de emellett a GdBO_3 antennaként is működhet.

Irodalom

- [1] B. Looye et al.: United States Patent 4, 319.,161. (1982)
- [2] W. van Schaik, G. Blasse, Debye Institute; Luminescence and energy migration in a quasi-one dimensional Gd^{3+} compound: $\text{GdMgB}_5\text{O}_{10}$; Journal of Luminescence 62 (1994) 203-218.
- [3] S. Lizzo, W. Smit, W. van Schaik, G. Blasse, J. Electrochem. Soc. 140 (1993) 216.
- [4] S. H. M. Poort, J. J. H. Schlotter, E. Dorrestijn and G. Blasse, J. Electrochem Soc. 141 (1994) 2201.
- [5] M. Buijs, J. P. M. van Vliet and G. Blasse, J. Lumin. 35 (1986) 263.
- [6] B. Saubat, M. Vlasse and C. Fouassier, J. Solid State Chem. 34 (1980) 271.
- [7] D. L. Dexter, J. Chem. Phys. 21 (1955) 836.
- [8] Tax Z., Kotsis Leventéné, Horváth Attila: Nem hagyományos kerámiai festékek. Építőanyag 2001/4. 102.

TÁJÉKOZTATÓK

Európai uniós pályázatíró és programmenedzser tanfolyamok

Az Ipar Műszaki Fejlesztésért Alapítvány pályázatíró és programmenedzser-képzést indít 2003. év folyamán.

A képzés:

- intenzív 140, illetve 80 órás (kéthetente 2-3 nap),
- kiscsoportos (15-25 fő),
- 7 modulból áll (1. Az Európai Unió intézményei és Magyarország; 2. Stratégia, program, projekt; 3. Európai támogatási programok; 4. Partnerek; 5. Innovatív megoldások, innováció-menedzsment; 6. Hatékony pályázatírás; 7. Pályázatmenedzselés).
- felkészíti a résztvevőket az alapvető európai uniós ismeretekre,
- segít elsajátítani a nemzetközi tárgyalási technikát,
- megismertet a különböző pályázati és támogatási lehetőségekkel,
- tanítja a benyújtandó pályázatok elkészítésének fortélyait,
- segíti a pályázatírói és szervezési készségek kialakítását,
- kiváló minőségre törekszik.

A képzésen való részvétel feltételei:

- érettségi,

- angol nyelv középfokú ismerete (nyelvvizsgálóval nem rendelkezők esetén személyes elbeszélgetés alapján minősítik a nyelvtudást),
- jelentkezési lap hiánytalan kitöltése.

További információ: Vadovics Kristóf programvezető, telefon:

312-2213/104; e-mail: k_vadovics@mail.neti.hu; www.euprom.hu

* * *

BATIMAT 2003

„Új idők – megújuló mesterségek”

A 24. BATIMAT 2003. november 2. és 8. között tartja nyitva kapuit a Paris Expo Porte de Versailles kiállítási parkban.

Négy új szektor és egy új kiállítási egység.

- *Öt hagyományos kiállítási egység.* Nyerséipitmény, asztalosmunka, nyílászárók, készre dolgozás, dekoráció. Eszközök, informatika és telekommunikációs eszközök.
- *Négy új szektor:* konyhák, fürdőmedencék és felszereléseik, kültéri és városi bútorzat, sport- és szabadidős felszerelések.
- *Az új, hatodik kiállítási egység:* az „Intelligens épületek, valódi életterek” 3 nagy szektort ölel fel.

Az építőipari mesterségekben bekövetkezett mutációk – a 2003-as BATIMAT nagy témája.

További információk: www.reed-elsevier.com, PROMOSALONS Magyarországi Képviselő, Györki Ágnes képviselő, tel.: (1) 266-1318, fax: (1) 266-3528, e-mail: gyorki@elender.hu

SiC védőréteg létrehozása karbonszálon gyors hevítéses módszerrel

Hegman N.* – Szűcs P.** – Lakatos J.***

Miskolci Egyetem

Bevezetés

Napjainkban intenzíven kutatott terület a jó kopás- és hőszokkálló anyagok kifejlesztése az űrtechnika, a megmunkáló szerszámok, a turbinaalkatrészek és általában a magas hőmérsékleten erős súrlódással együtt járó alkalmazások területén. Jó példa erre a súrlódásnak kitett alkatrészek esete, ahol a felületen elnyelt súrlódási hő a véges hővezetés miatt magas hőmérséklet-emelkedést okoz a felületen és ezzel együtt nagy hőmérséklet-gradienst. Ez utóbbi jelenléte a hőtágulás és a mechanikai kényszerek okán termikus feszültségeket kelt a mintában (a használat során ciklikusan), ami főleg a felületen, annak mikroszerkezetétől függően, különböző károsodási mechanizmusokat indít el. Ennek elkerülése érdekében az ideális hőszokktűrő anyag jó hővezető, kis hőtágulású és mechanikai szilárdsága is a várható termikus feszültségek feletti érték [1]. Mivel egy anyag ezeket az eltérő követelményeket nehezen tudja teljesíteni, a megoldást a kompozit anyagok területén lehet keresni. Erre a célra a szénszál erősítésű, szénmátrixú kompozitok (C/C) már bevezetésre kerültek, igaz nem túl széles területen, de a mátrixanyag SiC-dal való helyettesítése (C/C-SiC) ígéretes fejlesztési irányoknak mutatkozik. A szénszál egyrészt jó hővezető, kis hőtágulásával jól társítható kerámia alapanyagokhoz, és mint erősítő anyag növeli a törési szívósságot. Szénszál erősítésű kerámiaanyagok már léteznek, de még továbbra is megoldandó ebben a kompozit szerkezetben a szénszál degradációjának a megállítása, ami 450 °C felett oxigén jelenlétében indul el [2-3]. A magas hőmérsékletű oxigén jelenléte melletti alkalmazás gyakori eset akár a kompozit szerkezetek gyártási technológiájá során, akár a kész alkatrészek (pl. féktárcsa) súrlódása során, az ezer fok feletti ismétlődő hőterhelésre gondolva. Megoldásként vagy magára a kompozit felületére visznek védőréteget, vagy magára a szénszálakra képeznek oxigénálló (általában SiC) bevonatot, illetve mindkét eljárást alkalmazzák egyszerre [4]. Jelen munkában a szénszálak SiC-os bevonásával foglalkozunk egy gyors, tranzienst jellegű, magas hőmérsékletű hevítés alkalmazásával, ami újszerű az eddig ismert, órákban mérhető hőkezelési technológiák mellett.

* PhD, egyetemi docens, Miskolci Egyetem

** egyetemi hallgató, Miskolci Egyetem

*** kémia tud. kand., egyetemi docens, Miskolci Egyetem

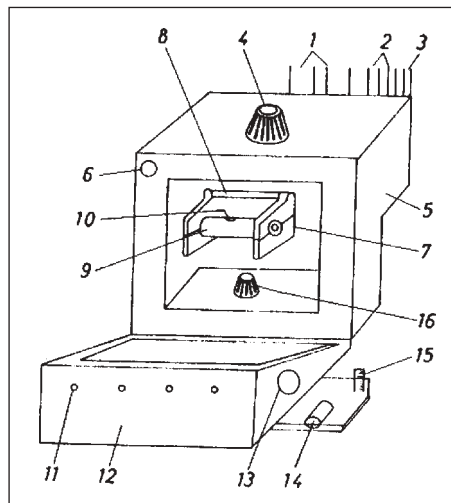
Kísérleti módszerek

Védőréteg kialakítása gyors pirolízises módszerrel

A gyors hevítéses eljárás egy atomabszorpciós spektrométer (AAS) elektrotermikus atomizáló (ETA) egységében zajlik. Az ETA AAS-t az analitikai kémia területén használják kémiai elemek koncentrációjának a meghatározására. A műszer működése azon az elven alapszik, hogy egy grafitcsövet magas hőmérsékletre hevítenek, miután abba a meghatározandó elemeket tartalmazó oldatból 50-100 µl-t cseppentenek. A 2000-3000 °C hőmérsékleten az oldatban lévő vegyületek atomjaikra bomlanak. Analitikai célú felhasználásnál az atomok fényabszorpcióját mérik. Jelen munkában a fényabszorpció adta információra nincs szükségünk, hanem a kis hőkapacitású csökkenése gyors felfűthetőségét használtuk ki.

Az ETA felhasználható általában mint gyors fűtésű kemence a grafit_(s) + Me_(l), grafit_(s) + Me_(v), C_v + Me_(v), különböző szilárd-folyadék, szilárd-gáz és gáz-gáz fázisok közti reakciók tanulmányozására és az ezeken alapuló bevonat létrehozására.

A legelterjedtebb elektrotermikus atomizáló berendezések a grafitcső kemenceatomizálók (1. ábra). A grafit-



1. ábra. A SiC bevonat előállításához használt kemenceatomizáló berendezés

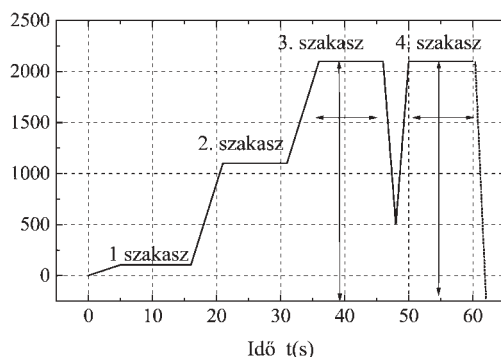
- 1 – elektromos csatlakozás; 2 – hűtővíz-csatlakozás; 3 – száloptika;
4 – befogószabályozó; 5 – kemenceház; 6 – ajtózárr; 7 – befogó;
8 – keresztartó; 9 – grafitcső ($d = 7 \text{ mm}$, $l = 30 \text{ mm}$);
10 – adagolónyílás; 11 – szellőzőnyílás; 12 – ajtó; 13 – kvarcablak;
14 – kemenceház-állító csavar; 15 – házrögítő csavar; 16 – befogó

cső zárt, inertgáz-árammal öblíthető, vízzel hűtött egységben van elhelyezve, melyben kis ellenállású grafit-érintkezőkkel biztosított a kisfeszültségű kontaktus. Az áramerősség rövid ideig a 100 amperes nagyságrendet is elérheti. A kis hőkapacitások miatt a grafitcsőre jellemző az igen gyors felfűtési sebesség (500 °C/s), vagyis néhány szekundum alatt a 2500 °C-ot is el lehet érni [5] a kívánt reakciók tanulmányozására.

A grafitcső kemenceatomizáló eddig említett előnyei mellett meg kell jegyezni a technológiai szempontból kifogásolható tulajdonságait is. A kemencében az érintkezők környezetében a hőmérséklet mindig alacsonyabb, mint a kemence közepén, ezért a kemence középső részében a homogén hőmérséklet-eloszlásának tekinthető tér-rész behatárolja a minta méretét kb. 0,5 cm-re, amin még azonos minőségű bevonatot lehet létrehozni. Másrészt a grafit fűtőcső védelmére hevítés közben Ar védőgáz áramlik át a grafitcsővön, amely gázáram a gáztérbe került reagensek egy részét elszállítja, és a rétegnövesztés számára ez veszteségként könyvelhető el. A védőgáz megfelelő idejű kikapcsolásával, ami még nem veszélyezteti a grafitcső működőképességét elérhető, hogy megfelelő mennyiségű reagens legyen a gáztérben a rétegeképződésre. Ezzel a feladattal a hőprogramok megfelelő kialakításakor foglalkoztunk. Összefoglalva: a grafitcső kemenceatomizáló kisméretű minták védőréteg-bevonására majd tesztelésére nagyon hatékony, gyors berendezés; a fent leírt módszernek hasonlóság alapján a legközelebbi ipari megfelelője a csökemencében szállított szálak CVD eljárású felületkezelése.

Minta-előkészítés

A vizsgálatok előkísérlete során grafitcszubsztrátra, majd ezután PAN-prekursorból gyártott karbonszálra vittünk fel CMC (karboximetil-cellulóz) és szilíciumpor keverékéből (1:1 vagy 2:1 + desztillált víz) álló szuszpenziót. A réteg-



2. ábra. Hőprogram („egy tipikus eset”)

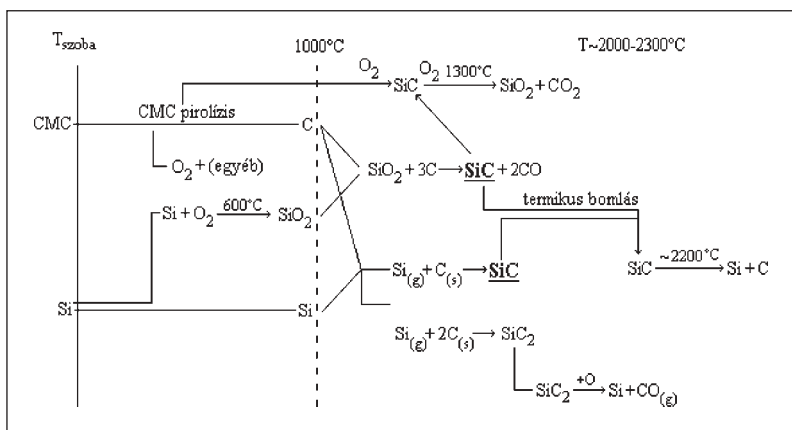
- 105 °C beszáritás; 2. 500–1000 °C hamvasztás (hagyományos értelemben vett pirólízis, ahol a nem karbonélemek távoznak a szilárd mintából); 3. 2000 °C atomizálás (Ar gázáram mellett); 4. 2000 °C atomizálás (hirtelen felfűtés egy rövid fűtőáram-megszakítás után Ar gázáram nélkül)

anyag felhordásánál gondosan ügyelni kell arra, hogy az kellő mennyiségben fedje a szálak felületét, illetve bejusson azok közé, így a szálakat többször áthúztuk a bevonó szuszpenzió. Az így előkészített mintákat különböző hőprogramok szerint hevítettük a fenti ETA-AAS berendezéssel. A rétegalapanyagok kiválasztásánál általában a nagy szén-, illetve szilíciumtartalmú anyagból lehet kiindulni. Az eddigi kísérletek során több komponenspárosítás is előzetesen kipróbálásra került, mint például szénhordozóként korom, szilíciumhordozóként Si olaj/gél és vízüveg. A kiindulási anyagkombinációk szuszpenzióját először grafitlapra vittük fel, és így hőkezeltük a különböző hőprogramokkal. Ugyanis a grafitlap felülete szerkezetileg jól közelíti a szén-szál felületét, és a síkon növesztett réteg röntgendiffrakciós szerkezetmeghatározása sokkal egyszerűbb feladat. A grafitlap megfelelőnek ítélt rétegek előállítási technológiáját alkalmaztuk később a szénszálakon.

Hőprogramok

A gyors pirólízises eljárás során alkalmazott hőprogramok egy tipikus esetét láthatjuk a 2. ábrán. A hevítési görbe szakaszainak mindegyikében szabályozott volt a fűtési sebesség, valamint a hőn tartás ideje. Az 1-3. lépések alatt folyamatos Ar gázáramlás van a grafithevítő csőben, amit a harmadik lépés hőn tartásának befejezésekor megszakítunk. Ezután a rendszer szabadon elkezdi lehűlni néhány másodpercig, majd a negyedik lépésben gázáram nélkül a harmadik lépésben beállított hőmérsékletre újra felhevítjük 1-2 másodpercen belül a mintát. A hőprogramok tesztelése során a 2. ábrán nyíllal jelölt a hőn tartás hőmérséklete és ideje típusú paramétereket variáltuk. A magas hőmérsékleten történő reakció között több gázfázisú reakció feltételezhető, ezért a programot egy gázáramlás nélküli szakasszal célszerű zárni. A gázáramlás ideje alatt a képződött bevonóanyag nem tud hatékonyan lerakódni, mivel nagy része eltávozik a grafitcsőből. A harmadik és negyedik lépés közti fűtés megszakítás a berendezés működési logikájából fakad, így azt nem szándékosan iktattuk be, inkább mint kényszerhez kellett alkalmazkodunk. A 3. ábrán a SiC lehetséges képződési csatornáit láthatjuk irodalmi adatokat összefoglalva [6-8]. A SiC képződése mellett párhuzamosan annak a bomlása is lehetséges, illetve SiC₂ és SiO₂ keletkezése. Az argon gáz-öblítés ellenére az oxigén jelenléte nem kizárt, mivel a szénhordozó anyag pirólízisekor keletkező oxigén nem távozik tökéletesen a grafitcsőből, illetve a negyedik hevítési szakaszban már nincs Ar gázáram.

A védőrétegek kialakítása során a fentieket figyelembe véve több programot is teszteltünk. A hőprogramok befolyásoló hatására a továbbiakban két hőprogram közti különbségből fakadó rétegmínőséget mutatunk be. Az „A” és „B” típusú hőprogramok közötti különbség a 3. és 4. lépésekben van. Az „A” hőprogram szerint a 3. és 4. lépések 2000 °C-on 10 másodpercig tartottak. Ezzel szemben a „B” hőprogramban a 3. szakaszt 2000 °C-on 20



3. ábra. A gyors hevítéses módszer során a SiC lehetséges képződési csatornáit. A szaggatott vonal felel meg a második hevítési szakasz befejezésének, ahol a SiC elemi alkotórészei készen állnak szilárd fázisban a további reakciókra

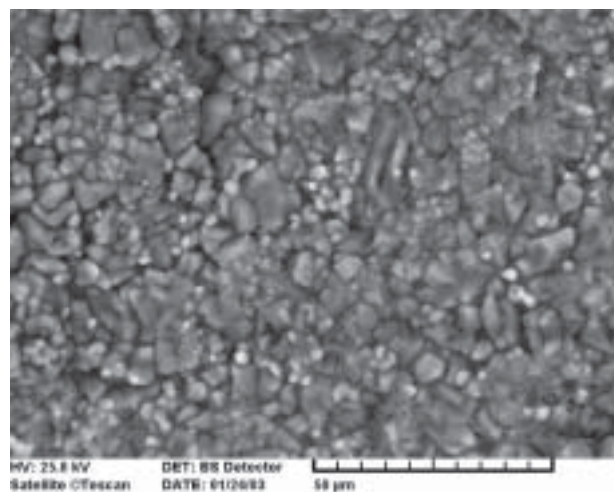
másodpercre növeltük, a 4. szakasz gyakorlatilag elmaradt, mivel a korábbi 4. szakasz beállítását 2000 °C-ról 600 °C-ra és 5 másodpercre csökkentettük. A 4. szakasz teljes elhagyását a rendszer nem engedi meg, ezért a hőmérsékletet és az időt a lehető legkisebbre állítottuk. A harmadik szakasz – negyedik szakasz idejének rovására történő – túl hosszúra vételével a bevonatra szánt anyag a gázárammal nagyrészt eltávozott.

Eredmények

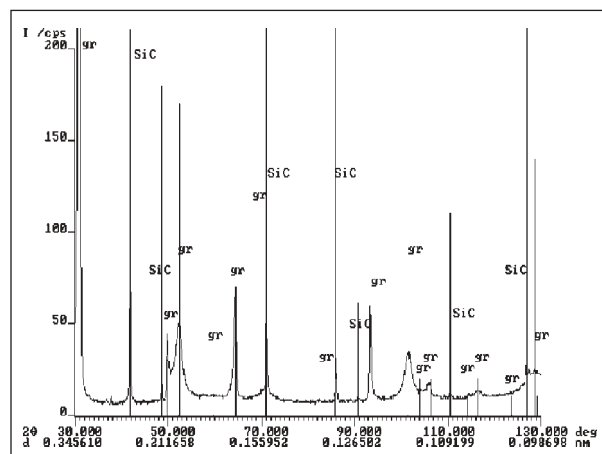
A rétegek tesztelése először grafitusztráton (lapforma 1 x 5 x 20 mm³) történt. A kísérletek során legjobban sikerült SiC réteg képét láthatjuk a 4. ábrán. A létrehozott poliéderez SiC védőréteg (CMC és Si-por keverék 1:1 arányban) az „A” hőprogram szerint készült. A röntgendiffrakciós vizsgálat szerint kockarácsú β -SiC található a felületen (5. ábra). A grafitlap alkalmazása meg-

könnyítette a röntgendiffrakciós detektálását a keletkező rétegeknek.

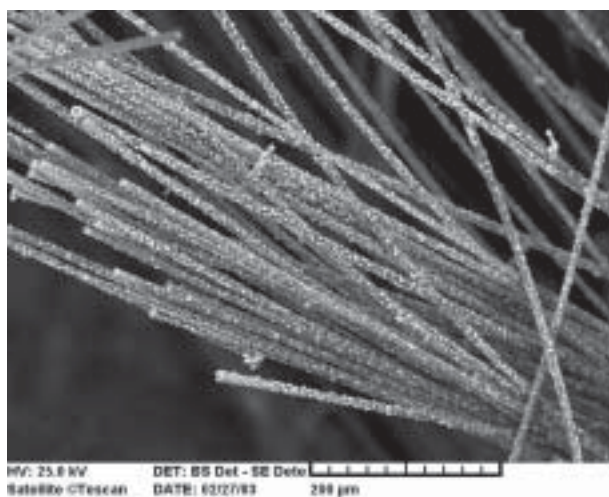
A sok kísérleti réteggártás közül a 6. és 7. ábrák jól szemléltetik a két eltérő hőprogrammal („A” és „B”) készült, azonos anyagiindulású rétegeken a kialakult különbségeket. Ezen eredmények függvényében megállapítható, hogy megfelelő bevonat kialakítása az „A” hőprogrammal jobban elérhető. Továbbá az is, hogy az eljárás során a képződő SiC gőzfázisú reakciók útján választódik le, mivel főleg olyan szálfelületeken keletkezik, ahol nagy a rálátás a gáztérre (belső felületeken kevésbé volt megfigyelhető). A képződés mechanizmusa vélhetően bonyolult és további kutatást igényel. Irodalmi modellek alapján az általunk használt hőmérsékleteken mind a Si-gáznak, mind a SiO₂-nak a pirolízis útján nyert szénnel lehetséges a reakciója, amiből SiC keletkezik, miközben oxigén jelenléte esetén a keletkező SiC folyamatosan elbomolhat, mint ahogyan azt a 3. ábra is szemlélteti.



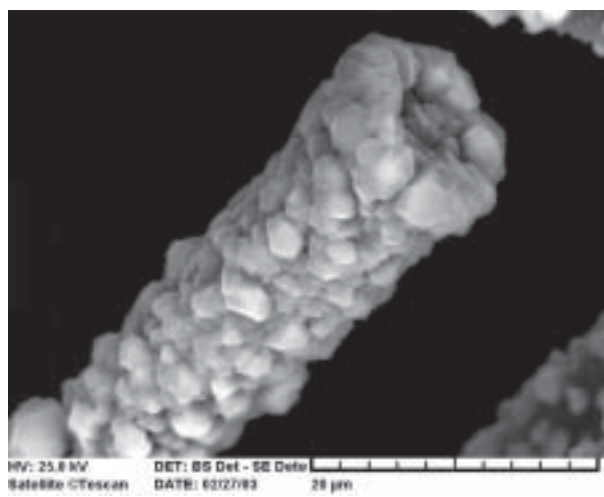
4. ábra. SiC réteg a grafitusztráton, SEM-felvétel („A” hőprogrammal)



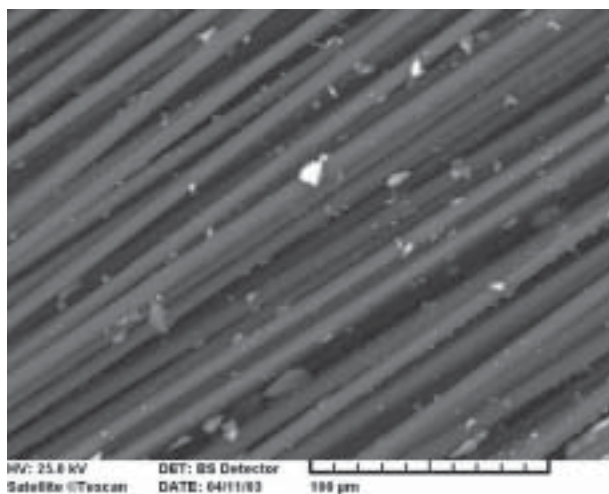
5. ábra. SiC réteg és a grafitusztrát röntgenspektruma, amely β -SiC felületi réteg jelenlétére utal. A reflexiók vonalak mellett feltüntetett nevek a megfelelő fázisra (grafitlap és SiC réteg) vonatkoznak



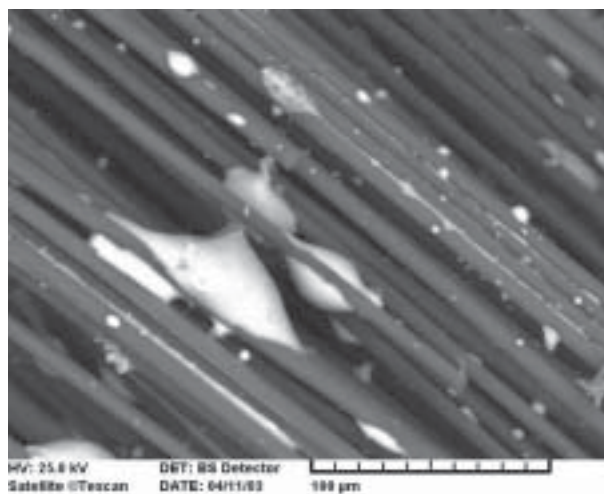
6a ábra. SiC bevonat a „X11 Zoltek” karbonszálon (CMC:Si = 1:1, „A” hőprogram szerint)



6b ábra. SiC bevonat a „X11 Zoltek” karbonszál végén, amely benyúlt a gáztérbe (CMC:Si = 1:1, „A” hőprogram szerint)



7a ábra. Kis felületen fedő SiC bevonat a „X11 Zoltek” karbonszálon „B” hőprogrammal készítve. A hosszú idejű 3. szakasz alatt a bevonatot képező gőz eláramlott az Ar-gázzal



7b ábra. Kis felületen fedő nem tiszta SiC bevonat a „X11 Zoltek” karbonszálon a „B” hőprogrammal készítve, azonban a közeli szálat összeköti a bevonat

A grafitlappal történt előkísérletek során kedvezőnek ítélt technológiát, amely a legjobb SiC réteget produkálta, karbonszálak esetére is alkalmaztuk. Az így kialakított SiC fedőréteg látható a 6 a-b ábrán („A” hőprogram). A bevonat eloszlása a szál teljes felületén meglehetősen inhomogén, viszont egyes helyeken (főleg a szálvégeken) a bevonat nagyon jól fedi a szálat. A bevonat inhomogenitásának több magyarázata lehet. Egyrészt elképzelhető, hogy a szénszára felvitt szuszpenziós bevonat még nem volt egyenletes, másrészt a grafitcsőben a hőmérséklet-eloszlás és az Ar-gáz áramlási eloszlása a transziens alatt inhomogén, és így a gőzfázisból történő bevonat leválasztódása inkább kedvez a gáztérbe nyúló szálvégeknek. A 7 a-b ábrán egy gyenge minőségű réteg látható a „B” hőprogrammal készítve.

Érdeemes megjegyezni, hogy míg a szénszál erősítésű, SiC mátrixú kerámiakompozitoknál az a megszokott,

hogy a SiC-fázis a szénszálak 20–100 darabos szálköteget vesznek körbe, addig a gyors hevítés módszerével kapott SiC (vagy Si-, illetve SiO₂-dal kevert) réteg, ahol keletkezett, ott a közeli elemi szálak közé is beépül, kötetést létesítve azok közt. Ez a jelenség még akkor is megfigyelhető volt, amikor a nem érintkező felületeken gyakorlatilag már nem keletkezett bevonat.

Oxigénállóság vizsgálata

Az oxigénállósági tulajdonság magas hőmérsékleten alkalmazott, illetve működő anyagok esetén mindenképpen fontos tényező. A karbonstruktúrákra jellemző, hogy igen magas hőmérsékleten is stabilak, de ezen tulajdonságukat levegőatmoszférán már viszonylag alacsony hőmérsékleten elvesztik, és megindul a degradáció. Az anyagnak ezt a tulajdonságát adott hőmérsékleten törté-

nő hőkezelés során a relatív súlycsökkenéssel jellemezhetjük és mérhetjük a legegyszerűbben az alábbi összefüggés szerint [9, 10]:

$$\text{Oxidációs fok (\%)} = \frac{\text{súlycsökkenés } (\Delta m)}{\text{eredeti súly } (m_0)} * 100\%$$

Ha a környező hőmérséklet meghaladja a 450 °C-ot oxigéndús atmoszférában (levegőn), a kompozit anyagok előállítása vagy használata során a bevonatlan karbonszálak oxidációja megindul. Szakítószilárdságuk kezdetben meredeken 10%-kal csökken a karbonszál 1%-os súlycsökkenése során. Ezért az oxigénállóság a karbonszálak esetén igen fontos, és a hőszokktűrő, szénszál erősítéses kompozit anyag előállításakor mindenképpen figyelembe kell venni [11]. A környező hőmérséklet emelkedésével a karbonszál oxidációja és így a struktúra detektálható relatív súlycsökkenése növekszik. A bevont szál oxidációja bármilyen hőmérsékleten alacsonyabb értéket mutat, mint a bevonatlan szálé, és ez a differencia magasabb hőmérsékleten még jobban kimutatható. (Azonban azt is figyelembe kell venni, hogy ha a bevonat tartalmaz tiszta Si-t, akkor az abból keletkező SiO₂ súlynövekedést ad.)

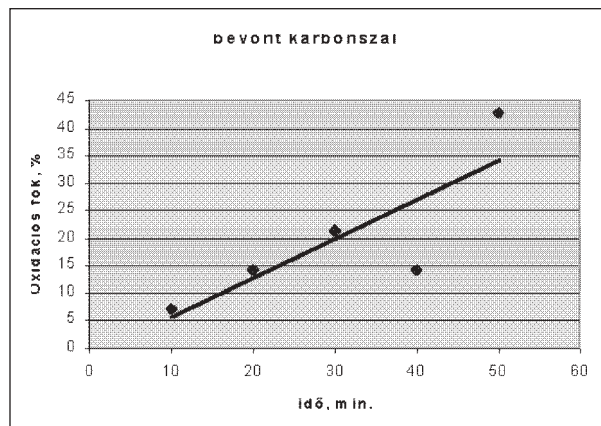
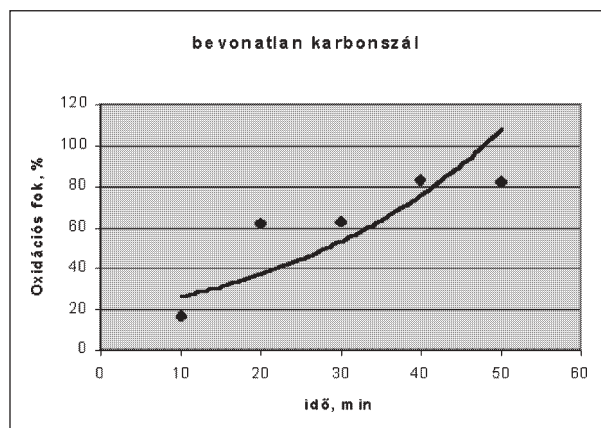
Bevont szálak esetén a karbonszál oxidációja csak akkor indul meg, ha a reagens gázok elérik a szénszál felületét úgy, hogy a mátrixon és a szál bevonatán, azok repedései mentén átdiffundálnak. A bevont szál degradációja viszonylag gyorsan beindul, ha a bevonat nem egyenletes, hibák találhatók benne [12, 13].

A százalékos súlycsökkenést bevonatlan és bevont szénszál esetén 550 °C-os oxidációs hőmérséklet mellett a 8. ábra mutatja. Az oxidáció levegőn 50 percen keresztül történt.

Köszönetnyilvánítás. Ezúton is szeretné az első szerző köszönetét kifejezni az MTA Bolyai János Ösztöndíj, valamint az M36330 és M041536-os OTKA műszerpályázatok támogatásáért.

Irodalom

- [1] *W. Krenkel, T. Henke:* Design of High Performance Brake Disc. Key Engineering Mat. 164-165, pp. 421-424. (1999).
- [2] *L. Cheng et. al.:* Effect of glass sealing on the oxidation behaviour of the three dimensional C/SiC composites in air. Carbon, 39, pp. 1127-1133. (2001).
- [3] *Sheehan J. E.:* Oxidation protection for carbon fibre composites. Carbon, 27 (5), pp. 709-715. (1989).
- [4] *Tajuya Aoki et. al.:* SiC/C multi-layered coating contributing to the antioxidation of C/C composites on the suppression of through-thickness cracks in the layer. Carbon, 39, pp. 1477-1483.
- [5] *B. Welz, M. Sperling:* Atomic Absorption Spectrometry, Wiley-VCH (1999).
- [6] *R. W. Cahn, P. Haasen, E. J. Kramer:* Materials Science and Technology, Structure and Properties of Ceramics, Vol. 11. VCH, pp. 180-207., 544-549.



8. ábra. SiC bevonattal ellátott és bevonatlan „X11 Zoltek” karbonszálak oxigénállósága az idő függvényében

- [7] *Samuel J. Schneider, Jr. Volume Charmain:* Engineered Materials Handbook, Ceramics and glasses, Vol. 4. ASM International, pp. 806-811.
- [8] *S. Band, F. Thévenot, C. Chatillon:* High temperature sintering of SiC with oxide additives... J. of European Ceramic Soc. pp. 9-18. (2003).
- [9] *S. Zhang, W. E. Lee:* Improving the water-wettability and oxidation resistance of graphite using Al₂O₃/SiO₂ sol-gel coatings. Journal of the European Ceramic Society, 23, pp. 1215-1221. (2003).
- [10] *T. Kachi, Y. Kato, N. Ushigome, N. Arai:* Evaluation of the coating layer formed on the substrate of C/C composite.
- [11] *Shuangjie Chu, Haowei Wang, Renjie Wu:* Investigation of the properties of carbon fibre with C-Si functionally graded coating. Surface and Coatings Technology 88, pp. 38-43. (1996).
- [12] *S. Labruque're, H. Blanchard, R. Pailler, R. Naslain:* Enhancement of the oxidation resistance of interfacial area in C/C composites. Part I: oxidation resistance of B-C, Si-B-C and Si-C coated carbon fibres. Journal of the European Ceramic Society 22, pp.1001-1009. (2002).
- [13] *S. Kluska, S. Jonas, E. Walasek, T. Stapinski, M. Pyzalski:* Influence of SiC infiltration on some properties of porous carbon materials. Journal of the European Ceramic Society 23, pp. 1509-1515. (2003).

Rendelje meg az „Építőanyag” folyóiratot!

Különleges üveg tartószerkezetek a magyar építőiparban

Pankhardt Kinga*

Témavezető: Józsa Zsuzsanna**

Bevezetés

Az elmúlt 20 év üvegyártásának, -megmunkálásának technológiai fejlődésére (pl. üveg edzése) vezethető vissza az üvegszerkezetek különleges alkalmazása. Ma már Magyarországon is lehetőség van nagyméretű, akár 2400×5200 mm síküveget edzeni. Az üveg teherbírása az edzés hatására megnő, így akár tartószerkezeti elemként is alkalmazható az építészetben (1. táblázat). Az edzésnek köszönhető az is, hogy az építészek által óhajtott szünetet szünet lehet megvalósítani a nagy üvegfelületek és a különleges rögzítésmódok jóvoltából.

Az üvegezés fejlődése a XX. században (rövid történeti áttekintés) [1]:

- 1905. Libbey–Owens-eljárással öntött üveg (2,5 széles üvegtábla, $v = 0,6-20$ mm).
- 1929. Egyrétegű biztonsági üveg – St. Gobain.
- Többretegű hőszigetelő üveg megjelenése.
- 1955. Síküvegyártás (float) – Alastair Pilkington-eljárással.
- 1974. Az üveg bevonása (napvédelem céljából).

Az építészetben egyre nagyobb teret hódít magának az üveg, s most már nemcsak az esztétikai igényeknek, hanem a mérnöki követelményeknek is egyre jobban megfelel [2].

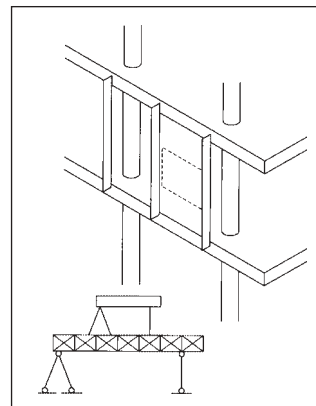
Az üveg tartószerkezetként való alkalmazását vizsgálva célszerű áttekinteni az üveg tartószerkezetként elfogalható helyét.

Az épület tartószerkezeti hierarchiája

A tartószerkezeti elemek első-, másod- és harmadrendű tartószerkezetekre bonthatók (1. ábra). Ezek kifejtése, értelmezése olvasható az alábbiakban.

Harmadrendű tartószerkezetek

A harmadrendű tartószerkezetek (pl. homlokzati üvegtáblák) veszik fel közvetlenül a terheket, de azokat „csak”



1. ábra. Az épület tartószerkezeti hierarchiája (első-, másod-, harmadrendű tartószerkezetek)[4]

közvetítik a másodlagos tartószerkezetre. Itt is találunk azonban olyanokat, amelyek pl. nagy méretük vagy rögzítéstechnikájuk miatt érdekesek.

Ilyen üvegszerkezet készült a jelenleg épülő Gresham-palota 6. emeleti uszodaablakához (2. ábra). Az üvegtáblának mind a mérete (2390×3563), mind a rögzítése (beépítése) a hagyományostól eltérő volt. Az üvegtáblák



2. ábra. Gresham-palota, az üvegtáblák beemelése

1. táblázat

Float és edzett üvegek tulajdonságainak összehasonlítása

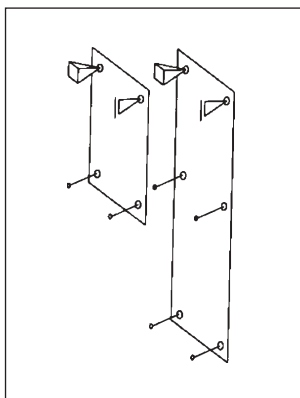
Anyag	ρ , kg/m ³	E, (kN/cm ²) $\times 10^3$	Nyomószilárdság, kN/cm ²	Húzószilárdság, kN/cm ²	Hajlítószilárdság, kN/cm ²	α_T (1/°C) $\times 10^{-6}$
Üveg, float	2500	7	70 - 90	3,5 - 4,0	1,5	9
Üveg, edzett	2500	7	70 - 90	12 - 17	5	9

* okl. építőmérnök, Glasmetal Kft.; BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

** egyetemi docens, BME Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék

hőszigetelő kivitelűek, rögzítésük pontmegfogással kombinált élmenti rögzítés. A szélszívás ellen süllyesztett pontmegfogó szerelvény biztosítja az üvegeket. Az üvegtábla az önsúlyát és a szélnyomásból származó terheket a rejtett peremszerkezetre közvetíti.

A munkák során több pontmegfogással rögzített üvegszerkezetet méreteztem SZEGO pontmegfogásos rendszert használva. Mivel a pontonkénti üvegrögzítés nagyobb lokális feszültségeket ébreszt az üvegtáblában, így ilyen esetben kizárólag edzett üveg alkalmazható. A pontonkénti rögzítésmód többféle lehet. Két fő módszere: a furatlyukon át rozsdamentes szerelvényrel történő rögzítés, illetve a súrlódásos-szorításos kapcsolati kialakítás, mely megjelenésében takaróelemes vagy síkban fekvő lehet (3. ábra).



3. ábra. Pontmegfogásos, furatlyukon át történő üvegrögzítés tartószerkezeti váza [4]

A pontmegfogásos kialakítás az üvegszerkezeteknek az a speciális csoportja, ahol az üvegtáblák különleges igénybevételnek vannak kitéve.

A rendszer három fő szerkezeti elemből áll:

- edzett üvegtáblákból,
- rozsdamentes acél pontmegfogó szerelvényekből,
- a fő tartószerkezetből.

Az üvegtáblák

Az üvegtáblák tulajdonságát, méretét, felépítését és a pontmegfogások számát a velük szemben támasztott fizikai (statikai, hőátbocsátási, hangszigetelési) és esztétikai (fényáteresztési, színvisszaadási, koncepcionális) követelmények döntik el. A rendszer hőszigetelő üvegtáblákhoz is alkalmazható.

A pontmegfogó szerelvények

A szerelvények feladata kettős. Egyrészt megtartják az üvegtáblákat a tartószerkezeten, másrészt lehetővé teszik azok elmozdulását, mivel az időjárás (hőtágulás) vagy a teherhordó szerkezet mozgása következtében fellépő deformációkat kompenzálni kell (4. ábra).

Az itt bemutatott épületeken keresztül szeretném il-



4. ábra. SZEGO pontmegfogó szerelvény merevebb "csillag alakú" típusa

lusztrálni, hogy a rendszer szerelvényeinek kialakítása függ a terhelés nagyságától, a tartószerkezet fajtájától, és alkalmazkodik az építész elképzeléséhez (5–7. ábra).



5. ábra. Egyedi, az építész elképzelései szerint kialakított, I tartókra hegesztett, acélkarokra is szerelhető pontmegfogás. Az Újpest Irodapark Tél utcai épületén a legnagyobb üvegtáblák 1,2 × 4,0 m-esek, melyeket hat belső ponton rögzítettünk (200–420 mm a tábla szélétől). Üveg: a tető 8/12/2x6, a falak 8/12/8 Sunguard Clear napvédő üvegezéssel készültek



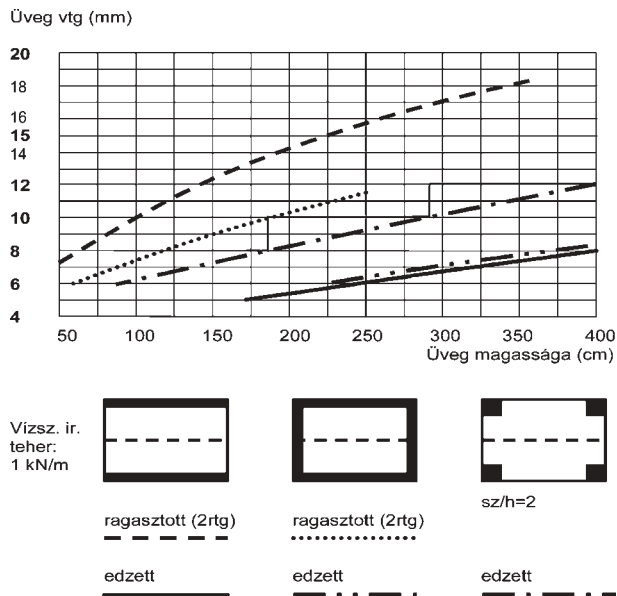
6. ábra. Egyrétegű üveg került az újpesti MEO Galéria hidjaira, így itt kisebb és vékonyabb acélból készült karokat hegeszthettek a csőkeretekre. Üveg: 10 mm vastag



7. ábra. A SZEGO 3000-es beltéri szerelvénycsalád elemeinek segítségével épült meg a Pest Megyei Főügyészség VI., Vörösmarty utca 34/a alatti épületének új portásfülkéje. A műemlék házban az üveg dobozszerkezet világosan jelöli a mai kiegészítést. Üveg: 10 mm, a tető föliázott

A tartószerkezet

A rendszer mind beltéri, mind kültéri alkalmazásokhoz megfelelő, használható függőleges és ferde homlokzati falakhoz, valamint tetők kialakításához. Kisebb önsúlyú üvegtáblák (például beltéri alkalmazások) esetén maguk az üvegtáblák is elsőrendű tartószerkezetté léphetnek elő. Ekkor a táblák közötti teherátadó kapcsolatot a pontmegfogó szerelvények biztosítják. A 8. ábrán látható, miként függ az üvegvastagság a megtámasztástól, továbbá hogy pontszerű megtámasztás esetén edzett üveg javasolt.



8. ábra. Üvegvastagság kiválasztása ragasztott, ill. edzett üvegből különböző megtámasztásokhoz vízszintes, 1kN/m vonal menti teherre, függőleges üvegtábla esetén (mellvédek, kirakatüvegek stb.)[5]

Másodrendű tartószerkezetek

Azok a szerkezetek tekinthetők másodrendűnek, amelyek nemcsak közvetítik a terheket, hanem részben viselik, és átadják az őket megtámasztó elsőrendű tartószerkezetre. Tönkremenetelük nem veszélyezteti az épület teherhordó szerkezetének stabilitását.

Itt részben megemlíthetők maguk a pontmegfogásos szerelvények, hiszen azok is méretezendők minden esetben, főként, ha különleges rendeltetésről van szó.

A pontmegfogó szerelvényre több teher jut, ha az üveghez csatlakozik annak érdekében, hogy az üvegben ébredő kényszererőket kivezesse és átadja a teherviselő tartószerkezetre.

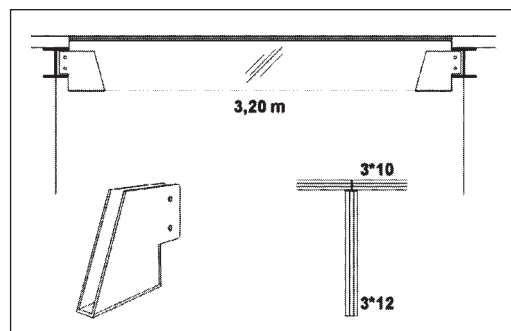
Idesorolhatók még a járható üvegfödémek üveg járólapjai, mert azok az alátámasztás kiosztásától függően viselnek több-kevesebb terhet és szintén méretezendők.

Példának említhető a Sándor-palota járható (7,2 × 3,1 m) üvegfödéme, amely alatt egy középkori ciszterna maradványait és a környező romokat kívánták a közönség elé tárni (9-10. ábra).

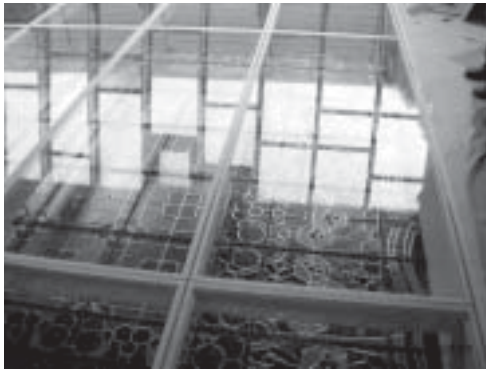


9. ábra. Sándor-palota, üveggerenda

Az üvegnek a legjellemzőbb tulajdonságát, a transzparenciát kihasználva sok mindent láthatóvá tudunk tenni, ill. látni engedhetünk. Építésetileg remek lehetőséget nyújt pl. régi romok, műemlékek bemutatására és egyben



10. ábra. A Sándor-palota járható üvegfödéme



11. ábra. Járható üvegfödém (Kossuth- és Andrassy-udvar, 5. em.)

megóvására. Ebből a célból épült meg egy 20 m² felületű járható üvegfödém az esztergomi királyi várban az első várfalak bemutatására 1998-ban. A szombathelyi Fő téren, az OTP-fiók közönségforgalmi terében egy 7,2 x 3,6 m méretű járható üvegfödém készült az épület alatt húzó-dó római kori borostyánút bemutatására 1999-ben. Jelenleg épül a Gresham-palotában 2 db ~ 20 m² felületű járható üvegfödém, továbbá egy kábellel aláfeszített üvegpáncs járható kötéllíd (feszítáv: 10 m). Mindkét esetben acél az elsődleges és üveg a másodlagos tartószerkezet (11-12. ábra).



12. ábra. Üveg járófelületű kötéllíd (Gresham-híd, 5. em.)

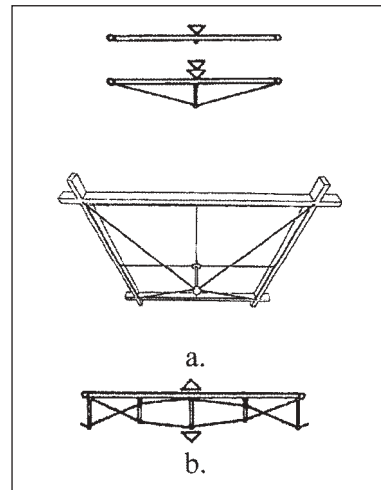
A járható üvegfödém fő elemei általában:

- az üvegfödém,
- az üvegezést tartó teherhordó üveggerendák,
- a csatlakozó szerkezeti elemek, pl. „acélpapucskok”, amelyek segítségével az üveggerenda a peremszerkezethez csatlakozik.

Az üvegfödém: biztonsági üvegezéssel készül (több-rétegű ragasztott, edzett üvegből), felületén lehet csúszásmentesítve homokszórt mintával, ill. savmaratva.

Az üveggerenda: biztonsági üvegezéssel készül (több-rétegű ragasztott, edzett üvegből).

A papucselem: lehet rozsdamentes vagy tűzi horganyzott, festett a tűzvédelmi előírásoknak megfelelően. A papucselem megfelelő felfekvést biztosítson az üveggerenda számára. A fém és az üveg közötti közvetlen érintkezést itt is műanyag alátétek gátolják. Általában csavarozással rögzíthető a peremszerkezethez.



13. ábra. Kötéllal aláfeszített járófelület megoldásai

Az üvegfödémek a tartószerkezeti kialakításukat tekintve lehetnek „hagyományosak”, azaz födém-gerenda kiosztásúak és modern, filigrán kötélszerkezettel aláfeszítettek. Ma még leginkább hagyományos kialakítással találkozhatunk, azonban a modern törekvések egyre inkább a filigránabb tartószerkezetek felé mutatnak.

Az üvegfödém önmagában is szinte teljesen áttetsző felületet biztosít, de az üveg vastagsága miatt anyagának jellemző zöldes színe dominálhat.

A modern, kötéllel aláfeszített üvegfödémek típuspéldái.

Az aláfeszítő szerkezet az üvegtáblát a peremszerkezetek között támasztja alá. Az üvegtábla a rövidebb oldalain a tartószerkezetre fekszik fel, és a közepén, ill. a két szélén van alátámasztva kötélszerkezettel. Az aláfeszítő szerkezet elhelyezése a helyszíni beépítéskor történhet. A kötélszerkezetet tartó fül elhelyezhető az acél peremszerkezeten, ill. pontmegfogással az üvegtábla szélein.

Az üvegtábla csak a közepén van alátámasztva, és a kötélszerkezet a peremszerkezethez rögzített a tábla 4 sarkának környezetében, ill. pontmegfogással az üvegtábla szélein (13a ábra).

Nagyobb feszítávok esetében indokolt lehet több kötélsor vezetése (13b ábra).

Az aláfeszítő szerkezet több táblát támaszt alá, az így kialakult szerkezet egyszerűen az épület teherhordó szerkezetén kialakított peremszerkezetre felültehető (14. ábra) [2].



14. ábra. Járható üvegfödém látványterve

A járható üvegfelület jellemzői:

- többretegű ragasztott edzett üvegezés;
- a felső réteg a „kopó” réteg, a teherbírásba nem számítható bele (a felületi sérülések nagyobb esélye miatt),
- $v = 30\text{--}37$ mm, felépítés: min. 3 réteg;
- pl. 1×1 m, 3×10 mm üvegtábla súlya: 75 kg.

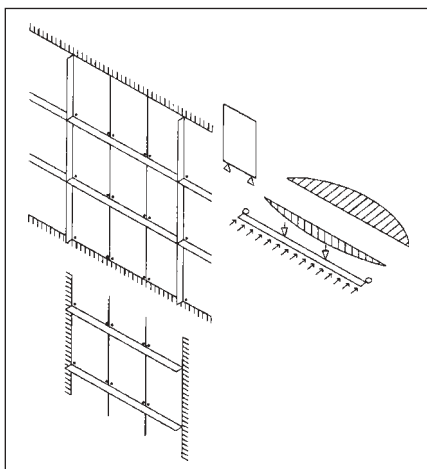
Az adatok tájékoztató jellegűek, minden teherhordó üvegtábla statikailag méretezendő.

A fent említett példákkal lehet érzékeltetni az üveg mint teherhordó szerkezet néhány lehetséges kialakítását. Minden esetben az edzett, biztonsági üveg megjelenése tette lehetségessé az üveg szilárdsági tulajdonságának merészebb kihasználását.

Elsőrendű tartószerkezetek

Az elsőrendű tartószerkezetek az építmény terheit és az azokat ért hatásokat viselik, s az egész építmény stabilitásáért felelősek (15. ábra).

Üvegből is kialakítható elsőrendű tartószerkezet. Ebben az esetben ma már nem is annyira az üveg, hanem a



15. ábra. Oszlop-gerenda kapcsolat [4]



16. ábra. Külföldi példa: üvegoszlop toldása

nagyobb méretek miatti üvegtoldások, kapcsolatok jelentik a nehézséget. Elsőrendű tartószerkezetként (mint pl. üveggerendák, üvegoszlopok) való alkalmazásában külföldön nagyobb a gyakorlat (16. ábra). Az üveg ilyen jellegű felhasználása sok esetben kísérleteken alapszik az előírások hiánya és a feladat sajátosságai miatt.

Az üvegre jellemző rideg anyagviselkedés miatt azonban ma még nagy a bizalmatlanság a merészebb szerkezetek kialakításával szemben. Mivel az üvegnek egy réteg esetében nincs teherbírasi tartalék, így a többretegű biztonsági üveg jelent részben megoldási lehetőséget. Csak azért részben, mert a teherbírasi tartalék igazolása számításokkal ma még nehezen végezhető el, vagy csak közelítőleg történhet, egységes módszer nincs rá. A gyakorlatban néhol megoldást jelentett a többretegű edzett üvegtáblák esetében, hogy – az esetleges töréskor a tábla ne hulljon szét apró szilánkokra – a fóliás védelem mellett valamely réteget hőkezelt üvegből kellett kialakítani, és az így közvetve a maradó teherbírásra hatott (a hőkezelt üvegnek más a törésképe, mint az edzettnek). A maradó teherbírás javítása érdekében az üveget járulékos elemekkel, pl. acélkötéssel erősítik, mely számítása nem jelent nehézséget (korábban a drótüvegnél is ezt a szerepet töltötte be a drótháló). Amikor az üvegszerkezet több elem kapcsolódásával épült fel, a kapcsolatok kialakítása miatt jobb kísérlettel modellezni a szerkezetet, hogy a reális viselkedést le lehessen írni. A 17-18. ábrák illusztrálják az üveg furatlyuk-teherbírásának vizsgálatát a BME Építőanyagok Tanszékén.



17-18. ábra. Furatlyukon terhelt edzett üveg húzási kísérlete (BME Építőanyagok Tanszék, Salem G. Nehem tudományos munkatárs vezetésével)

Tervezési paraméterek

Fontos legalább tájékoztató adatok szintjén kitérni az üvegek tervezési paramétereire, azaz mit kell figyelembe venni az üvegszerkezet tervezésénél. Ez az elsődleges lépés gyakran elkerüli a tervezők figyelmét, mikor egy épület „arculatát” tervezik. Azért fontos, mert az építészek

Üvegfajták és előírásai

Megnevezés	Német előírások	EN-előírások
Síküvegek	DIN 1249-3	DIN EN 572-2
Öntött üvegek	DIN 1249-4	DIN EN 572-5
Drótüvegek	DIN 1249-4	DIN EN 572-6
(ESG) egyrétegű edzett üveg	DIN 1249-12	prEN 12150
(VSG) többrétegű biztonsági üveg	Nincs szabályozva	DIN EN ISO 12543
Többrétegű üvegek	Nincs szabályozva	DIN EN ISO 12543
Hőkezelt üvegek	Nincs szabályozva	prEN 1863
Vegyrel edzett üvegek	Nincs szabályozva	prEN 12337
Betörésvédelmi üvegek	DIN 52290	prEN 356 prEN 1063
Hőszigetelő üvegek	DIN 1286	prEN 1279

egyre nagyobb méretű üvegszerkezeteket terveznek, amit az üvegyárak, ill. üvegmegmunkálók itthon csak nehezen tudnak követni. 2003-tól azonban újabb edzőkemen-cét helyeztek üzembe, ami már nagyméretű (2400×5200 mm) síküvegek edzésére képes, és ezzel kiszélesedett a hazai edzett üvegek méretskálája. A magyar építőművészetben az ilyen nagyléptékű üvegszerkezetek tényleges megvalósításának sok esetben gátja volt a drága import-üveg, mert a beruházók nem minden esetben vállalták a különleges üvegszerkezetek költségeit.

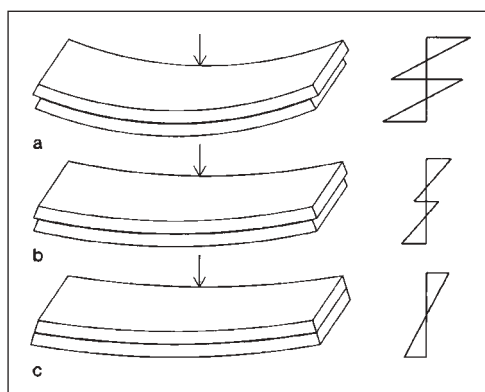
Tervezési paraméterek:

- float üvegek: $v = 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24$ mm; táblaméret: 3210 × 6000 mm (Jumbo);
- edzett üvegek: Magyarországon: 2080 × 3800 mm; 4 m felett 2003-tól: 2400×5200 mm (Rákossy Üvegipari Vállalkozás); Európában: 2440 × 5600 mm.

Az épület tartószerkezeti hierarchiáját végigtekintve látható, hogy a különböző rendeltetésű üvegek megfelelő szaktervezés és méretezés után kerülhetnek csak kivitelezésre. Az üvegszerkezetek méretezése alapján kiderül, hogy sokszor statikai vagy biztonsági okokból nem kerülhet egyrétegű üveg beépítésre.

Az üvegszerkezetek méretezése a szaktervezőre van bízva, akinek a magyar előírások hiánya miatt a külföldi előírásokra kell támaszkodnia. Sok esetben azonban a külföldi előírások is hiányosak (2-3. táblázat), így a szakcégek általában a saját tapasztalataik és fejlesztéseik alapján oldják meg a problémákat.

Szó volt arról, hogy egyrétegű üvegből ritkán építenek szerkezetet, az egyrétegű üveg inkább harmadrendű szerkezeti elemként kerül kialakításra, ahol biztonsági szempontból nem szükséges több réteg alkalmazása (19. ábra). Ahol a személyi biztonságot veszélyeztetné (pl. fej feletti üvegezések), ott, ha statikailag nem is indokolt, többrétegű üvegtáblát kell alkalmazni, pl. a hőszigetelő üvegtábla alsó üvege ragasztott edzett üveg legyen. A ragasztás történhet műgyantával vagy PVB (polivinilbutiral) fóliával. Nálunk még nem lehetséges nagyméretű (építőipari és nem autóipari alkalmazásra) sík- vagy hajlított edzett biztonsá-



19. ábra. a) egymásra helyezett üveglapok;
b) rugalmasan egymáshoz ragasztott biztonsági üveg;
c) mereven egymáshoz kapcsolt üvegek vagy monolit üveglap[4]

Alkalmazási területek

Megnevezés	Német előírások	EN-előírások
Üvegezési rendszerek	DIN 18545 DIN 18361	prEN 12488
Zajszigetelés	DIN 4109	prEN 12758
Ragasztott teherhordó üvegszerkezetek	Nincs szabályozva	prEN 13022

gi üveget fóliával laminálni.

Zárszó

Az említett nehézségek ellenére sok színvonalas terv valósult meg Magyarországon. Jelen cikkben csak néhány került ismertetésre. A cikk fő célja az volt, hogy bemutassa azt a tendenciát, ami az üveg tartószerkezetek hazai alkalmazásának területeit érinti. Továbbá szót kellett ejteni a magyar üvegfeldolgozás hiányairól. Ezen korlátok miatt gyakran kénytelenek a kivitelezők importüveget alkalmazni, pedig az építészeti igények ilyen irányban is egyre nagyobb léptéket öltenek (pl. spirális lépcső orsóterének mellvédjei hajlított edzett üvegből vagy speciális rögzítéssel). Nem esett szó a különleges rendeltetésű, pl. tűzálló, betörésvédelmi stb. üvegekről, melyek ismertetése külön bemutatást igényelne.

A cikkben felsorolt példák tartószerkezeti méretezését, helyszíni műszaki ellenőrzését mind az üvegre, mind az acélszerkezetekre és járulékos szerkezetekre vonatkozólag a Glasmetal Kft. munkatársaként végeztem.

Irodalom

- [1] Pankhardt Kinga: Az üveg tartórendszerek fejlődése. Alaprajz 5. sz. 2000. 14–18.
- [2] Dr. Széll Mária: Transzparens épületszerkezetek. Szerényi és Gázsó Bt., Pécs, 2001. 115.
- [3] Pankhardt Kinga–Gordon Pál: Járható üvegfödémek Magyarországon. Interglass, 2002. II. évf. 1. sz. 8.
- [4] Schüttich: Glass construction manual, Birkhauser Verlag, 1999. 90.
- [5] Das Glas-Handbuch 1995, Flachglass AG Pilkington, 225–227.

Üvegolvasztó kádak boltozatának hatékony hőszigetelése „LUBISOL komplett csomag” alkalmazásával és az így elérhető energiamegtakarítás

S. Lutskanov professzor, LUBISOL Engineering Co.
Fehérvári Lászlóné, Aquarius & Lion Kft.

Lubisol technológiák és anyagok fő felhasználási területei

1. Szilikaboltozatok hermetikus tömítése.
2. Hőtágulási fugák hermetikus tömítése.
3. Szilikaboltozatok hibáinak javítása.
4. Komplett hőszigetelési rendszer:
szilikaboltozatra, egyéb kádrészekre.
5. Nem szilika kádrészek hermetikus tömítése és javítása.
6. AZS fenéklapok beágyazása.

Fentiek közül a szilikaboltozatok hatékony hőszigetelését mutatjuk be részletesen, melynek elengedhetetlen része a boltozat hermetikus tömítése.

Bevezetés

A legtöbb üvegyárban gyakorlat, hogy a kádak hőszigetelésével csökkentik a kádak hőveszteségét. A kádak boltozata nagy felületet jelent, ezért a boltozat hőszigetelése komoly energiamegtakarítást eredményez.

A világszerte elterjedt gyakorlat és az általánosan alkalmazott hőszigetelési módszerek segítségével a főboltozati hőveszteséget a több mint 5000 W/m² értékről 1750-2500 W/m² értékre lehet csökkenteni. A vezető üvegyáraknál új trend alakult ki: a boltozatot maximális hatékonysággal szigetelik.

Az alkalmazott hőszigetelés optimalizálásánál figyelembe kell venni a hőszigetelés költsége és a hőszigeteléssel megtakarítható energia költsége közötti viszonyt. Az elméleti számítások és a megfigyelések azt mutatják, hogy a hatékony és optimális hőszigetelés határa 900-1000 W/m² érték körüli boltozati hőveszteségnél van. A hőszigetelés további növelése már nem eredményez jelentős hőveszteség-csökkenést és fűtőanyag-megtakarítást.

Jelen cikk célja az üvegyárakat meggyőzni arról, hogy a minden szempontból leghatékonyabb hőszigetelést alkalmazzák a szilikaboltozatokon, kihasználva a LUBISOL Engineering Co. pozitív tapasztalatait és know-how-ját. Ez a know-how magában foglalja a szilikaboltozatok hermetikus tömítésére kifejlesztett új eljárást: a **hideg kémiai hegesztést**.

Konzervatív tradíciók

A szilikaboltozatok hatékony hőszigetelésének elterjedését legnagyobb mértékben az üvegyárakban világszerte igen elterjedt konzervatív tradíció akadályozza. Az uralkodó nézet szerint a hatékony boltozati hőszigetelés nagyobb korróziót okoz, és a szilikaboltozat átllyukadhat. A tapasztalat az, hogy a szilikaboltozat átllyukadása visszatérő probléma majdnem minden üvegyárban – beleértve a vezető gyárakat is –, függetlenül a műszaki fejlődéstől és a boltozaton alkalmazott/vagy nem alkalmazott hőszigeteléstől.

A megfigyelések szerint – függetlenül attól, hogy milyen fókú hőszigetelést alkalmaztak egy kád szilikaboltozatán – akkor alakulhat ki átllyukadás, ha a boltozatot nem sikerül teljesen légzáróan megépíteni. Márpedig az esetek döntő többségében nem sikerül. Közismert, hogy a hermetikusan tömített boltozat megépítése több okból is rendkívül bonyolult feladat:

- a) a szilikatéglák minősége még a legnevesebb gyártók esetében sem tökéletes, a mérettűrés nagy;
- b) a szilikamasszák nem mindig kifogástalan minősége és kenhetősége az építési pontatlanságokkal együtt nyitott fugákat okozhat;
- c) a felfűtés során repedések alakulhatnak ki a boltozaton... stb.

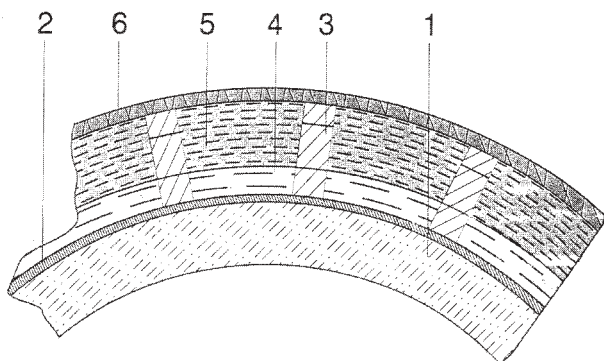
Köztudott, hogy ahol a legkisebb rést megtalálja a füstgáz, ott csak idő és szerencse kérdése, hogy mikor és milyen mértékű átllyukadás alakul ki. A szakirodalomból ismert, hogy az átllyukadás oka a nyitott fugákon vagy repedéseken kiáramló füstgáz kondenzációja következtében elinduló és öngerjesztő korróziós folyamat.

Mint az előzőekben láttuk, a legjobb minőségű szilikatéglák és -masszák alkalmazása, a leggondosabb építés és a legprecízebb felfűtés sem jelent garanciát a boltozat átllyukadása ellen.

Nincs megoldás? Mai ismereteink szerint csak úgy tudjuk megelőzni az átllyukadást, ha a kiváltó okot szüntetjük meg, azaz olyan hermetikus tömítést alkalmazunk a boltozaton, amely biztosítja, hogy a füstgázok ne tudjanak átjutni a szinte törvénytörően kialakuló nyitott fugákon és repedéseken.

A LUBISOL komplett hőszigetelési technológia

A LUBISOL komplett hőszigetelési csomag (1. ábra) a rendkívül nagy hatásfokú hőszigetelés mellett magában foglalja a boltzatra közvetlenül alkalmazandó **hermetikus tömítést** is. Erre a célra fejlesztette ki a LUBISOL az egyedülálló tulajdonságokkal rendelkező **LUBISOL Si-Seal** légzáró masszát. A LUBISOL Si-Seal massa kémiai összetétele nagyon hasonló a szilikatéglához, hőtágulása pedig megegyezik vele. Közvetlenül a szilikaboltzatra alkalmazva, mindössze 15 mm vastagságban, megakadályozza a forró füstgázok átjutását a boltzati téglák között, megelőzve ezzel a korróziót és az átlukadások kialakulását. A Si-Seal massa nagyon erős, tartós kötést hoz létre a szilikával 1620 °C hőmérsékletig. Ennek az egyedülálló tömítési technológiának az eredménye, hogy nagyon erős és tartós **vegyi** kötés alakul ki a szilikaboltzaton. A folyamatot találóan nevezték el **hideg kémiai hegesztésnek**.



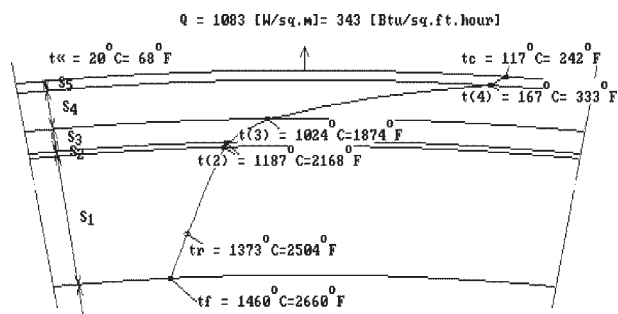
1. ábra

1. szilikaboltzat, 2. LUBISOL Si-Seal massa, 3. könnyű szilikatégla, 4. LUBISOL #1, 5. LUBISOL #2-SL, 6. LUBISOL #3

A LUBISOL hőszigetelési csomag tartalmaz továbbá egy réteg **LUBISOL-#1-P** monolitikus hőszigetelő masszát, egy réteg **LUBISOL-#2-SL** monolitikus hőszigetelő masszát, valamint 1 réteg **LUBISOL-#3** fedő masszát.

A LUBISOL hőszigetelés legnagyobb előnye a **minimális fajsúly**, valamint a nagyon alacsony hővezető képességnek köszönhető **magas hatásfokú hőszigetelés**. A LUBISOL-#2-SL (Super Light = szuperkönnyű) **fajsúlyja 500 °C-on kiegészítve** mindössze **0,3 g/cm³**, a hővezető képessége 0.075 W/(m·K). Ez nagyban hozzájárul ahhoz, hogy a szükséges rétegvastagság és a boltzat terhelése jelentősen csökkenthető.

A hatékony boltzatszigetelés az üveglasztási technológiára is igen jó hatással van. A jól szigetelt boltzat nagy mennyiségű hőt tárol, így a kádon belüli hőmérséklet-ingadozás lehetőségét és mértékét csökkenti. Ennek eredményeként az üveg homogenitása és az olvasztott üveg minősége javul.



2. ábra

S1 = 375 mm szilikatégla, S2 = 15 mm LUBISOL Si-Seal tömítés, S3 = 64 mm LUBISOL-#1P hőszigetelés, S4 = 114 mm LUBISOL-#2-SL hőszigetelés, S5 = 30 mm LUBISOL-#3 fedőréteg

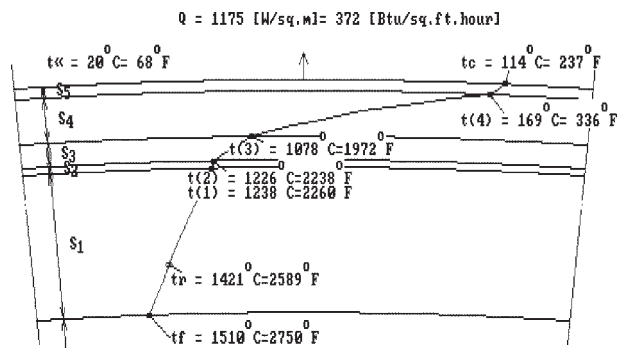
Elérhető energiamegtakarítás

A következőkben két, Magyarországon ténylegesen működő üveglasztó kádra vonatkozóan mutatjuk be a leírt módszer alkalmazásával elérhető boltzati hőveszteség-csökkenést és energiamegtakarítást:

A 2. ábrán bemutatott kád boltzati hőszigetelés nélkül működik. A kád boltzatának melegoldali hőmérséklete 1460 °C, hidegoldali hőmérséklete 272 °C, a boltzati hőveszteség 5784 W/m². A LUBISOL hőszigetelés alkalmazásával a változatlan melegoldali hőmérséklet mellett a hidegoldali hőmérséklet 117 °C-ra csökken, és a hőveszteség mindössze 1083 W/m².

Ahogy az adatok bizonyítják, a LUBISOL által ajánlott hermetikus tömítés és hatékony hőszigetelés alkalmazásával a **boltzati hőveszteség több, mint 80%-kal csökken, a földgáz-megtakarítás pedig 7046 m³/m²/év.**

A beruházás megtérülési ideje kevesebb, mint 1 év. A 3. ábrán szereplő boltzat adatai: 380 mm szilikatégla, szigetelés: 3 x 65 mm könnyű szilika + 50 mm kerámiaszál paplan. Melegoldali hőmérséklet 1510 °C, hidegoldali hőmérséklet 152 °C, a boltzati hőveszteség 2024 W/m². A LUBISOL hőszigetelés alkalmazásával a válto-



3. ábra

S1 = 380 mm szilikatégla, S2 = 15 mm LUBISOL Si-Seal tömítés, S3 = 64 mm LUBISOL-#1P hőszigetelés, S4 = 115 mm LUBISOL-#2-SL hőszigetelés, S5 = 30 mm LUBISOL-#3 fedő réteg

zatlan melegoldali hőmérséklet mellett a hidegoldali hőmérséklet 114 °C-ra csökken, és a hőveszteség mindössze 1175 W/m².

Amennyiben az itt bemutatott kád jelenlegi boltozati hőszigetelését a LUBISOL komplett csomagra (hermetikus tömítés + hatékony boltozati hőszigetelés) váltanák, **a boltozati hőveszteség 42%-kal csökkenne, a földgáz-megtakarítás 1272 m³/m²/év lenne.**

Gyakorlati eredmények

A LUBISOL komplett hőszigetelési csomagjával már számos üveggyár ért el jelentős energiamegtakarítást. A gyakorlati tapasztalatok bizonyítják, hogy a hatékony boltozati hőszigetelés sehol sem okozott növekvő korróziót, mert a boltozat melegoldali hőmérséklete nem növekszik, csak a felhasznált tüzelőanyag mennyisége csökken. A kisebb energiafelhasználás kevesebb károsanyag-kibocsátást eredményez, és ezzel hozzájárul a környezet védelméhez.

A LUBISOL komplett csomag a legjobb ötvözetű hermetikus boltozattömítésnek és a hatékony hőszigetelésnek, s mindez nagyon kedvező, versenyképes árakkal párosul.

Következtetések

1. A LUBISOL Engineering Co. rendkívül hatékony hőszigetelési csomagot fejlesztett ki, amelyben a kondenzációs korrózió és a boltozat-átlukadási problémák megoldására egy forradalmian új, hermetikusan tömítő réteget alkalmaznak az egyszerű **hideg kémiai hegesztés** módszerével. Ez a speciális légzáró tömítés megakadályozza a forró gázok átjutását a szilikaboltozati téglák között, megelőzve így a kondenzációs korróziót.

2. Célszerű a hatékony hőszigetelés alkalmazása minden üveglasztó kádon, csökkentve a fűtőanyag költsé-

gét és kedvező hatást kifejtve az egész olvasztási folyamatra. A szilikaboltozat 1200 W/m² értéknél magasabb hővesztesége valójában felesleges energiapazarlásnak tekinthető.

3. Bármely működő kád szilikaboltozatának hőszigetelése feljavítható a LUBISOL komplett hőszigetelési csomag alkalmazásával (Si-Seal + hőszigetelés), lecsökkentve a hőveszteséget 1000-1200 W/m² értékre.

4. A hatékony hőszigetelés nem okoz erősebb korróziót a boltozaton.

5. Minden szilikaboltozaton javasolt a hermetikus tömítés alkalmazása, mert a LUBISOL Engineering Co. **hideg kémiai hegesztés** technológiájával megelőzhető a boltozat korróziója és átlukadása, meghosszabbítható a boltozat élettartama.

6. A boltozati hőszigetelés hatékonyságának javításával az üveglasztás teljes fűtőanyagköltsége 1-1,5%-kal csökkenthető a hagyományos hőszigeteléshez képest, míg az olyan kádnál, ahol nem alkalmaztak korábban hőszigetelést, a LUBISOL hőszigetelés alkalmazásával az energiamegtakarítás elérheti a 4,5%-ot.

7. A LUBISOL hőszigetelő anyagok ára kedvező, ezért alkalmazásuk nem igényel nagyobb beruházást, mint a hagyományos szigetelőanyagok beépítése. A rendkívül jó hatásfoknak köszönhetően a megtérülés igen gyors – átlagosan kevesebb, mint 1 év.

További információk:

LUBISOL ENGINEERING Co.

Mladost-1, P.O.Box 99, Sofia 1784, Bulgaria
Fax: +359 2 9753 291; e-mail: lubisol@ttm.bg
http://www.lubisol@ttm.bg
Magyarországi kizárólagos képviselő:

AQUARIUS & LION KFT.

1141 Budapest, Szilágysomlyó u. 44/a. Tel.: 221-7659,
fax: 220-9587, e-mail: aandl@netquick.hu

A Magyar Termék Nagydíj díjátadó ünnepe

Bp., 2003. szeptember, Hotel Stadion

A pályázatot az idén hatodszor írta ki az Industorg Bt., a KERMI Kft., a Fogyasztóvédelmi Főfelügyelőség, a MEHIB Rt. és az EXIMBANK Rt. A pályázat a hazai és a nemzetközi piacon versenyképes, kiemelkedő minőségű magyar termékek előállításának ösztönzésére, piacra jutásuk elősegítésére került meghirdetésre. A pályázaton a kiírásnak megfelelő, sorozatgyártásra alkalmas, Magyarországon készült késztermékekkel lehetett részt venni.

A díjátadáson a gazdasági élet és a médiák több száz képviselője örülhetett a magyar ipar újabb sikereinek. A zsűri 44 pályázatból 14-nek ítélte oda a „Magyar Termék Nagydíjat” és 30 termék érdemesült Elismerő Oklevélre.

Magyar Termék Nagydíjat kapott többek között a **Hollóházi Porcelángyár Rt.** (Centenárium-kollekció), a **TERC Kft.** (Építőipari vállalkozói programrendszerek), a **Wienerberger Rt.** (Porotherm építési rendszerek).

Elismerő Oklevélben részesült többek között a **SALGGLAS Rt.** („Üveg az üvegben” anyagában színezett, szitázott biztonsági járműüveg), a **Lampart Kft.** (GÁLA egyedi gázfűtő készülékek), a **DUNAFERR Lemezalakító Kft.** (Dunaferr Plusz és DUNAFERR Lux csóradiátorok és lapradiátorok).

Az elismerésekhez gratulálunk!

Vályogfalazatok és nyomószilárdsági vizsgálatai

Csicsely Ágnes*

Témavezetők: Józsa Zsuzsanna,** Sajtos István***

1. Bevezetés

A vályog- és földépítés egyike a legősibb építési technológiáknak. Az évezredek során kialakult építési módszerek nagyrészt a tapasztalatok útján fejlődtek. A XIX. század végén jelentkezett az a valós igény, amely ennek az anyagnak a kutatását tűzte ki céljául. Szándékomban áll ezeket a kutatásokat továbbvinni, az agyagban rejlő lehetőségeket feltárni. Az irodalomfeldolgozás során egyrészt a vályog- és földépítéssel építéstörténetét gyűjtöttem össze, másrészt a kutatások történetét, a vizsgálatok eredményeit tártam fel. E cikk keretében az építészettörténetből vett hazai vonatkozású szemelvényeket, melyhez *Istvánfi* (1997) és *Dám* (1992) tankönyvei szolgáltak alapul, valamint a laboratóriumi kísérletek tapasztalatait mutatom be.

A föld- és vályogépítés két eltérő építéstechnológia megkülönböztetése. A földépítés során a természetben található formában használják fel az építési anyagot, míg a vályogépítésben a természetben előforduló agyaghoz különböző szerves, főképp szálas anyagokat kevernek (pl. szalma, törek, nád, fűrészpor) annak érdekében, hogy az anyag hőtechnikai, húzószilárdsági, állékonysági tulajdonságait kedvezően befolyásolják.

Magyarországon az épületek több mint 25%-a föld- és vályogfalú (*Szűcs*, 2002), mégis ez az építésmód feledésbe merült az idők folyamán. Ehhez járult hozzá a nem megfelelő helyre vagy szakszerűtlenül épített, illetve nem kellően karbantartott házakról elterjedt nézet, miszerint ez az építési mód elavult, és nem felel meg a XXI. század követelményeinek. Előítéletek sokasága került be a köztudatba, és az előnyök nem váltak eléggé ismertté, mert az emberek számára az érem másik oldala nem vagy csak homályosan ismert, így a vályoggal szemben felhozott vádak tekintik ma az építőanyag fő jellemzőjének.

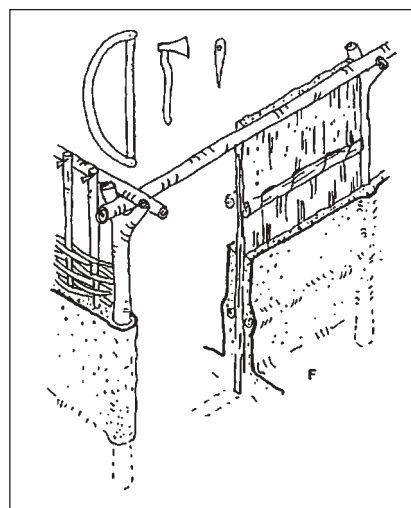
Mára már kiderült, hogy a föld- és vályogépítésnek nemcsak hátrányai, hanem előnyei is vannak. Megindult, ha lassan is, egy új építési irányvonal, mely a természetes anyagokból való építést tűzte ki célul. Ez az ökológikus vagy környezettudatos építési mód a vályogban rejlő lehetőségeket és a vályog korszerű alkalmazását igyekszik terjeszteni és megismertetni.

A vályogépítés „tudománya” régen apáról fiúra szállt, így az ifjabb nemzedék közvetlenül kapta meg a jól be-

vált technológiát, tapasztalatokat. Ez a folyamat már sajnos megszakadt, mégis azt lehet mondani, hogy ez az építési technológia ma is könnyen megtanulható, így olcsón, kis „energiaráfordítással” és az egyszerű szabályok betartásával ma is lehet házilagosan alkalmazni.

2. A magyar vályogépítés építészettörténeti bemutatása

A vályogépítés több ezer éves múltra tekint vissza, amely az egyszerű falazatkialakításoktól a mai, korszerű technológiáig vezet. A fejlődés iránya töretlen, bár a korszerű építési módok mellett még ma is megtalálhatóak a hagyományos falazási technikák. Ennek legősibb változata a sövényfal (*1. ábra*). A falazat vázszerkezetét a függőleges vagy vízszintes karók közé font sövény adja, melyet kívül-belül betapasztanak. Ez a falazattípus védelmet nyújt az árvizekkel szemben olyan értelemben, hogy a víz a tapasztást tönkretelthette, de a faváz a házat megóvta a teljes pusztulástól.



1. ábra. Sövényfal (*Istvánfi*, 1997)

Istvánfi Gyula értelmezése szerint a legrégebbi ismert lelet hazánkban a Kr. e. 5. évezredből származik. A Hódmezővásárhely-Kotacparton feltárt ház ollólábas-szelemenes kunyhó volt, valószínű, hogy a földig érő nádazott nyeregterő hátul ívesen befordult, csak a bejárati oldal

* tanszéki mérnök, BME Építésmérnöki Kar, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

** egyetemi docens, BME Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék

*** egyetemi docens, BME Építésmérnöki Kar, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

háromszöge volt függőleges, tapasztott sövényfállal lezárva. A következő történeti emlék a Kr. e. 4. évezredből származó, Tiszajenő-Szárázérparton található lelet. A 30 m² alapterületű ház körben cölöpváz, tapasztott sövény vázkötöltésű fallal, amelynek a tetején koszorúgerenda futott körbe. A tetőt a ház két végén a középtengelyben felállított, földbe ültetett ágasfák és az azokra helyezett taréjszelemlen tartotta.

Dám László néprajzkutató mutatott rá, hogy az Árpád-kori népi építészetben már általánosan alkalmazott falkészítési mód volt a sövényfalépítés. A XI-XIII. századból származik a miskolci Sötétkapu mellett feltárt három, vázas sövényfalu ház, Fonyód-Bélatelepen pedig hat talpasvázás sövényfállal készült épület maradványai kerültek felszínre. A középkor várépítészetében is alkalmazták. A XVIII. századi adatok tanúsága szerint Sárreten és a Dunántúl déli részén templomokat is építettek ezzel a technikával. Ezek közé tartoznak a Szatmár megyei Tákos és Mánd falvak talpas-vázás sövényfállal épített templomai. Ezen templomok szerkezetei a nagy tiszai árvizek után is épek maradtak, a falazatok csak kismértékben károsodtak.

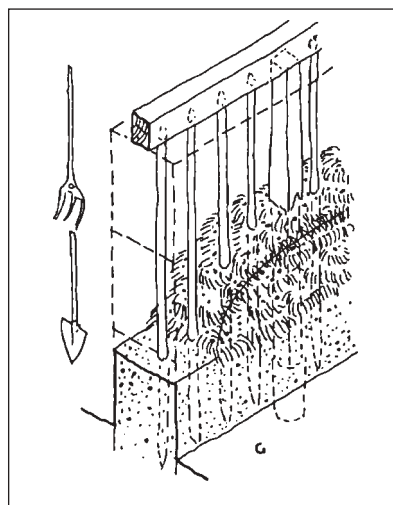
Mint arra Dám (1992) rámutat, a következő falazási technika a favázás sárfal (2. ábra). A falazat váza itt is a földbe vert karó vagy oszlop, de a közeit sárgombóccal vagy villával rakott sárral, ún. fecskerakással töltötték ki. Ezt a falazattípust az eltérő tájegységek eltérően nevezik, az építésben is különbségek fedezhetők fel. A Nyírségben mereglyés falnak, Debrecen környékén és a Hajdúságban karófalnak, Szeged környékén csömpölyeges falnak, a Duna-Tisza közén gömlyefalnak, a Dél-Alföldön oszlopos falnak és a Délnyugat-Dunántúlon karóközös falnak hívják.

A mereglyék kihelyezett, faragatlan karók, melyeket 30-60 cm távolságra vertek le egymás mellé a földbe és a felső végüket szeggel vagy gúzzsal rögzítették a sárgendához. Az oszlopos fal esetén a karók helyett oszlopot vertek le egymástól 1-1,5 méter távolságra, gyakran 1

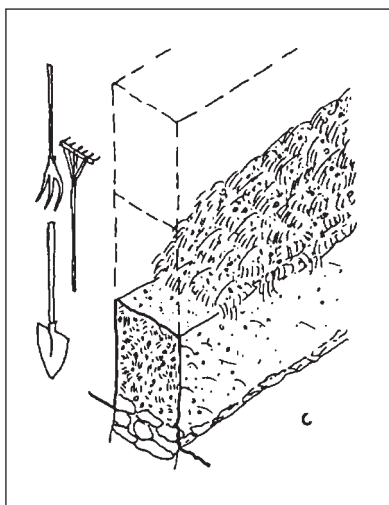
méter mélyre. Ezekre az oszlopokra fekszenek fel a koszorúgerendák. Ezek az oszlopok már nemcsak a falat szilárdítják, mint a karók, hanem a földem- és a tetőszerkezet terhét is hordják. A Zalában, Somogyban és Baranyában ismert karóközös fal technikáját tekintve a mereglyés falhoz hasonlít, azzal a különbséggel, hogy itt néha talpgerendákra építették a falazatokat.

A falazattípus elterjedésének két oka valószínűsíthető. Az első az árvíz elleni védelem, hasonlóan a sövényfalhoz a víz csak a falazatot károsítja, mely az ár levonulása után könnyen javítható. A másik ok a falazat készítéséhez használt kis szilárdságú talaj adottságával magyarázható, hiszen itt a terhet a faváz viseli, a kitöltésnek elég önállóan lenni. Ezen fal alkalmazását 1889-ben belügyminisztériumi rendelettel is szorgalmazták. Az indokok között az árvíz elleni védelem szerepelt.

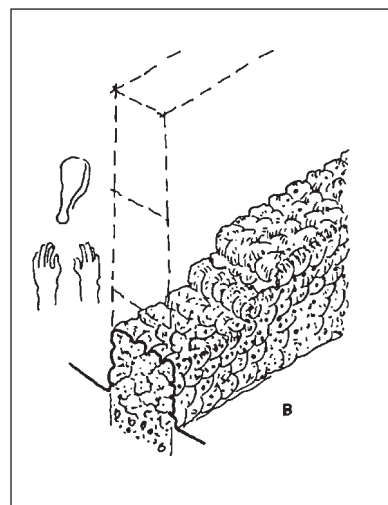
Dám (1992) értelmezése szerint a legkezdetlegesebb falépítési technika a rakott sárfal (3. és 4. ábra). A falazat készítéséhez előző este be kellett keverni az alapanyagot, ehhez 40-50 cm-nyi magasságban, körben összehányták a földet, amelyet meglocsoltak, majd növényi anyagokat adtak hozzá. A növényi anyag leginkább törek és szalma volt, de egyes tájegységekben ettől eltérően nádtörmeléket, sást, gyékényt vagy vékony faágakat is alkalmaztak, amelyek mennyisége maximum 40% volt. Az egyszer már megtaposott masszát locsolás után kapával összevágták. A fal építése a következő napon, kétféleképpen történhetett. A fal helyét a földön megjelölték és előkészítették, majd a sarat villával rakták fel, vagy egy-egy villányi sarat a földre szórt töreken meghempergettek. Az így kapott kisebb dinnyenagyságú gombócokat villával vagy kézzel rakták egymás tetejére. Ezeket a sárgombócokat a Dél-Alföldön csömpölyegnek nevezik, a belőle készített falazatot pedig csömpölyeges falnak. Az ország más területein a villával rakott, illetve a sárgombócból rakott falat is fecskerakásnak vagy fecskerakás falnak hívják, emellett az Alföld északi peremén a gyöngyola, göngyöleg és gömlye kifejezéseket is használják.



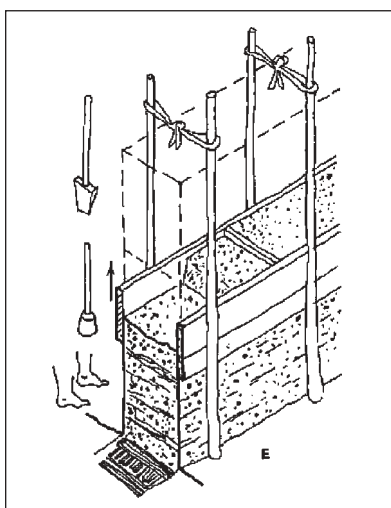
2. ábra. Karóközös sárfal (Istvánfi, 1997)



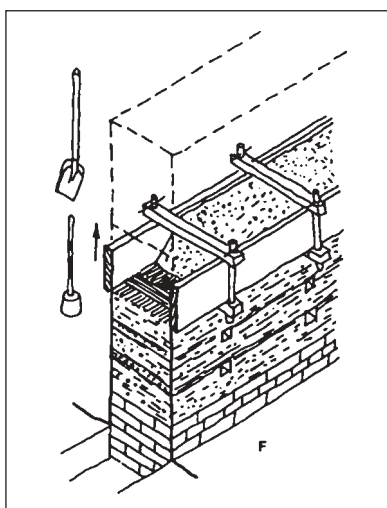
3. ábra. Villával rakott sárfal (Istvánfi, 1997)



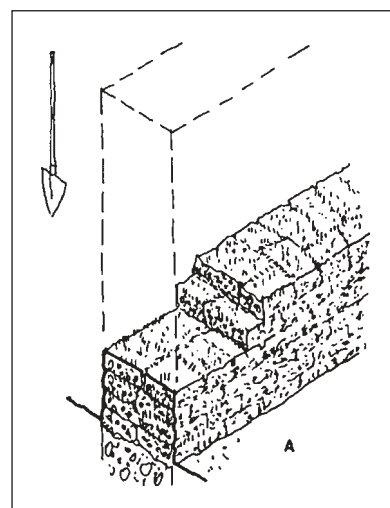
4. ábra. Kézzel rakott sárfal (Istvánfi, 1997)



5. ábra. Vert fal faoszlophoz erősített zsaluzattal (Istvánfi, 1997)



6. ábra. Vert fal kalodás zsaluzattal (Istvánfi, 1997)



7. ábra. Hantfal (Istvánfi, 1997)

A karók, oszlopok, mereglyék közeinek kitöltése is történetelt ezzel a módszerrel. Egy-egy alkalommal 3-4 sort készítettek, majd hagyták a falat száradni és tömörödni, hogy az alsóbb rétegek elbíriák a följük kerülő rétegek súlyát. A teherhordó falak sarkainál és falcsatlakozásainál minden sor után nádat vagy vesszőt fektettek a falazat szilárdságának növelése érdekében. A nyílászárók helyét kirekesztették. A falat a teljes kiszáradást követően éles ásóval függőlegesre vágták, majd mindkét oldalon betapasztották.

Egy bonyolultabb falazási technika már zsaluzat használatát is igényelte. Ez a tömött vagy vert fal. *Dám* (1992) alapján ennek a módszernek is többféle változatát ismerhetjük meg. Az Alföldön általában az építendő fal mindkét oldalán 1-1,5 m távolságban a falazat két oldalán oszlopokat ástak a földbe, amelyek felső végét lécekkel vagy gúzzsal kötötték össze (5. ábra). Az oszlopok belső oldalán egy-egy szál deszkát helyeztek el, amelyek közé döngölték a földet. Az így elkészült sorok után feljebb emelték a deszkákat, és hogy azok le ne csússzanak, a falon keresztbe tett vékony karókkal támasztották alá, vagy az oszlopokhoz kötötték.

Dunántúlon Fejér és Tolna megyékben, a Tiszántúl déli részén Békés megyében az oszlopok helyett kalodát vagy jármot használtak a keret felállítására (6. ábra). A kalodafát ritkán vaspálca helyettesítette. A két élére állított deszkát a falon vízszintesen keresztbe tett kalodafába tűzött szárhoz támasztották. Az újabb sor építésekor kivették a deszkát, a támasztó szárat kihúzták a kalodafa két végén vágott lyukból, a kalodát pedig kiüttették a falból. A falban maradt lyukakat tapasztással tüntették el.

A vert fal készítéséhez kötött, agyagos talajt alkalmaztak, amelyhez nem kevertek semmiféle növényi anyagot, és földnedves állapotban dolgozták be. Miután a földet a formába szórták, először hegyes karókkal döfködték, hogy a göröngyök között ne maradjon rés, majd döngölőfával, tömőfával döngölték keményre. A falverést 3-6 ember

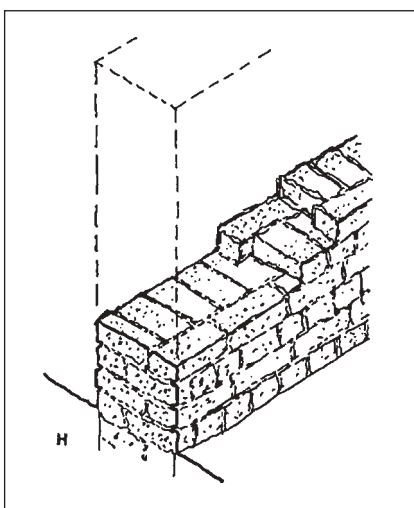
végezte, akik egymás nyomában haladtak. Egy-egy sor elkészülte után a „zsaluzatot” feljebb emelték, s a sor tetejére töreket, vékony gallyat raktak. Falcsatlakozásoknál nádat, vesszőt vagy zsúpszalmát terítettek a kész fal egyenre, ezáltal szilárdították a falazatot, és biztosították a rétegek egymáshoz való tapadását.

A Balaton déli partvidékén, a Sárközben, a Mecsekalján, elszírtan a Duna-Tisza közén, valamint a Nyírség középső részén törekkkel kevert sarat hordtak villával a deszkák közé, amit először bunkóval átdöfködték, majd a sár szikkadása után döngölőfával ledöngölték.

Történeti adatok szerint a korábbi évszázadokban a földet sövényfonadék vagy rovásos fal közé döngölték. A technika a középkori réteges fal szerkezetére utal, készítmódjának egy fejlesztett változata. A török hódoltság idején a várépítésben használt falazatok a töltött vagy bélelt palánkok voltak. Ezek külső rétegét boronához font vessző képezte, a rótt palánktól pedig faragott oszlopok. A korabeli leírások szerint a szilárdsága majdnem egyenértékű volt a kőfallal.

Mint *Dám* (1992) említi, a hantfal (7. ábra) az egyetlen olyan földépítési technika, amelynél a talaj előkészítés nélkül, természetes formájában kerül felhasználásra. A hant kitermelése, az ún. hantszedés tavasszal történt. A gondosan kiválasztott talajból ásóval, baltával, csákánnyal vágta ki kb. 30 x 15, 20 x 10 cm-től 20 x 16 cm-ig terjedő földdarabokat. Esetenként a gype feltörésekor az eke után szedték össze a megfelelő nagyságú rögöket, amelyeket azután baltával faragtak szabályos formájúra. Hantnak alkalmas alapanyag volt még az egykori ér- és patakmedrek vagy időlegesen vízzel borított területek kötött, agyagos, szikes talaja. Fal készítésekor a hantokat gyepes felülettel lefelé, kötésben rakták. Kötőanyagot általában nem használtak, egyes esetekben híg sarat vagy nedves homokot raktak a sorok közé. A kész fal egyenletlenségeit ásóval levágták, majd betapasztották.

Dám (1992) a vályogépítés legelterjedtebb és legfejlettebb formájaként tartja számon a vályogfalat (8. ábra). A



8. ábra. Vályogtégla fal (Istvánfi, 1997)

vályogfal csak a XVIII. században kezdett jelentősebb szerepet betölteni, fokozatosan kiszorítva más föld- és vályogépítési technikákat. Maga a vályog szó is csak a XVII. század végén bukkant fel először, de oklevelek adatai szerint a XVIII. században már általánosan elterjedt nemcsak az Alföldön, hanem olyan területeken is, ahol korábban a faépítkezés volt az uralkodó, mint Nógrádban, Borsodban és Hevesben. Jelentősége a XIX. század második feléig fokozatosan nőtt, alkalmazása az égetett kerámia-, téglaelemek megjelenésével folyamatosan csökkent. A vályogvetéshez a kötött, agyagos-homokos talaj a legalkalmasabb. A földet a vályogvető gödrökből termelték ki. Ez általában a falu határában volt, a legelőkből hasították ki, s a falu közös tulajdonát képezte. A XX. század első felében mindenki annyi földet használhatott vályogvetéshez, amennyire szüksége volt, később bérleti díjat kellett fizetni érte.

A vályogvetés során először a földet megtisztították a növények gyökereitől, majd a kitermelt földet vízzel elárasztották. Az így előkészített vályogot kapával, taposással összeválták, majd töreket, szalmát keverték hozzá. Ezt addig keverték, amíg sima és görcsmentes nem lett, majd 10-12 órát „dagadni, érni” hagyták. Az így előkészített alapanyagot kihordták a gödrökből taligával, majd a földre töreket szórtak, s a megnedvesített vetőbe villával vagy kézzel belerakták a vályogot, megtömködték kézzel, lesimították, majd lehúzták róla a vetőt. A kész elem a földön maradt, melyet két-három nap száradás után az élére állították, hogy az alja is megszáradjon, végül kazlakba rakták, ahol véglegesen kiszáradt. A vályogelemek mérete tájegységenként változó, a falazat azonban másféltégla-vastag volt, a készítése pedig a falkötés szabályai szerint történt. Habarcsként híg sarat használtak, a nyílások felett fagerendákat építettek be. A falazatot betapasztották.

Látható, hogy milyen sokszínűek voltak a magyarországi vályogépítési technológiák, és elterjedésük is jelentős volt.

A modern vályogépítészet ma is nagyon változatos, sokféleség jellemzi mind anyag, mind forma és szerkezet tekintetében. Mégis azt lehet mondani, hogy alkalmazása nagyon szűk területre korlátozódik. Vannak ugyan az ország egyes részein helyi kezdeményezések, de a köztudatban a vályog mint a szegények építőanyaga szerepel. A negatív megítéléséhez természetesen az is hozzájárul, hogy az árvíz sújtotta területeken nagyszámban mentek tönkre ilyen szerkezetű épületek. A mai építészeti előírások tiltják az ár- és belvizes területeken a föld- és vályogházak építését, de ez az országnak csak a kisebb területére érvényes. Az újabb kutatások bebizonyították, hogy a vályognak mint természetes építőanyagnak nemcsak építésbiológiailag van kedvező hatása az emberre, hanem építése és fenntartása kevésbé terheli a környezetet.

A ma építészetében megtalálhatóak a hagyományos építési technológiák, mint a fecskerakásfal, a vert fal, a kézzel vett vályog, ugyanakkor a korszerű technikák is. A műszaki fejlesztésnek két iránya figyelhető meg, mindkettő az anyag tulajdonságaiból következik. Az egyik irány a szilárdság növelésére törekszik. Ennek módja a cementtel való stabilizálás. A fejlesztés másik iránya a hőszigetelő képesség növelése, melynek több módja ismert. Az egyik lehetőség a gyártás során a téglaelemekbe préselt, nem a teljes keresztmetszeten átmenő üregek. A másik fejlesztési irány a vályogelemek különböző anyagokkal történő könnyítése. Ennek hatására az elemek szilárdsága csökken, a hőszigetelő képességük nő, azonban csak önhordó falazatok építésére alkalmas. A teherhordó szerkezet a falban elhelyezett faváz.

3. Laboratóriumi vizsgálatok a falazatszilárdság meghatározására

3.1. A kísérlet célja

A mai falazóanyagok fejlődési iránya a hőszigetelő képességük növelése. Ez az agyag esetén a könnyűvályog elemek alkalmazásával érhető el, ahol a nagy szervesanyag-tartalom – nád, szalma, fűrészpor hozzáadásával – javítja a hőszigetelő képességet, ugyanakkor a könnyűvályog fal szerkezetek nagyobb hőtároló tömeggel rendelkeznek, mint a mai falazóblokkokból épültek. A kísérletek célja a falszerkezetek szilárdságának meghatározása, amelyek alapján eldönthető, hogy azok önálló tartószerkezetként vagy favázaz házak kitöltő falaiként funkcionálhatnak-e. A vizsgálatok során először a különböző összetételű elemek anyagtani jellemzőit és nyomószilárdságát határoztam meg, a kísérletek eredményeit az Építőanyag, 2001/2. számában ismertettem (Csicsely, 2001). Ezek kiinduló adatokként szerepeltek a falazathoz készített könnyűvályog elemek anyagösszetételének kiválasztásánál. Itt kell megemlíteni, hogy könnyíteni nemcsak a téglaelemeket lehet, hanem a monolit jelleggel készülő falazatokat, pl. rakott sárfalat („fecskéfal”) vagy vert falat is. Az alábbiakban csak az elemekből épített faltestek nyomószilárdságának vizsgálatáról számolok be.

3.2. A könnyűvályog elemek készítése

1. táblázat

A téglák készítése egyszerű, egyes fázisok könnyen gépesíthetők. Az építés helyszínén bárki elkészítheti a falazathoz szükséges elemeket, hiszen a „gyártás” hamar elsajátítható, s az összes alkotórész a közelben megtalálható, így ezzel a szállítás is kiküszöbölhető.

Az első lépés az építési agyag kitermelése. A szerves anyag nedvesen történő hozzákeverése után már lehet préselni a téglákat.

Az elemek a Naturbau Kft. magyarszombatfai telepén készültek. A különböző összetételű anyagok keverése egy erre alkalmas mezőgazdasági géppel történt. A keverék, a présgép adagolójába helyezése után, mechanikus vezérléssel 15 x 11 x 30 cm-es sablonba került. A hidraulikus összepréselés során a földnedves keverékből az alkalmazott nagy nyomáson, víz kiszorításával tömör elemek készültek (9-10. ábra). A különböző könnyűvályog elemek egy nyitott pajtában, depóniába rakva száradtak. A présgépet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépszerkezettani Intézetének Gépelemek Tanszékén fejlesztették ki.



9. ábra. A fűrészpor hozzáadása a szalmával kevert agyaghoz



10. ábra. VP-002 vályogprés a kész elemekkel

A kísérlethez készített vályogelemek összetétele térfogatarányban

Minta jele	Agyag	Nedves szalma	Nedves nád	Fűrészpor
	Térfogatarány			
SZ (szalma)	3	1	–	–
SZF (szalma és fűrészpor)	6	2	–	1
N (nád)	3	–	1	–
NF (nád és fűrészpor)	6	–	2	1
R (referencia, csak agyag)	1	–	–	–

Az öt különböző összetétellel készített minták keverési arányait az 1. táblázat mutatja be.

3.3. Vizsgálatok

A vályogfalazatok vizsgálatára érvényes szabványok nem állnak rendelkezésre, ezért a kísérletek során az MSZ és az Eurocode égett kerámia falazóelemekre vonatkozó előírásai voltak az irányadók. A méréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építésmérnöki Kara Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszékének, illetve az Építőmérnöki Kar Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszékének laboratóriumaiban végeztük. A faltestek két ütemben épültek. Első ütemben a csak agyagból lévő referenciamintákat (R jelű) készítettük el „A” jelű habarccsal, a második ütemben a vályog (SZ, SZF, N, NF jelű) próbatesteket építettük meg a „B” jelű habarccsal. A minták laboratóriumi körülmények között száradtak, s a vizsgálatokra 28 napos korban került sor. A kiszáradás ideje a nagyobb elemek esetén minimum 3 hétig tart, ezért a cementkötésű rendszereknél szokásos 28 napos kort választottuk az agyaghabarccsal készült faltestek esetén is. Az utólagosan végzett nedvességtartalom-mérés igazolta a választás helyességét. A kiszáradás alatt a levegő hőmérséklete 23–28 °C, míg a relatív páratartalom 30-50% közötti mozgott. A különböző összetételű téglákból három-három falazati próbatestet építettünk, illetve a habarcsot 6-6 darab 40 x 40 x 160 mm-es próbatesten vizsgáltuk.

3.3.1. Habarcsvizsgálat

Habarcs készítéséhez a szállítás során sérült elemeket használtuk fel, vízzel áztatva, majd alaposan elkeverve. A habarcsmintákat 1 hetes kor utáni zsaluztuk ki. A habarcs próbatestek közül 3 darab a faltestek mellett száradt a vizsgálatokig, 3 darab pedig klímaszekrényben. A méréseket az MSZ 16000-3:1990 Habarcsok. Általános rendeltetésű habarcsok mintavétele és vizsgálati módszerei, illetve az MSZ EN 1015-11:2000 Falszerkezeti habarcsok vizsgálati módszerei. II. rész: A megszilárdult habarcs hajlító- és nyomószilárdságának meghatározása című szabványok alapján végeztük. A két különböző időpontban készített habarcsminta jele „A” és „B”. A habarcsok átlagos jellemzőit a 2. táblázat foglalja össze.

Az agyaghabarcok konzisztencia- és szilárdsági jellemzői

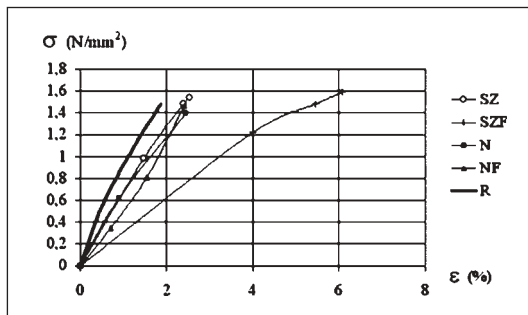
Minta jele	Terület, cm	Hajlítószilárdság, N/mm ²	Nyomószilárdság, N/mm ²
A	16	1,0	3,5
B	17	0,4	2,2

A habarcsminták nedvességtartalmát + 60 °C-on való kiszáritással határoztuk meg, 2,0–3,5 tömeg% közé esett, mely megegyezett a faltesteken mért értékekkel.

3.3.2. Két összeépített falazóelem vizsgálata

Az agyag falazóelemeket az MSZ 551-1:1988 *Égetett agyag falazóelemek. Általános műszaki előírások* című szabvány alapján vizsgáltuk, figyelve az anyag várható viselkedésének hatásaira. Két-két falazóelemet építettünk össze agyaghabarcossal, és a habarcs felületi simításának egyenletessége érdekében alul-felül farostlemezt helyeztünk a próbatestekre. Így biztosítottuk a vizsgálat során a nyomólapok párhuzamosságát. Az összehabarcolt minták laboratóriumban száradtak, a fentebb említett körülmények között.

A kísérlet során mértük a nyomóerőt és az alakváltozást, ebből kiszámítottuk és ábrázoltuk a σ - ϵ függvényeket. Minden eltérő összetételű elemből 3-3 darab próbatest készült. Az 11. ábra a három törés átlagát mutatja.

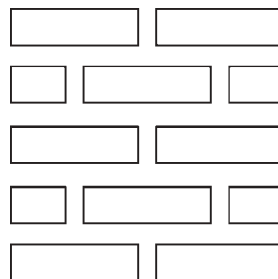


11. ábra. A két összeépített elem nyomószilárdsági vizsgálatának eredményei

A diagramokon jól látszik, hogy a csak agyagtartalmú, nagyobb szilárdságú habarccsal készített téglatestek (R) alakváltozása a legkisebb, míg a szalma- (SZ), illetve fűrészpor- (F) tartalmúaké nagyobb, a legnagyobb nyomási teherbírást a szalma-fűrészpor (SZF) és a szalma- (SZ) tartalmú téglatestekkel értük el, de ezekhez a téglatestekhez nagyobb alakváltozás tartozott. A nád- (N) és a nádfűrészpor (NF) adagolású vályogtéglák összehabarcolt próbatestjei jellemzően alig tértek el egymástól, és értékük csak a szalmával (SZ) készítettékéhez hasonló. A nyomóvizsgálatok eredményét vélhetően befolyásolta az agyaghabarc minősége is.

3.3.3. Faltestek vizsgálata

A faltest méretének meghatározásához az MSZ EN 1052-1:2000 *Falazatok vizsgálati módszerei. 1. rész: A nyomószilárdság meghatározása* című szabvány 7. fejezetében leírtak szolgáltak alapul: így 1 téglaszéles, 2 téglahosszú és 5 sor magas faltesteket készítettünk.



12. ábra: A faltestek kialakítása (nézet)

A faltestet a téglakötés szabályai szerint – a páratlan sorokban két egész elem, a páros sorokban féltégla eltolással a falvégnél két fél elem zárásával – építettük. A falazati próbatestek U acél fogadóelembe készültek, agyaghabarcba rakva. A függőleges és vízszintes síkok kialakításához sablont és vízmértéket használtunk. Az így nyert próbatestek mérete kb. 60 x 60 x 14,5 cm volt.

A faltestek két ütemben épültek. A minták a laboratóriumban száradtak 28 napos korban való vizsgálatukig. A kiszáradás alatt a levegő hőmérséklete 25–30 °C, míg a relatív páratartalom 30–50% között mozgott.

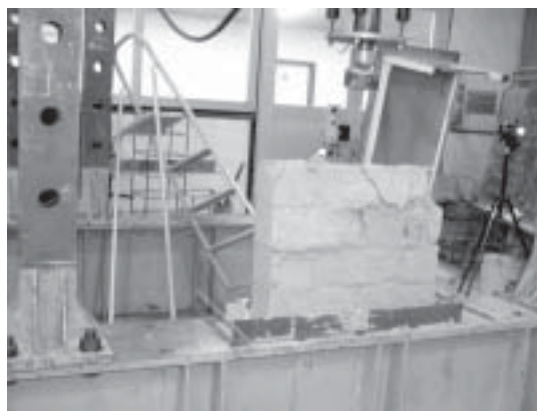
Minden eltérő összetételű elemből 3-3 darab próbatest készült. A törési vizsgálat előtt a teherelosztó lap négy sarkába léptéket rögzítettünk. Az egyes teherlépcsőkhöz tartozóan teodolittal olvastuk le a négy sarokban végbe ment alakváltozás mértékét. A vizsgálatot a 13-15. ábrák mutatják. A mérési adatokból kiszámítottuk a feszültség-alakváltozás mértékét, a különböző összetételű faltesteken kapott értékek átlagait a 16. ábrán mutatjuk be.

Az eltérő összetételű falazatok feszültség-alakváltozás diagramjai jól elkülönülnek egymástól. Hasonlóan az elemek vizsgálatához itt is nagy alakváltozások figyelhetők meg. A tisztán agyagból készített falazatoknak lényegesen kisebb volt az alakváltozása, mint a többi. A szalmával kevert téglából épített vályogfalnak volt a legnagyobb az alakváltozása, a náddal keverté a kettő közé esett. A fűrészpor-adagolás nagymértékben csökkentette a végszilárdságot és kismértékben az alakváltozást.

A tönkremenetelnek három fajtája figyelhető meg. Az első az, amikor a falazat kihajlott, s a kihajlás hatására ment tönkre. A második, amikor a próbatest valamelyik szélén a téglaelemek repedése után következett be a tönkremenetel (15. ábra). A harmadik esetben a faltest középső szakaszán ment tönkre egy elem, ami azután a faltest teljes tönkremenetelét okozta.



13. ábra. A faltest vizsgálat közben



14. ábra. Az eltört faltest



15. ábra. Az eltört faltest

A vizsgálatok azt igazolták, hogy a szálal anyagok hatására nő a vályog teherbírása, ugyanakkor az alakváltozása is. A szalma és a nád hozzáadása nagyban növeli a falazatok hőszigetelő képességét, és mivel a „könnyítés” a 30%-ot nem haladta meg, a hőtároló tömeg sem csökkent számottevően. A szalmatartalmú elemeknek volt a legnagyobb a teherbíró képessége, illetve az alakváltozása. Ennek oka azzal magyarázható, hogy a szalmaszálak már készítéskor összetöredeztek; nagy összenyomódásra képesek, viszont a töredezett élek mentén nagy az ellenállás, így a tönkremenetel később következett be. A nádtartalmú elemek teherbírása és alakváltozása a közepső tartományba esett. A nád az elemek gyártásakor az összeaprítás során sem töredezett össze, anyaga a szalmához viszonyítva sokkal merevebb, de mivel felülete sima, ezért az igénybevétel hatására könnyebben „kihúzódot” az agyagból.

A továbbiakban nagyobb mintaszámú vizsgálattal folytatom a kísérleteket, és az eredmények felhasználásával olyan elméleti mechanikai modellt tervezek felállítani, ami jól jellemzi a vályog egyedi tartószerkezeti viselkedését.

4. Összefoglalás

A magyarországi vályogépítészet történeti összefoglalását követően a vályogfalazatok szilárdsági vizsgálatát ismerttettem, amit a BME-n végeztünk el. A kísérleti eredmények azt igazolták, hogy szükség van a falazatok készítő-

sekor arra, hogy az agyaghoz szerves anyagot keverjenek, ahogy erre a népi építészetben is számos példát találunk. A többnyire szálal anyag bekeverésének előnye nemcsak hőtechnikailag indokolt, hanem tartószerkezeti is jelentős, hiszen ezáltal a vályogfalazatok teherbíró képessége megnövekszik. Igaz, hogy ehhez nagyobb alakváltozás is társul. Ezért a falazatok készítésekor ismerni kell a száradási zsugorodáson kívül az önsúly, illetve az állandó terhek okozta alakváltozást is. Ha az újonnan épülő ház tervezésénél figyelembe vesszük ezeket a hatásokat úgy, hogy a kívánt méretnél 3–5%-kal magasabb falazatot emelünk, és hagyjuk, hogy ezek az alakváltozási folyamatok lejátszódjanak, akkor a szalma- vagy nádtartalmú vályogház nemcsak jó hőkomforttal fog rendelkezni, hanem teherbírása is megfelelő lesz. Természetesen nem lehet megfeleltetni a vályogfalazat nedvesség elleni védelméről, a tartósság érdekében erről a tervezés és kivitelezés során mindig gondoskodni kell.

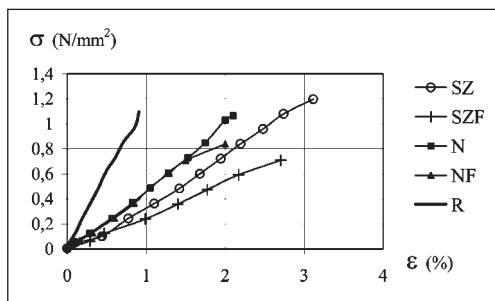
Irodalom

- [1] Csicsely Ágnes: Könnyűvályog elemek laboratóriumi vizsgálatai. Építőanyag. 53, 2. 53–57. (2001).
- [2] Dr. Dám László: Építkezés. Néprajz egyetemi hallgatóknak. Kossuth Lajos Tudományegyetem, Debrecen, 1992. 17–32. old.
- [3] Istvánfi Gyula: Az építészet története. Őskor, Népi építészet. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997. 60–61. old.
- [4] Dr. Szűcs Miklós: Föld- és vályogfalú házak építése és felújítása. Építésügyi Tájékoztatói Központ Kft., Budapest, 2002.

Alkalmazott szabványok

- MSZ 551-1:1988 Égetett agyag falazóelemek. Általános műszaki előírások
- MSZ 16000-3:1990 Habarcsok. Általános rendeltetésű habarcsok mintavétele és vizsgálati módszerei
- MSZ EN 1015-11:2000 Falszerkezeti habarcsok vizsgálati módszerei. 11. rész: A megszilárdult habarcs hajlító- és nyomószilárdságának meghatározása
- MSZ EN 1052-1:2000 Falazatok vizsgálati módszerei. 1. rész: A nyomószilárdság meghatározása 7. fejezet

Lektorálta: dr. Kausay Tibor



16. ábra. A faltestek feszültség-alakváltozás diagramjai