

INNOVATÍV, KÖRNYEZETBARÁT SZIGETELŐANYAG ÉGHETŐSÉGI ÉS LÁNGÁLLÓSÁGI VIZSGÁLATAI

(Nagy Sándor¹, Bohács Katalin², Makai András³)

¹egyetemi docens, ²PhD hallgató, ³ügyvezető

*Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet
Borsod-Bos 2004 Kft.*

BEVEZETÉS

Napjaink egyik aktuális környezetvédelmi problémája a klímaváltozással összefüggő CO₂-emisszió, melyhez nagymértékben hozzájárul az ipari termelés, köztük a cementgyártás és egyéb építőipari nyersanyagok előállítása is. Az „Innovatív, környezetbarát szigetelőanyag piacorientált kutatás-fejlesztése polisztirol másodnyersanyag hasznosításával” c. (PIAC_13-1-2013-0124) projekt célja elsődlegesen a polisztirol melléktermék ill. hulladék hasznosítás, oly módon, hogy az egy új hőszigetelési célra alkalmas építőanyagipari anyagot eredményezzen. Ennek érdekében a kutatómunka során technológiát és anyagot fejlesztünk, melynek során az előállított anyag éghetőségi és lángállósági tulajdonságait is vizsgálni kell, melyet e cikkben mutatunk be. A kompozit szigetelőanyag alapvetően pernye alapú geopolimerből - amely a szervesetlen kötőanyag szerepét tölti be - valamint polisztirol hulladékból áll.

A geopolimerek újfajta, szervesetlen polimer szerkezetű anyagok, melyek agyagásványok (alumino-szilikát-oxidok) és alkáli-szilikátok lúgos közegben végbemenő reakciójával állíthatók elő. Szerkezetüket tekintve poli-szálátok, egyszerűbben fogalmazva mesterségesen előállított kőzeteknek tekinthetők. A hagyományos Portland cementétől gyökeresen eltérő szerkezetüknél és kötési mechanizmusuknál fogva a geopolimerek különleges tulajdonságokkal rendelkeznek: rendkívül jó mechanikai tulajdonságúak, tűz- és hőállóak, kötésük során szinte alig változtatják térfogatukat, formába önthetőek, szobahőmérséklet körüli hőmérsékleteken kötnek és kötési idejük tág határokon belül változtatható. Fenti tulajdonságok mechanikai aktiválással szabályozhatóak [1].

Gyártásuk során a CO₂ emisszió elmarad a cementalapú betonok esetén fellépő kibocsátástól. A felsoroltakból eredően az építőipartól a csúcstechnológiai alkalmazásokig nagyon sok területen helyettesíthetik a már ismert szerkezeti anyagokat.

A habosított polisztirol túlnyomó többségben kommunális hulladékba kerül, ami hosszú távon szennyezi a környezetünket, rövidtávon nagy költségeket okoz termelőjének. Hasznosítására számos lehetőség kínálkozik, többek közt aprítás után felhasználható építőanyagokban, javítva azok hőszigetelő tulajdonságait.

Egyik befoglalási lehetősége a polisztirolnak a pernyealapú geopolimerbe történő bekeverés, ami önmagában is szigetelő tulajdonságú anyag, szobahőmérsékleten gyorsan köt (24 óra alatt végleges mechanikai szilárdságának 70 %-át is elérheti), így előállítási költsége rendkívül alacsony, mindamellett hulladékká vált anyagok újrahasznosítása is megvalósítható. A geopolimer további előnye, hogy bármilyen szilícium- ill. alumínium fázisokat tartalmazó anyagból, így más ipari hulladékból is

előállítható, mint például pernyék, salakok vagy vörösiszap [2], ezért a kedvező tulajdonságok további ötvözése is könnyen megoldható.

Az erőműi pernye a szén eltüzeléséből származó finom szemcseméretű melléktermék, amely elsősorban szferikus alakkal és főként SiO_2 , Al_2O_3 és Fe_2O_3 alkotókból áll [3]. A pernye savanyú vagy bázikus jellegét, annak CaO tartalma határozza meg.

Jelen tanulmány célja, hogy bemutassa a geopolimer-polisztirol kompozit éghetőségét és gyúlékonyságát, és összeveti a hagyományos műgyanta alapú ragasztóanyaggal elvégzett eredményekkel.

ELMÉLETI ALAPOK

A homlokzati hőszigetelők tűzbiztonságának vizsgálata során a tűzbiztonság megállapításához meg kell vizsgálni a hőszigetelő kompozit anyag „nem-éghetőségét”, égéshőjét (vagy fűtőértékét), gyúlékonyságát és azt, hogy füstgázai tartalmazznak-e toxikus komponenst vagy komponenseket. Ehhez a következőkben leírt vizsgálatokat célszerű elvégezni.

A **nem-éghetőségi teszt** vizsgálatának módját az EN ISO 1182:2010 szabvány írja le (IMO Resolution A.799(19) non-combustibility test). A vizsgálat során egy függőleges – alulról és felülről nyitott – kemencébe a vizsgálandó anyagból készült próbatestet helyeznek. A kemence tér 750°C hőmérsékletű. A kemence tér és a próbatest felszíni hőmérsékletét mérik, és megméri az esetleges égés időtartamát. A mérés eredményeként dokumentálják a százalékos tömegvesztést, a lánggal való égés tényét és időtartamát, valamint a kemence és a próbatest vizsgálat előtti, alatti és utáni hőmérsékletét. Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján az EN 13501-1 szabvány szerint sorolják a vizsgált anyagot gyúlékonysági kategóriákba.

A **gyúlékonysági vizsgálat** módját az EN ISO 11925-2:2010 szabvány írja le (The Ignitability test). A vizsgálat során a függőleges helyzetű vizsgálati minta peremét vagy oldalfelületét kis lánggal 15 vagy 30 s ideig hevítik. Ha a minta meggyullad, megfigyelik a láng kialakulását, terjedését, valamint a füstgázban levő részecskéket és az olvadás eredményeként keletkező és leeső cseppeket.

A mérésről a következőket dokumentálják:

1. A méréskor alkalmazott hevítési módot: a hevítés időtartamát (15 s vagy 30 s), továbbá a hevítés helyét (a minta pereme vagy oldalfelülete).
2. A meggyulladó minta lángjának csúcsa felér-e a gyújtás helyétől legalább 150 mm magasra, és ha igen, a hevítés kezdetétől mennyi idő alatt.
3. Megfigyelhetők-e olyan lepergő égő cseppek, melyek képesek egy, a minta alá helyezett szűrőpapírt meggyújtani.

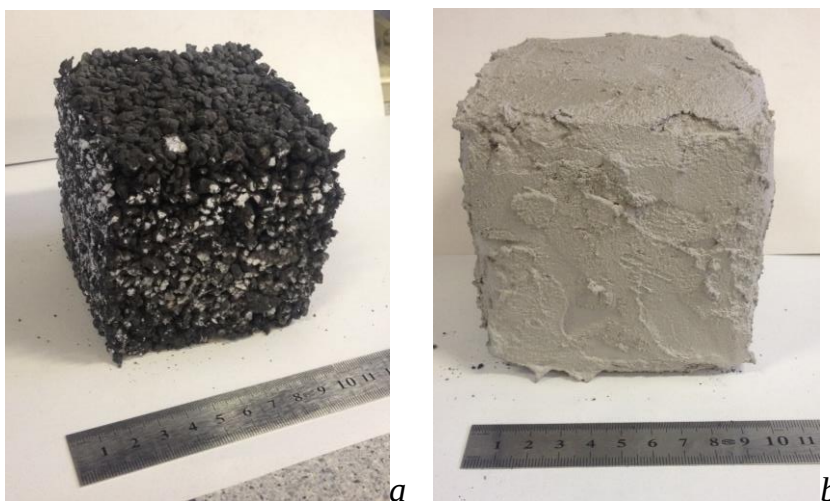
A **tűzterjedés vizsgálata épülethomlokzaton** (MSZ 14800-6:2009) szabvány többek közt homlokzati bevonatok, burkolatok és homlokzati hőszigetelőrendszerek minősítéséhez használható. Az eljárás során egy szabványban rögzített módon kialakított modell épületen történik a tűz terjedésének vizsgálata [4, 5, 6].

MINTAANYAG ÉS MÉRÉSEK

A vizsgálatok során kétféle próbatesttel dolgoztunk, egyrészt a kísérleti polisztirol geopolimer kompozit próbatestekkel, melyeket jelen esetben nem vontunk be ragasztóval vagy egyéb más bevonattal, másrészt ragasztóval bevont EPS próbatesteket használtunk. A célunk az volt, hogy a különböző próbatestek nem szabványos éghetőségi és a gyúlékonyság vizsgálatának eredményeiről megállapításokat tehessünk.

A polisztirol tartalmú geopolimer receptúrája a következők szerint épül fel: mintatestek 90 V/V%-a expandált polisztirol (EPS), 10 V/V%-a kötőanyag; EPS sűrűsége $13,4 \text{ kg/m}^3$, a kötőanyag sűrűsége 1856 kg/m^3 . A kötőanyag: 55%-a pernye, 45%-a lúgos aktiváló oldat. A mintatestek geometriai méretei: $90 \times 90 \times 90 \text{ mm}$.

A polisztirol-geopolimer kompozit alapanyagot a bekeverést követően formába öntöttük, majd 24 órás pihentetés után hőkezeltük (60°C). A bevonatolásra még nem áll rendelkezésre megfelelően kidolgozott technológia, a későbbiekben vizsgálandó az EPS esetén használt ragasztóréteg vékonyabb rétegben, vagy maga a geopolimer kötőanyag.



1. ábra

A nem szabványos éghetőségi vizsgálatok során alkalmazott próbatestek:
(a) kísérleti keverék, (b) ragasztóval bevont EPS

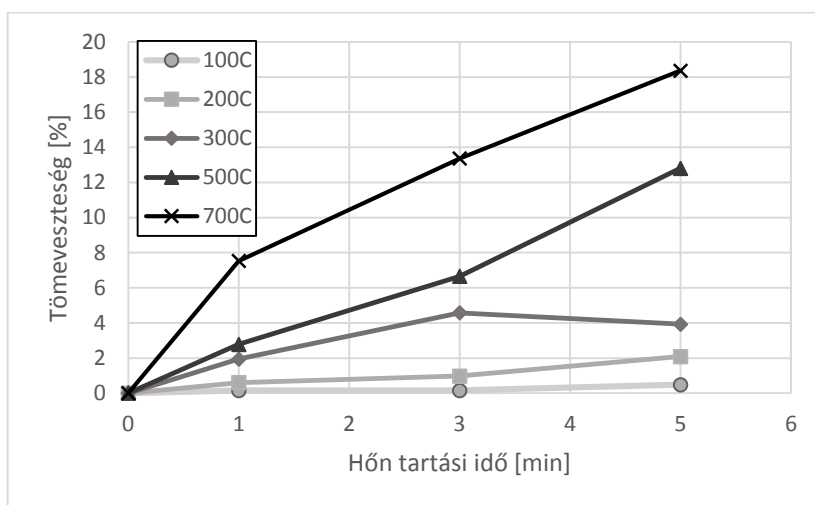
A kísérletek során felhasznált ragasztóanyagot (gyártó: Baumit Kft., termék: Duocontact, összetétel: cement, szerves kötőanyag, homok, adalékszerek) az EPS hőszigetelő lapok homlokzaton való rögzítésére alkalmazzák a mindennapi gyakorlatban. A próbatestek ($90 \times 90 \times 90 \text{ mm}$) egész felületét bevontuk a ragasztóval, majd két nap kötési idő után elvégeztük a nem szabványos éghetőségi vizsgálatokat. Kb. 3...4 mm vastag ragasztó bevonatot képeztünk az EPS kocka körül.

EREDMÉNYEK

Nem szabványos éghetőségi vizsgálatok eredményei

A vizsgálatok során, amely a szabványos nem-éghetőségi vizsgálat alapján került kidolgozásra, a próbatesteket egy zárt kemencébe helyeztük el 100, 200, 300, 500 és 700 °C hőmérsékleteken 1, 3 és 5 percig történő hőn tartási időkkal.

A **kísérleti keverék** esetén a vizsgálatokat egy-egy próbatesttel végeztük el 7 napos korukban, a meghatározott hőmérsékleteken és hőntartási időkön. A 2. ábra mutatja be a mért tömegvesztés a hőn tartási idő függvényében különböző hőmérsékletek esetén (100-700 °C).

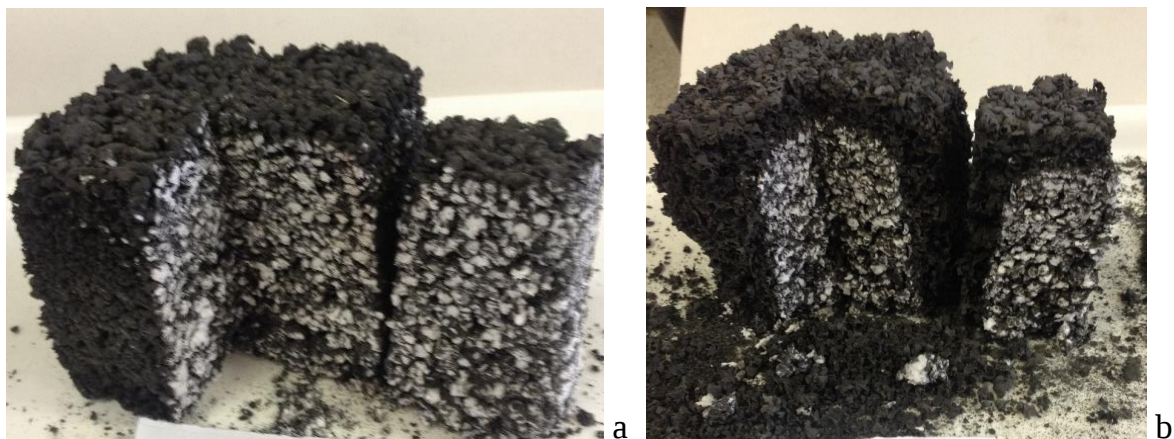


2. ábra

A vizsgálatok során mért tömegvesztés a hőntartási idő függvényében különböző hőmérsékletek esetén (100-700 °C)

A tömegvesztés az idő és a hőmérséklet növekedésével fokozatosan növekszik. A kísérletek során tapasztalt égési jelenségek a következők voltak. 100°C esetén 1-5 perc alatt nem történt semmilyen szemmel látható változás a próbatestek szerkezetében. 200°C hőmérsékleten 1 perc alatt nem történt szemmel látható szerkezeti változás, 2 perc alatt a próbatest felső felülete kiégett, 5 perc alatt az élek is kiégték. 300°C-os hőmérsékleten 1 perc alatt az élek kiégték, 2 perc alatt az élekből kiindulva a kiégett terület növekedett az anyag belseje felé, 5 perc alatt a próbatest külső felülete kiégett. 500°C hőmérsékleten 1 perc alatt a külső felület kiégett, erősen morzsolódik az anyag, a 2 perc és 5 perc alatt a kiégett terület mennyisége egyre növekszik.

700°C hőmérsékleten az 1 perces próbatestnél a kemence hőmérséklete 620°C-ra csökkent. Ezen a hőmérsékleten a próbatestek szerkezete drasztikusan leromlott, morzsolódott.

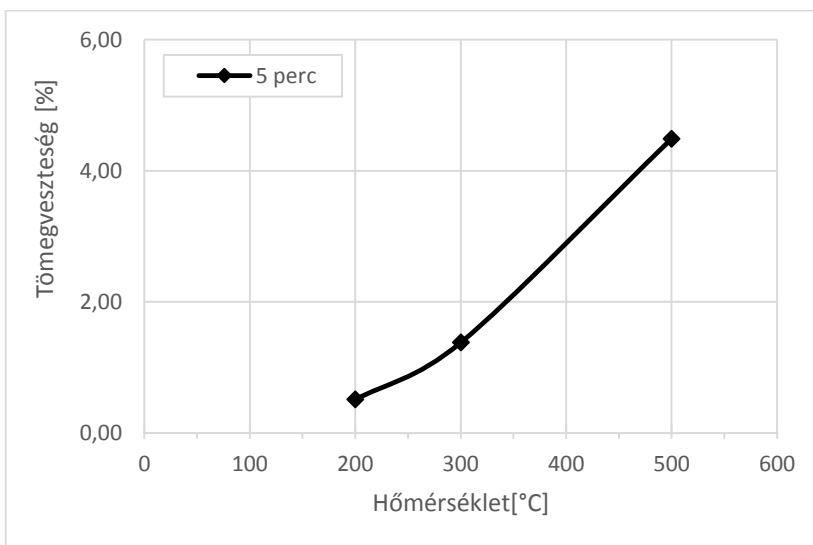


3. ábra

A vizsgálat utáni próbatestek 200°C (a) és 500 °C (b) hőmérsékleten 5 perc tartózkodási idő után

A metszeteken (3. ábra) megfigyelhető, hogy 200°C hőmérsékleten 5 perces tartózkodási idő esetén a geopolimerbe ágyazott EPS jelentős része nem károsodott. A további hőmérsékletnövekedés hatására tovább romlott a mintatest szerkezete, de a legmagasabb hőmérsékleten is (700°C) volt még ép EPS golyó a mintatest belsejében, de a próbatest összeomlott, alakját veszítette. Az EPS jelentős része kiégett 700°C-on, 5 perc alatt. Ez a minta be is lobbant a kemence ajtajának nyitásakor.

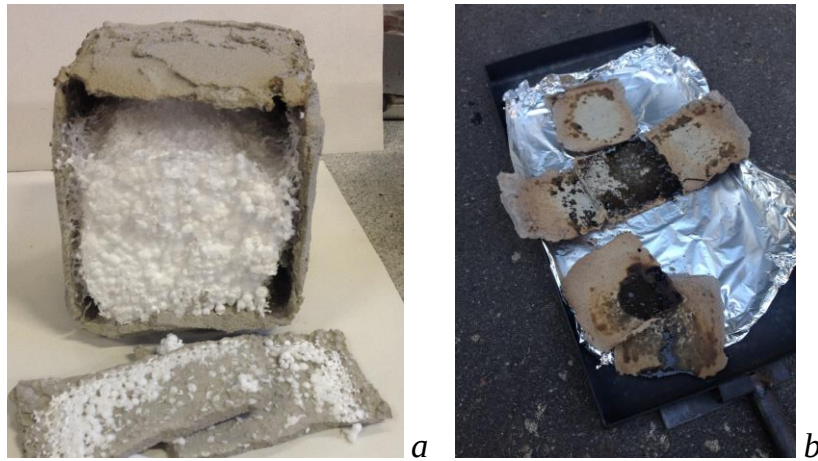
A **ragasztóval bevont EPS**-sel végzett kísérlet során mért tömegveszteségeket a hőmérséklet függvényében 5 perc tartózkodási idő esetén a 4. ábra szemlélteti. Az EPS tömege a próbatest egészének átlagosan a 2,6 %-a. A kísérlet során mért tömegveszteséget a ragasztóanyag nedvességtartalmának távozása, majd a további csökkenést az EPS égése okozhatta.



4. ábra

Az ragasztóval bevont EPS próbatest vizsgálata során mért tömegveszteség a hőmérséklet függvényében 5 perc tartózkodási idő esetén

Megállapítható, hogy tömegveszteség nő a hőmérséklet hatására. 200°C-on 5 perc tartózkodási idő után a ragasztó elkezdett megrepedni, de az expandált polisztirol szerkezete nem zsugorodott. 300°C-on 5 perc tartózkodási idő után a ragasztó bevonat az élek mentén végigrepedt, a próbatest egyik oldalát leválasztva látható (5. ábra), hogy az EPS hab elkezdett zsugorodni.



5. ábra

A ragasztóval bevont EPS 5 perc hőntartási idő esetén 300°C-on (a) valamint 500°C-on (b)

Látható, hogy 500°C-on 5 perc tartózkodási idő után a ragasztóval bevont EPS tönkrement. Az expandált polisztirol elégett, és a ragasztós bevonat az élek mentén szétesett.

Gyúlékonyság vizsgálata

E vizsgálati módszert a szabványos gyúlékonysági vizsgálat alapján dolgoztuk ki azzal a különbséggel, hogy az égéstermék összetételét nem vizsgáltuk. Megállapítható, hogy a 3...4 mm vastagságban ragasztóval bevont EPS próbatestet a ragasztó jobban védte a lángtól, míg a kb. 1 mm vastagságú geopolimer külső rétegben bevonatolt (beágyazott) EPS gyöngyök kiégték a láng közvetlen közelében.



6. ábra

Geopolimerbe ágyazott EPS (a) és ragasztóval bevont EPS próbatestek (b) esetén a gyúlékonyság vizsgálata

A geopolimerbe ágyazott EPS minta esetén a vizsgálat során a tápláló láng nem lobbant fel jelentős mértékben, lepergő, égő cseppek nem képződtek, a lángban lévő területen az EPS gyöngyök kiégték.

ÖSSZEGZÉS

A nem szabványos éghetőségi vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a lehűlt szilárd égéstermék tömege legalább 75%-a a kemencébe helyezett mintáénak. A kísérleti keverék vizsgálata során megfigyelhető, hogy 200°C hőmérsékleten 5 perces tartózkodási idő esetén a geopolimerbe ágyazott EPS jelenetős része nem károsodott, csak a próbatest felületén tapasztaltunk kismértékű károsodást, ezt a mért tömegveszteség is alátámasztja (2,1 %). A további hőmérsékletnövekedés hatására romlott a mintatest szerkezete (5 perc hőntartási idő 300°C-n 3,9 % 500°C-on 12,8 % tömegveszteséget mértünk), de a legmagasabb hőmérsékleten is (700°C) volt még ép EPS golyó a mintatest belsejében (tömegveszteség: 18,4 %).

A ragasztóval bevont EPS szigetelőanyaggal végzett vizsgálatok alapján (5perc hőntartás minden esetben) a következőket figyeltük meg: 200°C-os hőmérsékleten a ragasztó elkezdett megrepedni, de az expandált polisztirol szerkezete nem kezdett el zsugorodni; 300°C-on a ragasztó bevonat az élek mentén végigrepedt, és az EPS hab elkezdett összezsugorodni. 500°C-on a ragasztó bevont EPS tönkrement (tömegveszteség: 4,5 %). Az expandált polisztirol elégett, és a ragasztós bevonat az élek mentén szétesett.

A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a kísérleti keverékbe ágyazott EPS-es minták esetén a hőmérséklet növelésével ill. az idő előrehaladtával a polisztirol egyre mélyebb rétegekből ég ki, azonban ez a fokozatosság előnyös lehet tűzvédelmi szempontból. További megállapítás, hogy a geopolimer tartalmú minták esetén jellemzően a hőntartás után is megmaradt egy belső szilárd szerkezet.

A gyúlékonyság vizsgálata során mindkét típusú minta esetén a tápláló láng nem lobbant fel jelentős mértékben, lepergő, égő cseppek nem képződtek.

A további terveink közt szerepel a félüzemi méretekben előállított próbatestek, valamint a bevonatolt kísérleti keverék vizsgálata éghetőség és lángállóság szempontjából.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány az „Innovatív, környezetbarát szigetelőanyag piacorientált kutatás-fejlesztése polisztirol másodnyersanyag hasznosításával” című, PIAC_13-1-2013-0124 azonosítószámú projekt keretében, az Új Széchenyi Terv támogatásával valósult meg.

IRODALOM

- [1] Gábor Mucsi, Sanjay Kumar, Barnabás Csőke, Rakesh Kumar, Zoltán Molnár, Ádám Rácz, Ferenc Máдай, Ákos Debreczeni: **Control of geopolymer properties by grinding of land filled fly ash.** INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERAL PROCESSING 143: pp. 50-58. (2015)
- [2] Gábor Mucsi, János Lakatos, Zoltán Molnár, Roland Szabó: **Development of geopolymer using industrial waste materials.** In: Donatas Cygas, Tomaz Tollazzi. The 9th International Conference “ENVIRONMENTAL ENGINEERING”: Book Series: International Conference on Environmental Engineering (ICEE) Selected papers. Konferencia helye, ideje: Vilnius, Litvánia, 2014.05.22-2014.05.23. Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University Press, 2014. Paper 39.
- [3] Mucsi Gábor, Debreczeni Ákos, Máдай Viktor, Dudok Tímea, Csőke Barnabás: **Development of hydraulic binder using industrial wastes (Hidraulikus kötőanyag fejlesztése ipari hulladékokból).** ÉPÍTŐANYAG 63:(1-2.) pp. 28-32. (2011)
- [4] Varga Ádám István: **A homlokzati tűzterjedés vizsgálati módszere és a minősítés hatása az épületek tűzbiztonságára,** szakdolgozat SZIE – Ybl Miklós Építéstudományi Kar Budapest, 2013.
- [5] ISO 1182:2010 **Reaction to fire tests for products - Non-combustibility test**
- [6] ISO 11925-2:2010 **Reaction to fire tests -- Ignitability of products subjected to direct impingement of flame -- Part 2: Single-flame source test**