

SZAKDOLGOZAT

OE-YBL
2023.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Horváth Gergely





ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Horváth Gergely

Szakdolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: Tűzvédelmi szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Szalma alapanyagú szigetelések vizsgálata

A dolgozat címe angolul: Study on straw based insulations

A feladat részletezése: A szalma alapanyagú szigetelések használhatóságának vizsgálata, hagyományos anyagú szigetelésekkel történő összehasonlítása.

Intézményi konzulens neve: Orsó Renátó

Külső konzulens neve: Dr. Kerekes Zsuzsanna

Munkahelye: Nemzeti Közszerológati Egyetem

A kiadott téma elévölési határideje: 2027. 12. 31.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet
1446 Budapest, Thököly út 74.
1442 Budapest, 70., Pf. 117.

Kiadva: Budapest, 2023. 10. 30.

P.H

[Signature]
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2023. 12. 15.

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar

SZAKDOLGOZAT KONZULTÁCIÓS NAPLÓ

Hallgató neve:

HORVÁTH GERGELY

Neptun Kód:

[REDACTED]

Tagozat:

Tűzvédelmi szakmérnök

Telefon:

[REDACTED]

Levelezési cím:

[REDACTED]

Szakedolgozat címe magyarul:

Szalma alapanyagú szigetelés vizsgálat

Szakedolgozat címe angolul:

Study on straw based insulations

Intézményi konzulens:

ORSZ. RENÁTO

Külső konzulens:

DR. KERÉKES ZOLTÁN

Alk.	Dátum	Tartalom	Aláírás
1.	2023. okt. 6	Ismerkedtetési iránymű	ke
2.	2023. nov. 3	Ismerkedtetési eredmények	ke
3.	2023. nov. 17	Labor, egyetemi vizsgálatok	ke
4.	2023. dec. 4	Eredmények értékelése	ke

A Konzultációs naplót összesen 4 alkalommal az egyes konzultációk alkalmával kell láttamoztatni bármelyik konzulenssel.

A hallgató a „Szakedolgozat” tantárgy aláírási követelményét teljesítette.

[Signature]

Intézményi konzulens

Óbudai Egyetem



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Ybl Miklós Építéstudományi Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott HORVÁTH GERGELY hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 20. 23. 12. 10.

hallgató aláírása

Köszönöm dr. Kerekes Zsuzsannának/Stverteczky Zsoltnak/Orsó Renátónak/Modes
Péternek/Gábor Szabolcsnak

SZALMA ALAPANYAGÚ SZIGETELÉSEK VIZSGÁLATA

Összefoglalás:

Az emberiség több ezer évvel ezelőtt már használta a szalma alapanyagú építőanyagokat, azonban az idők során ezeket egyre inkább felváltották a modern ipari termékek. Bár a szalma alapanyag használata manapság újból egyre népszerűbb, azonban még mindig jócskán elmarad a hagyományos alapanyagokhoz képest. Számtalan előnyük mellett több hátrányuk is ismert, de talán a tévesen gondolt tűzveszélyességük az, ami a leginkább visszatartja az ezen típusú anyagok használatát. A dolgozatomban bemutatom a szalma típusú alapanyag előnyeit, hátrányait, valamint ezen felül több konkrét szigetelés tűzveszélyességét is vizsgálom. Összehasonlítom a szalma alapanyagú, illetve a hagyományos alapanyagú szigetelések hőjének és füstjeinek képződését. A kísérletek során arra voltam kíváncsi, hogy mely égéskésleltető szerek a leghatékonyabbak, és hogy milyen módon érdemes kezelni a szalmát annak érdekében, hogy az a számunkra legkedvezőbb eredményre vezessen.

Kulcsszavak: tűzvédelem, szalma, környezetbarát, fenntarthatóság

STUDY ON STRAW BASED INULATION

Abstract:

Straw-based building materials have been used by mankind for thousands of years, but they have been increasingly replaced by modern industrial products. Although the use of straw as a raw material is becoming more popular again today, it still lags far behind traditional materials. Many of the advantages of straw are accompanied by a number of disadvantages, but it is perhaps the misconceived perception of its fire hazard that is the main deterrent to the use of this type of material. In this thesis, I will present the advantages and disadvantages of straw-type materials and also investigate the fire hazard of several specific insulation materials. I compare the heat and smoke generation of straw-based and conventional insulation materials. In the experiments, I wanted to find out which flame retardants are the most effective and how to treat the straw to get the best results for us.

Keywords: fire protection, straw, eco-friendly, sustainability

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS.....	9
2.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	10
2.1.	Szalma fogalma, tulajdonságai	10
2.2.	Szalma fizikai tulajdonságai.....	10
2.2.1.	<i>A szalma hőszigetelő tulajdonságai.....</i>	10
2.2.2.	<i>A szalma akusztikai tulajdonságai.....</i>	12
2.3.	A szalma használatának ökológiai vonatkozása	13
2.4.	Építőiparban használatos szigetelőanyagok, valamint a szalma égése és égéstermékeik .	14
2.4.1.	<i>Tűzesetek során képződő polimer anyagok égéstermékei.....</i>	15
2.4.2.	<i>A közetgyapot hőszigetelő égése és égéstermékei.....</i>	19
2.4.3.	<i>Szalma égése.....</i>	20
2.5.	A szalma égéskésleltetése.....	21
2.5.1.	<i>Égéskésleltető szerek</i>	21
2.5.2.	<i>Követelmények az égéskésleltetőkkel szemben</i>	21
2.5.3.	<i>Az égéskésleltetés mechanizmusa</i>	22
2.6.	Európai laboratóriumi vizsgálatok a szalma.....	25
2.7.	tűzzel szembeni viselkedésére	25
2.8.	Vonatkozó szabványok.....	27
2.8.1.	<i>MSZ EN 13501-1</i>	27
2.8.2.	<i>MSZ EN ISO 11925-2</i>	27
2.8.3.	<i>MSZ EN 13823 (SBI)</i>	28
2.9.	Jogi háttér	29
3.	PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA	33
4.	LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK	34
4.1.	Vizsgált minták.....	34
4.1.1.	<i>Vizsgálatok előkészítése.....</i>	34
4.1.2.	<i>Égéskésleltető szerek és alkalmazásuk.....</i>	34
4.1.3.	<i>Vizsgált anyagok.....</i>	37
4.2.	Vizsgálati módszerek	39
4.2.1.	<i>MSZ EN ISO 11925-2:2011 közvetlen lánghatás</i>	39
4.2.2.	<i>A minták előkészítése.....</i>	39
4.3.	A mérések.....	41
5.	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS MÉRNÖKI JAVASLATOK	46

6.	HIVATKOZÁSOK	48
----	--------------------	----

1. BEVEZETÉS

A szalma alapanyagú építőanyagokat az emberiség már több ezer évvel ezelőtt is használta. Becslések szerint az első szalmaépítmények már a paleolitikumban (i. e. 1.000.000-10.000) megjelentek, először Afrikában. Hozzánk közelebb, az európai kontinensen még ma is sok olyan ház áll, amelyet több mint 200 száz évvel ezelőtt építettek szalmából és nádból, a legrégebbi szalmabálából készült ház pedig 400 évvel ezelőtt épült.

Mára kiforrott technológiák állnak rendelkezésre, mind a szalmabála építészetben, mind az utólagos hőszigetelésben sokféle technológia található meg. Léteznek önhordó kisbálás és nagybálás épületek. Utóbbiakból akár 4 emeletes épület is építhető más tartószerkezet beépítése nélkül. A legelterjedtebb technológia a vázas rendszerű házaké. Itt zömében egy faváz viseli a szintek és a földem tömegét. A szalma falazatkitöltő és hőszigetelő funkciót kap. Léteznek előre gyártott (paneles) rendszerek is, valamint ezen rendszerek hibridjei is.

A hazai szalmabála építészet 2000-ben kezdődött. Az első években évente 1-2 épület épült. 2012-től egy intenzív ismeretterjesztési kampány eredményeképpen megnövekedett ez a szám. Felmérések szerint a következő években az önerős építkezések száma eléri az évi 50, majd a 150-200-as értéket.

A szalma anyaghasználaton alapuló fejlesztés környezetbarát irányt képvisel, mivel rendkívül alacsony energiaköltséggel gyártják, és kiváló hőszigetelő tulajdonságokkal rendelkeznek, így hatékonyan csökkentheti az épületek energiaszükségletét. Emellett biológiailag lebomlik, amikor élettartama véget ér, ezáltal hozzájárulva a klímaváltozáshoz való alkalmazkodáshoz. Az anyag használata a helyi gazdaságot is fellendítheti, lehetőséget teremtve munkahelyek teremtésére.

Az emberek számára a szalma gyakran negatív asszociációkat kelt, mint például tűzveszély vagy rágcsálók jelenléte, penészesedés. Azonban a megfelelő műszaki megoldásokkal ezek a problémák teljes mértékben kiköszöbölhetnek.

A dolgozat során igyekszem a szalmát, mint építési anyagot összehasonlítani a jobban elterjedt, általában műszaki szempontból kifogástalan, bár kevésbé környezetbarát anyagokkal.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Szalma fogalma, tulajdonságai

A szalma a gabonafélék, például a rizs, búza, zab, árpa, rozs stb. szárított szárából készül, miután betakarították és bálában vagy kötegben tárolják, amely különböző formájú lehet (négyzet, téglalap vagy kerek). Ezek nem tartalmazzák a gabona végződését (mint a széna esetében), ezért alacsony a tápértékük, és nem túl vonzóak a kártevők számára. Kémiai szempontból a szalma főként cellulózt, hemicellulózt és lignint tartalmaz - akárcsak a fa -, de a fától eltérően a szalma igen magas szilikát-tartalommal rendelkezik.

Általában a szalmára a mezőgazdaság maradék termékként, hulladékként tekint, és a legtöbbször vagy a földeken hagyják lebomlani, vagy ledarálják és a talajba keverik a következő terményhez. Esetlegesen elégetik, amennyiben ez az egyetlen módja annak, hogy a gazdák megszabaduljanak tőle. Az ilyen módszerek azonban igen terhelőek a környezet számára, mivel az égetéssel a szalma a növekedési fázisban, a fotoszintézis során elnyelt CO₂-t visszaengedi a légkörbe. Ezen felül az Európai Bizottság annak érdekében, hogy elrettentse a gazdákat attól, hogy a földeiken elégelessék a szalmát a támogatások csökkentését helyezték kilátásba.

A szalma más további területeken is felhasználható. Az állattenyésztésben a madarak vagy állatok alomként használják, az energetika területén pelletként (4 kW/kg kalóriateljesítménnyel), a gombatermesztés talajműtrágyájaként és komposztjaként, és nem utolsósorban az ökológiai építőiparban, ahol technológiai és kulturális reneszánszát éli. [nidushome.com]

2.2. Szalma fizikai tulajdonságai

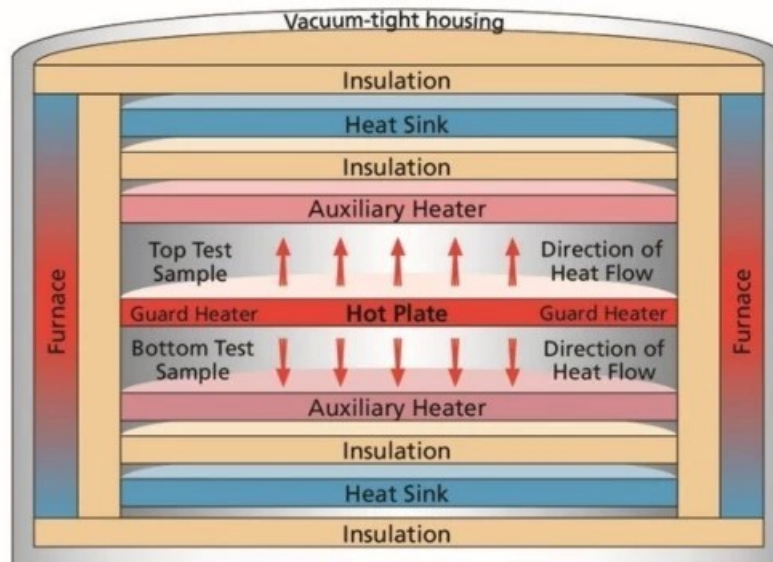
2.2.1. A szalma hőszigetelő tulajdonságai

A szalmabála hőszigetelő képességét három fő tényező határozza meg:

- A szalmabála rostjainak iránya (a hőáramlásra merőleges vagy azzal párhuzamos)
- relatív páratartalom szintje
- szalmabála sűrűsége

Douzane et al. tanulmányt végzett a szalmabála hővezető képességének méréséről Guarded Hot Plate segítségével. Két különböző szálorientációjú mintát vizsgáltak. A 10 °C-on mért hővezetési tényező átlagos értéke 0,072 W/mK és 0,051 W/mK volt a párhuzamos és a

merőleges orientációban. Egy hasonló tanulmány kimutatta, hogy a körülbelül 126 kg/m^3 sűrűségű szalmabálák hővezető képessége, ha a szálak a hőáramlással párhuzamosak, $0,078 \text{ W/mK}$, az áramlásra merőleges irányban pedig $0,056 \text{ W/mK}$. Ezért a szálak megfelelő orientációja, a hőellenállás 28%-os növekedését eredményezi.



1. Kép: Közismert, szabványosított, védett forrólemezes technikák alapján; ISO 8302, ASTM C177 vagy DIN EN 12667. Forrás: <https://analyzing-testing.netzsch.com/en/products/thermal-conductivity>. Letöltés: 2023.10.29. Kulcsszó: ISO 8302

Wei et al. kimutatta, hogy légkondicionálás nélkül a külső hőmérséklet változása több mint 25°C , a szalmabála fal belsejében viszont 3°C . A tanulmány azt is ábrázolta, hogy a szalmabálák porózus szerkezete miatt a magasabb páratartalommal általában nő a hővezetési együttható. A rizsszalma hővezetési tényezője $0,0514 \text{ W/mK}$ volt 10%-os részecske nedvességtartalom (N) esetén, és $0,0519 \text{ W/mK}$, amikor az N 18% volt. Hasonló eredményeket kapott Grelat is a szalmabálák esetében. A 0%, 50% és 90% relatív páratartalom (0%, 15% és 22% nedvességtartalom) alapján végzett mérések a hővezető képesség jelentős növekedését mutatták, $0,064 \text{ W/mK}$ értékkel 0% relatív páratartalom esetén, és $0,069 \text{ W/mK}$ értékkel 22% relatív páratartalom esetén. [MARYAM M. ET AL, 2022]

Kijelenthető tehát, hogy jó hőszigetelő képességgel rendelkezik. A hővezető képessége $\lambda = 0,045\text{--}0,07 \text{ W/mK}$. Összehasonlításképpen: A polisztirol $0,04$; ásványgyapot $0,04$;

Fa 0,2; B30-as téglá 0,6 Tehát a ma alkalmazott modern szigetelő anyagokéval közel megegyező a hőszigetelő képessége.

2.2.2. A szalma akusztikai tulajdonságai

Magyarországon az MSZ 15601-1:2007 szabvány érvényes a hangszigetelésre vonatkozóan, amely az új épületek és épületfunkciók tervezésekor alkalmazandó. Ez magában foglalja az épületbővítést, funkcióváltást és korszerűsítést is. A szabvány iránymutató lehet felújítások esetén is, de fontos, hogy a hangszigetelési tulajdonságok ne romoljanak az átalakítás során. A szabvány meghatározza a minimális hangszigetelési értékeket, amelyek mellett még biztosítható a rendeltetésszerű használat. Fontos megjegyezni, hogy ez nem jelenti azt, hogy egy adott helyiség teljesen zajmentes lesz, vagy hogy az ott tartózkodók ne érzékelik a külső zajokat. Az egyén zajjal szembeni érzékenysége számos tényezőtől függ, beleértve a fizikai és pszichikai állapotát is, így a hangszigetelési követelményeknek valójában csak statisztikai értelemben lehet eleget tenni a nyugodt, rendeltetésszerű használat szempontjából.

Az alábbiakban egy hiteles felmérés eredményei találhatók a szalmabála hangszigetelésével kapcsolatban, amelyeket a bécsi önkormányzat épületfizikai laboratóriuma a bécsi Műszaki Egyetem Gruppe Angepasste Technologie (GrAT) számára készített vizsgálati jelentés tartalmaz. A vizsgálat eredményeit az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien, Technical report. MA 39 – VFA, Prüfbericht über Messungen der Luftschalldämmung einer Strohballenwand mit Fassadenverkleidung bzw. Lehmputz, [2003]

Sorszám	Kialakítás	RW (C; Ctr) [dB]
1	9 cm-es, háromrétegű, keresztirányú rétegelt lucfenyő lemezek	33 (-1; -4)
2	9cm-es, háromrétegű, keresztirányú rétegelt fenyőlemez	48 (-2; -9)
	50 cm-es szalmabála (sűrűsége 120 kg/m ³)	
3	9cm-es, háromrétegű, keresztirányú rétegelt fenyőlemez	53 (-4; -12)
	50 cm-es szalmabála (sűrűsége 120 kg/m ³)	
	5 cm-es függőleges lécek	
	2,2 cm-es lucfenyő lemezek	
4	9cm-es, háromrétegű, keresztirányú rétegelt fenyőlemez	55 (-3; -10)
	50 cm-es szalmabála (sűrűsége 120 kg/m ³)	
	4 cm-es agyaggipsz juta hálóval	

A laza szalma hangelnyelési együttthatója a szokásos hangelnyelő anyagokhoz (ásványgyapot, habok stb.) és más természetes anyagokhoz képest meglehetősen alacsony, elsősorban a szalma mérete miatt, amely nem teszi lehetővé a nyitott porozitás magas értékének elérését. A vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a laza szalma hangelnyelése szinte teljesen független a víztartalomtól. A szokásos 45 cm-es vakolt szalmabálafalak általában nem eléggé hangszigetelők ahhoz, hogy megfeleljenek az építési előírások akusztikai követelményeinek, és hogy a hangszigetelés nem elégséges ahhoz, hogy a szalmabála falak hangszigetelő képességgel rendelkezzenek. [D’ALESSANDRO ET AL ,2017]

2.3. A szalma használatának ökológiai vonatkozása

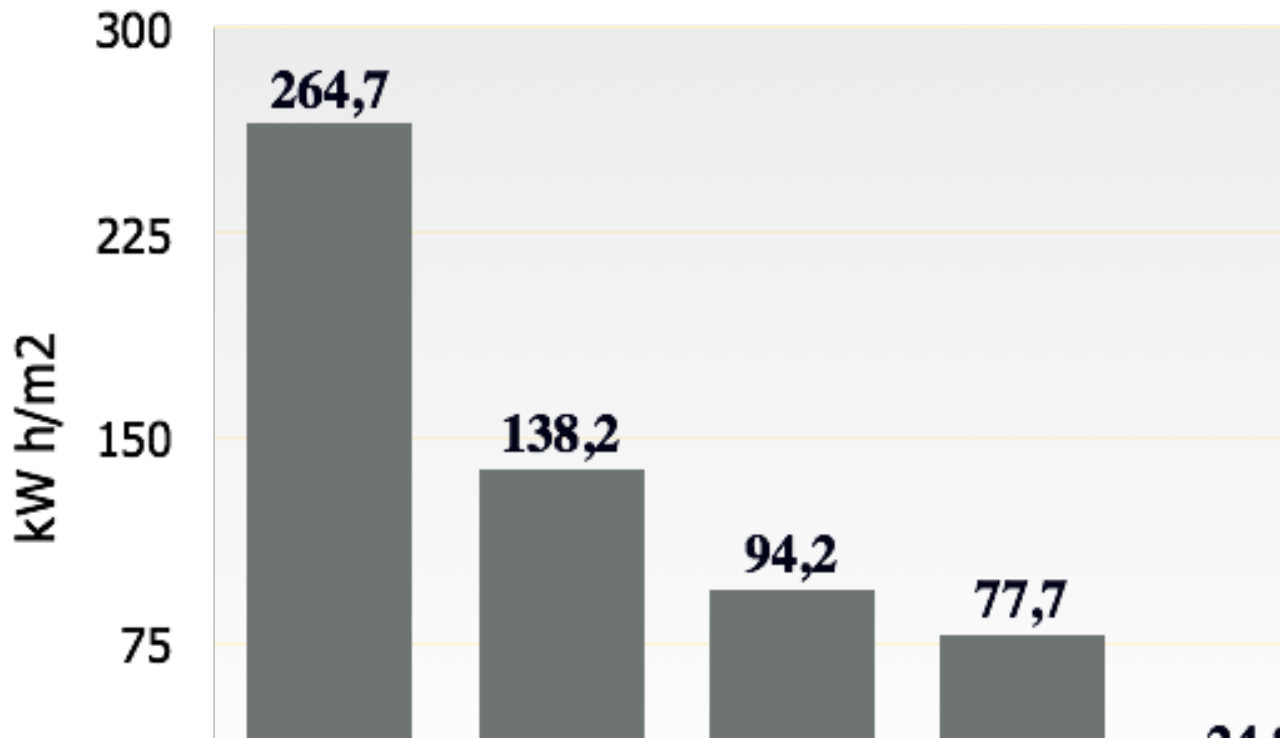
A mezőgazdasági hulladékok újrahasznosítása biomassza kompozit szigetelőanyagok előállításához nagy jelentőséggel bír az erőforrások megtakarítása, az energiatakarékosság és a károsanyag-kibocsátás csökkentése szempontjából. A szalmabála egy mezőgazdasági melléktermék, amely olcsó alapanyagként szolgálhat. Mind a szalma, mind az ahhoz szükséges rögzítő és vakoló anyagok könnyen beszerezhetők. A szalma szigetelőanyagként is használható különböző műszaki megoldásokkal. Az egyik ilyen megoldás az, amikor a szalmabálákat önmagukban használják, és a hőszigetelés vastagsága 35 cm. Ez a vastagság hasonló hőszigetelési hatékonyságot nyújt, mint egy 25-30 cm vastag polisztirol hőszigetelés. Elérhető az ország bármely részében, és a maximális szállítási távolság 20 km. Ezáltal a járulékos (szállítási) energiaigényt és az energiafelhasználást csökkenti.

Rendkívül hosszú élettartammal rendelkezik. A szalma, amely az agyagvakolat alatt helyezkedik el, nem éri károsító hatás. A legrégebbi, ma is álló házak már meghaladták a 100 évet, ami bizonyítja tartósságát.

Lebomló anyag, amely az épületek bontása után bármilyen kezelés nélkül visszatér a természetes körfolyamatokba. Más szigetelőanyagok használata esetén azok ártalmatlanítása és lerakása jelentős feladatot és költséget eredményez, míg a szalma környezetbarát módon lebomlik.

Helyi gazdaságélénkítő hatása van. Általában a szalma és a hozzá szükséges rögzítő és vakoló anyagok helyi gazdasági szereplőktől származnak, így az anyagbeszerzés költségei a helyi gazdaságban maradnak. Ugyanez igaz a beépítéshez szükséges munkaerő biztosítására is. A szalmabálák szigetelés olyan munkalehetőségeket teremt a helyi közösségekben, amelyek segítik a kis- és közepes vállalkozásokat. A szalmabála szigetelés könnyen elsajátítható, így az alacsony képzettségű munkanélküliek számára is lehetőséget kínál a foglalkoztatásra.

Az előállítás során keletkező energiaigény jelentősen csekélyebb más hőszigetelő anyagokhoz képest: Az azonos hőszigetelési szintre vetített szürke energia tartalma: ($U=0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$) [Energia és környezet alapítvány, 2016]



2. Kép: Az előállítás során keletkező energiaigény az azonos hőszigetelési szintre vetítve. Forrás: <https://energiaeskornyezet.hu/8-hirek/47-osszefoglalo-a-szalmabala-hoszigeteles-celu-felhasznalasahoz>.

Letöltés: 2023. 11.10. kulcsszó: szalma, hőszigetelés

2.4. Építőiparban használatos szigetelőanyagok, valamint a szalma égése és égéstermékük

Szilárd anyagok égése

„A legfontosabb fizikai változás, amely minden éghető és égési anyagban végbemegy, a hőmérséklet emelkedése. Az éghető anyag hőmérsékletének növekedése számos alakváltozást okoz (halmazállapot-változás), amelyek részben az égés előfeltételei. Így a szilárd halmazállapotú anyagok folyékony és gáznemű, illetve közvetlen gáznemű állapotba (szublimálás) mennek át.” [RESTÁS Á., 2014]

2.4.1. Tűzesetek során képződő polimer anyagok égéstermékei

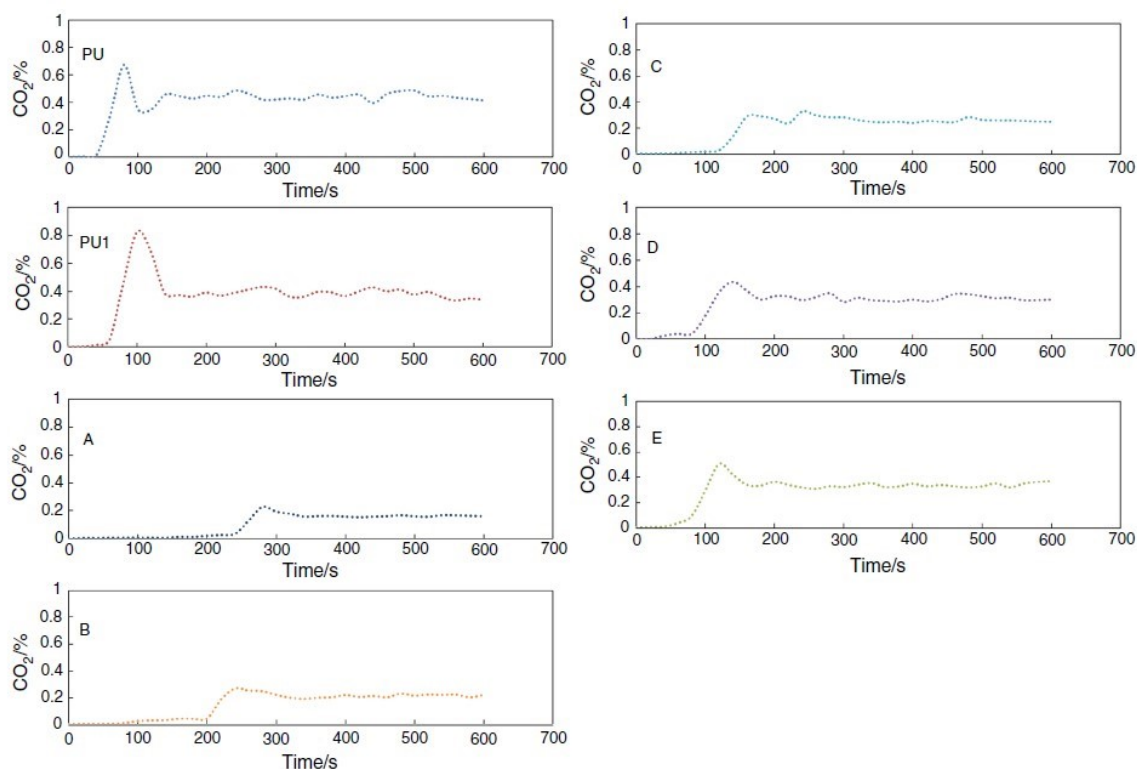
A tűz gyakran előforduló katasztrófa, mely komoly veszélyekkel jár az emberi élet és vagyontárgyaink számára. Számos tűzeset, különösen a nagyobb, illetve a rendkívüli nagy tüzek, közvetlenül vagy közvetve kapcsolódnak az épületek díszítésére vagy szigetelésére használt polimer anyagokhoz. A tűzesetek során a lángok általában kevés áldozatot követelnek, míg a fulladásos füstmérgezés a tűz okozta halálesetek legfőbb okozója. A tűz következtében kialakuló magas hőmérsékletű füst, nem csak felgyorsíthatja a tűz terjedését, de emellett veszélyeztetheti az embereket mivel jelentős mennyiségű mérgező gázokat is tartalmazhatnak, mint például a CO, HCl és HCN. Ezek a gázok könnyedén okozhatnak mérgezést és fulladást, hozzájárulva ezzel a tűzesetekből eredő tragédiákhoz.

Az alábbi tanulmányban az CC-FTIR-t (kúpkaloriméter-Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia) alkalmazták a kúpkaloriméter által kibocsátott füst összetevőinek analizésére. A következő anyagok viselkedését vizsgálták:

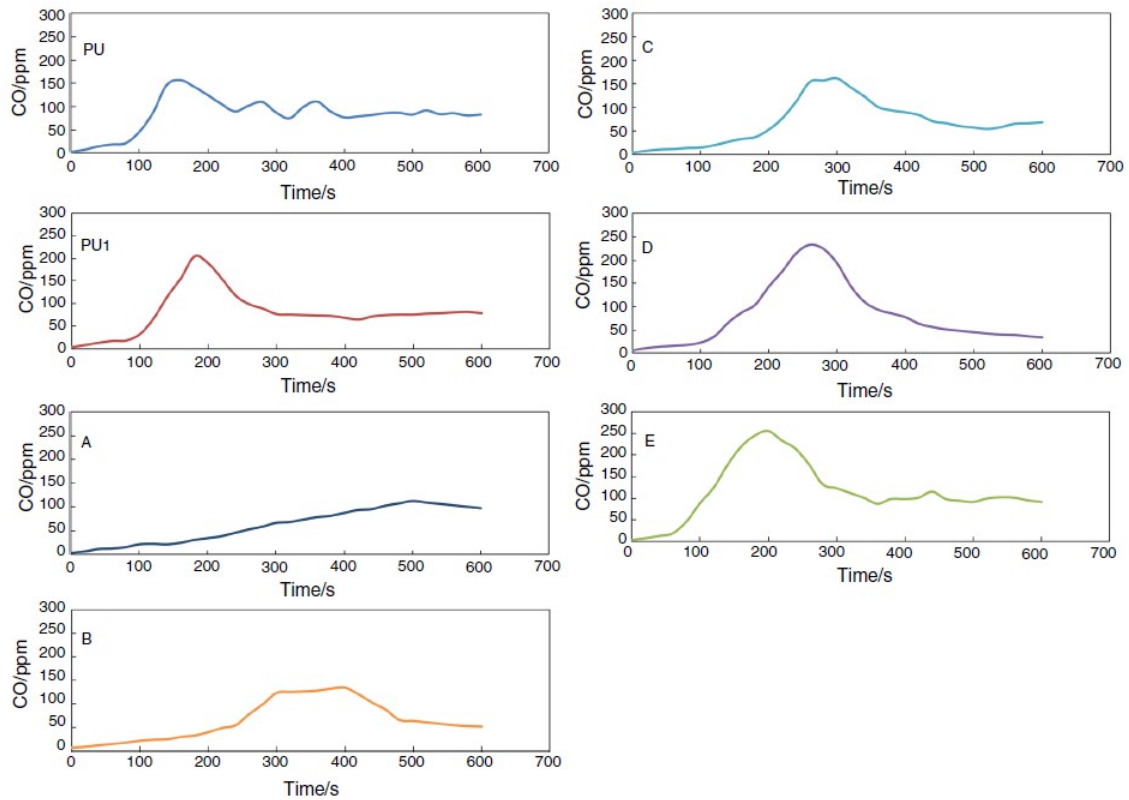
- Poliéter-poliol (PU)
- Poliizocianát (PU1)
- Nátrium-szilikát (A)
- Tri(3-klór-propil)foszfát (B)
- N,N-dimetil-etanolamin (C)
- 1,3,5-Tris[3-(dimetilamino)propil] (D)
- hexahidro-1,3,5-triazin (katalizátor)HCFC-141b (E)

A diagramok megmutatják a CO₂, CO, HCN és NO_x koncentrációját a kísérlet során. A CO₂ és a CO nagyon hasonlóan viselkedtek. A PU és a PU1 nagy mennyiségű CO₂-t termelt a begyújtás után. A „flashover” befejeztével szénmaradvány réteg keletkezett, ami a kompozitok nem teljes égéséhez és a CO-termelés növekedéséhez vezetett. A hibrid polimer anyagok esetében alacsonyabb volt a CO₂ koncentráció a PU és a PU1-hoz képest. Azonban a D és E minták több CO-t termeltek, mert a szerves komponens jobban akadályozta az oxigént, és a D és E mintákban lévő sok szerves komponens nem égett el teljesen. A HCN és NO_x is keletkezett a füstben. A PU és a PU1 sok HCN-t termelt a fellángolás során, és az égésgátló hozzáadása növelte a kibocsátást. A hibrid polimer anyagok által termelt HCN stabilan és alacsony szinten maradt. Bár a PU1 NO_x-görbéje alacsonyabb volt, mint a PU-é, a hibrid polimer anyagok által termelt NO_x túlnyomó része alacsonyabb volt, mint 5 ppm,

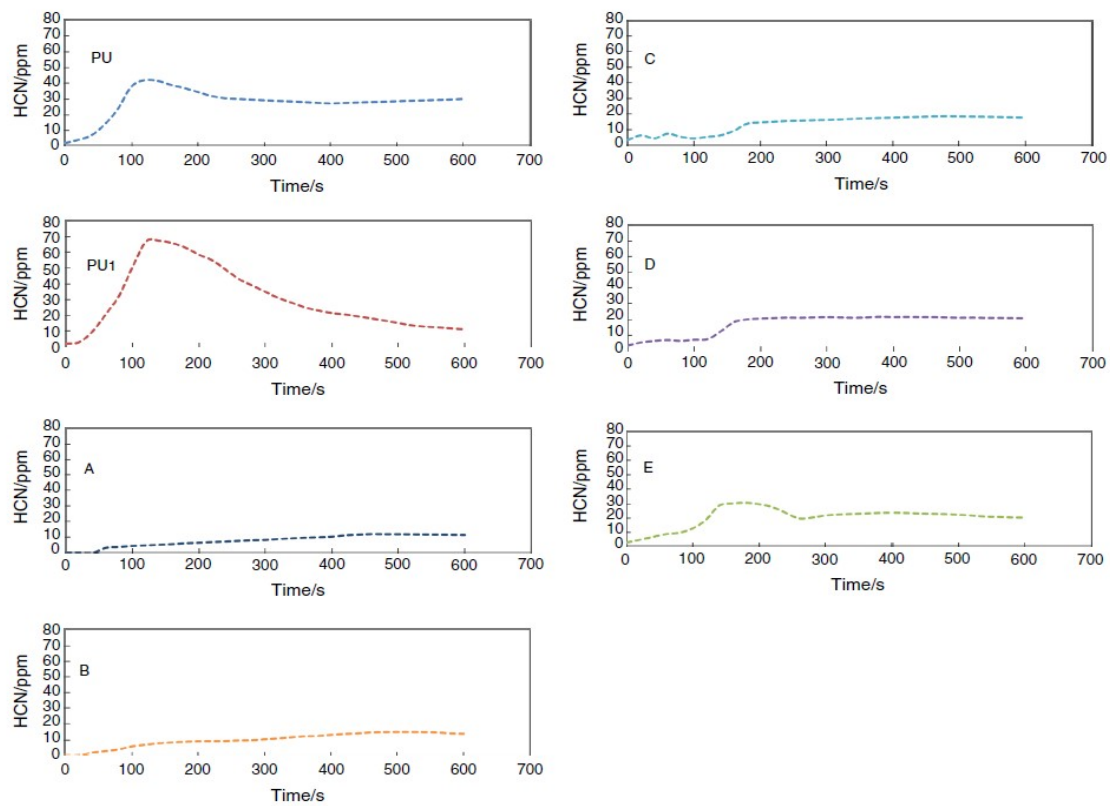
jelezve, hogy a nitrogén nagy része HCN-ben maradt. Emellett az NH_3 és a $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$ is kimutatható volt, bár alacsony szinten. A HCl csak a PU és a PU1 esetében volt kimutatható. Összefoglalva, a PU és a PU1 jelentős mennyiségű mérgező gázt termelt, míg a hibrid polimer anyagok által kibocsátott gázok típusa és mennyisége szignifikánsan csökkent, így a hibrid polimer anyagok kisebb mérgezési kockázatot hordoztak. [JIA-JI, SHAO-HUA, 2019]



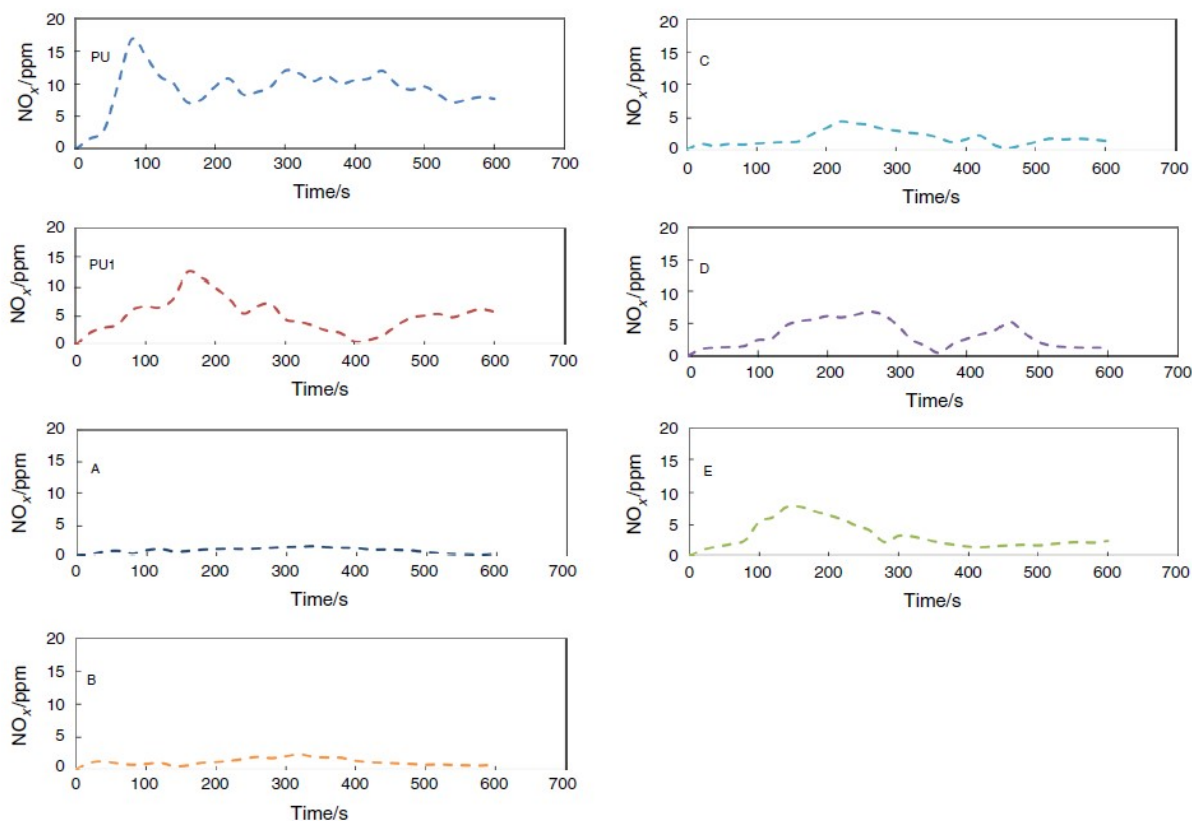
3. Kép: A kompozitok CO_2 görbéi. Forrás: [JIA-JI, SHAO-HUA, 2019]



4. Kép: A kompozitok CO görbéi. Forrás: [JIA-JI, SHAO-HUA, 2019]



5. Kép: A kompozitok HCN görbéi. Forrás: [JIA-JI, SHAO-HUA, 2019]



6. Kép: A kompozitok NO görbéi. Forrás: [JIA-JI, SHAO-HUA, 2019]

Az expandált polisztirol szigetelés égése és égéstermékai:

A minta hevítésének hatására 900 °C-ig, a tömeg 97,5%-át veszítette el. Azon belül a jelentős tömegvesztés 350 °C és 400 °C között jelentkezett (kb. 82%). Ebben az időszakban a polimer anyag bomlott és elégett, amihez exoterm hőhatás társult.

A bomlás első szakaszában (116 °C alatt) a fizikailag elnyelt víz távozott a mintából.

A második szakaszban (300-400 °C) többek között szén-dioxid (CO^{++} , 44 m/z), víz (H_2O^+ , 18 m/z), valamint különféle szerves maradékanyagok (CH_2^+ , 14 m/z; C_2H_3^+ , 27 m/z; C_4H_9^+ , 57 m/z; C_6H_5^+ , 77 m/z) képződtek.

A 334,5 °C és 406,6 °C közötti exoterm csúcsok azt mutatják, hogy a minta elégett ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}^+$, 60 m/z). [RAGÁCS ET AL, 2018]

A poliuretán hab hőszigetelő égése és égéstermékai:

A bomlás először a víz abszorpciójának eltávozásával indul (132 °C alatt).

A második szakaszban, 132 és 409 °C között, jelentős tömegvesztés figyelhető meg, és ezzel párhuzamosan a DTA görbéken endoterm (255,9 °C) és exoterm (327,8 és 353,5 °C) csúcsok jelennek meg. Az előbbi a bomlásra, míg az utóbbiak az elégett anyag és a

kibocsátott gázok égésére utalnak. A gázanalízis alapján a szén-dioxid (CO^{++} , 14 m/z), víz (H_2O^+ , 18 m/z) és több egyéb szerves maradékanyag (CH_2^+ , 14 m/z; NH^+ , 15 m/z; C_2H_3^+ , 27 m/z; CO^+ , 28 m/z; C_4H_9^+ , 57 m/z; NHCO_2^+ , 59 m/z; C_6H_5^+ , 77 m/z), amelyek a poliuretán mintából származnak, távoznak el. Ahogyan az expandált polisztirol hőszigetelő esetében is, a poliuretán hab bomlása is 100 °C felett kezdődött, és a 900°C-os hevítés során a vizsgált minta tömegének 93,78%-át veszítette el. [RAGÁCS ET AL, 2018]

A tűzgátló PUR égése és égéstermékai:

A tűzgátló hab, 900 °C-os hevítés hatására, elveszítette tömegének 93%-át.

A hevítés folyamán a minta több lépcsőben bomlott és égett el, és mindezt exoterm hőhatások kísérték. A kibocsátott gázok között szén-dioxid (CO^{++} , 14 m/z), víz (H_2O^+ , 18 m/z) és további szerves részecskéket is észleltünk (CH_2^+ , 14 m/z; NH^+ , 15 m/z; C_2H_3^+ , 27 m/z; CO^+ , 28 m/z; C_4H_9^+ , 57 m/z; NHCO_2^+ , 59 m/z; C_6H_5^+ , 77 m/z). [RAGÁCS ET AL, 2018]

Az Aerogél (Pyrogél) típusú hőszigetelő égése és égéstermékai:

Ez az új típusú hőszigetelő anyag a vizsgált minták közül a legstabilabb. Annak ellenére, hogy még nem terjedt el széles körben, a tulajdonságai alapján alkalmas tűzveszélyes helyekre is. Tömegvesztesége valamivel kedvezőbb, mint a kőzetgyapotnál (5,5%). A kedvező termoanalitikai viselkedése valószínűleg annak köszönhető, hogy nem tartalmaz ragasztó anyagokat.

A bomlása két lépcsőben zajlott. Az első lépcsőben adszorbeált és kemisorbeált víz távozott a mintából (123°C alatt).

A második lépcsőben gázfejlődés figyelhető meg, amely során a képződő gázok között szerepelt szén-dioxid (CO^{++} , 14 m/z), víz (H_2O^+ , 18 m/z), valamint különféle szerves maradékanyagok (CH_2^+ , 14 m/z; C_2H_3^+ , 27 m/z; C_4H_9^+ , 57 m/z). [RAGÁCS ET AL, 2018]

2.4.2. A kőzetgyapot hőszigetelő égése és égéstermékai

Az előző két vizsgált hőszigetelő anyaggal összehasonlítva, a 900 °C-os hevítés során a tömegveszteség mindösszesen 6,6% volt.

A bomlás első szakaszában a mintából adszorbeált és kemisorbeált víz távozik (136 °C alatt), majd további három bomlási szakasz következik. A következő lépésekben szén-dioxid (CO^{++} , 14 m/z), víz (H_2O^+ , 18 m/z) és további szerves ionok (CH_2^+ , 14 m/z; C_2H_3^+ , 27 m/z; CO^+ , 28 m/z) távoznak. [RAGÁCS ET AL, 2018]

A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy egy épülettűz során keletkező környezetszennyezés néha nagyobb lehet, mint az épület fűtése által okozott káros anyag kibocsátás. Sajnálatos módon, amit környezetvédelmi szempontból ideális hőszigetelő anyagnak tartunk, az nem mindig felel meg a tűzvédelmi követelményeknek. Egy kivételt képezhet a szalma alapú szigetelés, amely esetlegesen égéskésleltetővel kezelve biztonságosabbá tehető tűz esetén. [RAGÁCS ET AL, 2018]

2.4.3. Szalma égése

A szalma, hasonlóan a fához, főleg cellulózt, hemicellulózt és lignint tartalmaz, azonban eltérően a fától, rendkívül magas szilikát-tartalommal bír. Az alábbiakban a fa termikus bomlásának fázisai olvashatóak, ami nagyon hasonló a szalma termikus bomlásához.

A fa termikus bomlásának mechanizmusa több fázison vezet keresztül a hőmérséklet emelkedés függvényében.

190 C-nál alacsonyabb hőmérsékleten néhány illékony vegyület eltávolodásának fázisa zajlik. 190-280 C hőmérséklet-tartományban a hemicellulózok lényegében gázokká és ecetsavvá alakulnak át. Ez a lépés megfelel a szenesedésnek.

A 250-300 C körüli hőmérséklet-tartományban a lignin és a cellulóz bomlása három terméket eredményez: gáz (az illékony kivonatok és a faanyagszálakra felszívódott kötött víz elpárolog. Illékony melléktermékek, például furfurool vagy hidroximetil-furfurool képződik, a ligninhálózat depolimerizálódik kötés-hasadás vagy dehidratációs reakciók révén, amelyek számos alacsony molekulatömegű fenolos vegyület képződéséhez vezetnek), valamint kátrány és szén keletkezik. Ez a bomlás vízmentes tömegvesztéshez vezet, ami jellemző a fa kémiai átalakulására. [NGUILA ET AL, 2009]

A szalma legfőbb égéstermékei:

5-Hidroximetil-furfurool: Molekuláris képlet $C_6H_6O_3$ Moláris tömeg 126,1 g/mol. Színtelen, vagy világos barna, kellemes szagú folyadék, éghető. A szervezettel érintkezve a bőrfelületet, a szemet, a légutakat izgatja, illetve ingerli. Gőzei a levegővel robbanó és mérgező elegyet alkotnak. Szagküszöbértéke 1,6 mg/m³, MAK értéke 20 mg/m³.

A fenol (régi nevén karbolsav) jellegzetes illatú, színtelen, kristályos szilárd anyag, amelyben egy benzolgyűrűhöz egy -OH csoport kapcsolódik. Képlete C_6H_5OH . Legnagyobb mennyiségben a kőszénkátrányban fordul elő. Az aminosavak közül a tirozin tartalmaz fenol oldalláncot. Fertőtlenítő hatású, a fehérjéket denaturálja, kicsapja. Bőrrel érintkezve, szembe

kerülve maró hatású. Lenyelve vagy belélegezve mérgező. A szervezet D-glükuronsav-fenilglikoziddá alakítja, és így hatástalanítja. [vilaglex.hu]

Kátrány, szén.

2.5. A szalma égéskésleltetése

Az óriási mennyiségű mezőgazdasági hulladék jelentős nyersanyagforrást biztosíthatna az építőiparban használatos szigetelő anyagok előállításához. Azonban a szalma szigetelőanyagok tűzállóságát javítani kell, mielőtt azokat az épületekben használnánk.

A szalmák vegyi összetétele hasonló a fa cellulóz összetételéhez, így a faanyagok tűz elleni védelmére szolgáló anyagok és módszerek használhatók a szalmákra is.

2.5.1. Égéskésleltető szerek

Védőszer, amely a vele kezelt –bevont, átitatott, telített- éghető anyag kedvezőbb tűzvédelmi osztályba sorolását meghatározott időtartamig (újrakezelési időig) biztosítja. A tűzvédelmi osztály égéskésleltető szerekkel B osztályig növelhető fontos információ, hogy 2010. május 10. után a csak a 1048/2005/EK rendeletben meghatározott biocidot⁴ tartalmazó védőszert lehet forgalomba hozni és vele a fát kezelni. Biocid: A biocidok olyan kémiai anyagok vagy mikroorganizmusok, amelyeket kártevő élőlények ellen használnak, és azokat elpusztítja, elriasztja, vagy károsítását bármely más módon akadályozza. Az égéskésleltető vegyi anyagokat öt osztályba lehet sorolni:

- Mechanikus hatású védőszerek
- Olvadékot képző védőszerek
- Habréteget képző égéskésleltető szerek
- Oltógázokat fejlesztő védőszerek
- Faanyag felületét elszenesítő védőszerek

2.5.2. Követelmények az égéskésleltetőkkel szemben

- Az égéskésleltető anyag sem a felhordás során, sem az égési hőmérsékleten ne fejtsen ki az emberi szervezetre káros hatást.
- Ne okozzon számottevő korróziót a fa anyagában és a kezelt faanyaggal érintkező szerkezeti anyagokon (pl.: fém, gumi, műanyag).

- Ne legyen nedvszívó, ne képezzen vízzáró vagy párazáró réteget (ez a szalma rothadásához vezethet)
- Ne növelje a faanyag sebezhetőségét a károkozókkal szemben.
- Legyen környezetbarát anyag

2.5.3. Az égésképleltetés mechanizmusa

Az égésképleltetés mechanizmusának két fő iránya van. Lassítják a fa felmelegedését olyan módon, hogy létrehoznak egy védőréteget a sugárzó hő ellen, vagy hűtő hatással vannak a faanyagra, vízleadással, olvadással, elbomlással, vagy olyan anyagokkal, amelyek elvonják a hőt a környezetből, illetve olyan vegyületekkel, amelyek csökkentik a fa hővezető képességét (ezek elősegítik a fa karbonizációját).

Gátolják a fából származó gázok égését azzal, hogy megakadályozzák az égéshez szükséges oxigén hozzáférését, illetve olyan anyagokat hoznak létre az elbomlás során, amelyek nem éghető gázokat fejlesztenek, és ezáltal hígítják a faanyagból kibocsátott gyúlékony gázokat.

Mechanikus hatású védőszerek:

Ezek a védőanyagok nem éghető borítást képeznek a kezelt felületen, így megakadályozzák a levegő bejutását, mint égéstáplálót. Emellett hőszigetelő hatásuk révén elvezetik a hőt. Azonban hátrányuk, hogy magas hőhatás esetén a felvitt réteg alatt az anyag intenzívebben bomlik, ami hólyagosodást eredményezhet. Ilyen védőanyagok közé tartoznak a vízüvegalapú készítmények és a sóoldatok.

Olvadékot képző védőszerek:

Ezen típusú védőanyagok hatékonyabb védelmet nyújtanak. Hő hatására olvadékot képeznek, amely bejut a fa rostjaiba, elősegítve a felületi szenesedést. Ezek a tulajdonságok inkább a szervetlen sókra jellemzőek.

Habréteget képző védőszerek:

Hő hatására ezek a védőkészítmények habréteget hoznak létre a szigetelőanyagból, amely megakadályozza a bomlástermékek felszínre jutását. Alapanyagként műgyanta kondenzátumot és polivinil-acetátot alkalmaznak, amelyekhez foszforsav származékokat adagolnak a habképződés elősegítéséhez. Ezek a védőanyagok napjainkban a legkorszerűbb és megbízhatóbb bevonati rendszereknek tekinthetők. [FARBÁS K., 2014]

Oltógáz/szenesítés:

A fából készült anyagok kezelését leginkább nitrogén-, foszfor-, halogén- és bórtartalmú vegyületekkel végzik el, például ammónium-foszfáttal, ammónium-halogeniddel, bórsavval és bóraxal a tűzgátlás javítása és az anyagokon a karbonizált réteg kialakulásának felgyorsítása érdekében.

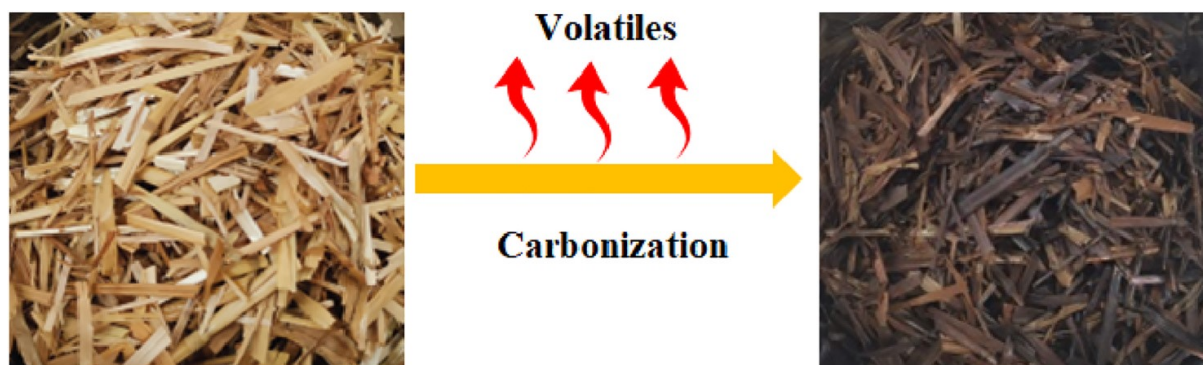
Az ilyen adalékanyagok alkalmazása a bomlási hőmérséklet csökkentéséhez és nagyobb szenesedéshez vezethetnek. Leggyakrabban nitrogént (N), foszfort (P), halogént (Cl, Br) és bört (B) tartalmazó különböző vegyületekkel kezelik a fát, az égéskésleltetés érdekében. Általában megfigyelhető, hogy a termikus bomlás során képződő szén mennyisége összefüggésben van egy adott minta által mutatott lángmentesség mértékével. Az égésgátlók célja az, hogy növelje a szénmennyiséget a fa termikus bomlása során, ezáltal csökkentve a gyúlékony és illékony termékek kibocsátását. Ennek eredményeként a fa kevésbé lesz éghető. Az égésgátlók által kezelt faanyagok magasabb LOI-és szénhozam-értékeket mutatnak, ami hatékony tűzgátlásra utal. A szén tartalmának növekedésével az LOI-értékek is növekednek, ami összhangban van az égésgátló mechanizmusával. Az égésgátlók hozzájárulnak ahhoz, hogy több szén képződjön a termikus bomlás során, ezzel gátolják az égést és növelik az LOI-értéket.

(LOI)- Limiting-oxygen-index (oxigén korlátozó index)

A LOI-érték az oxigén-nitrogén keverékben lévő oxigén minimális mennyisége, amely szükséges az égéshez 3 percig, vagy amíg a minta a felső részétől több mint 5 cm-re el nem fogy. Minél magasabb a LOI-érték, annál hatékonyabb az égésgátló kezelés. [GAO ET AL, 2006]

Elszenesítés:

A szalma szigetelőanyagok tűzgátló képességét úgy is javíthatjuk, hogy részlegesen karbonizáljuk a biomasszát és tűzálló szervesetlen cementáló anyagokat alkalmazunk. A különböző mértékű karbonizálás hatására a nyers biomassza égési hőmérséklete nő, elérheti akár a 258 Celsius fokot is. A kompozit szigetelőanyagon végzett lángszóró tűzállósági vizsgálat kimutatta, hogy a búzaszalma saját oxidációs reakciója jelentősen csökkent a szilárd maradékanyag mennyiségének csökkenésével. Ezen kívül az égés során nem keletkezik füst, és amikor a láng kialszik, a szigetelő anyagban lévő biomassza oxidációs reakciója azonnal leáll. Ezen felül, a karbonizált búzaszalma szigetelő anyagok képesek megőrizni a szerkezeti integritásukat még az égetés közben is. [ZOU ET AL, 2021]



7. Kép: A karbonizáció hatására az éghető anyagok távoznak. Nyers búzaszalma (balra) és karbonizált búzaszalma (jobbra). Forrás: Zou ET AL, 2021

A búzaszalma hidrogén- és oxigénelem-tartalma a karbonizálási fok növekedésével csökken, értékeik 5,82%-ról 41,07%-3,70%-ra, illetve 17,10%-ra csökkennek. Az eredmények azt mutatják, hogy a búzaszalma illékony anyagai fokozatosan felszabadulnak a szilárd maradékanyag arányának csökkenésével. A 39,18%-ról 57,58%-ra növekvő szénmennyiség negatívan korrelál a szilárd maradékanyag arányának 95,5%-ról 36,1%-ra való csökkenésével. A hidrogén- és oxigéntartalom csökkenésével és a széntartalom növekedésével a búzaszalma gyulladási hőmérséklete növekedhet, ami a nyersanyagok égésgátlásának javulását eredményezheti. A nitrogén- és kénelemek tartalma a karbonizált búzaszalmában bizonyos mértékig növekvő tendenciát mutat, de maximális koncentrációjuk $\leq 0,88\%$, illetve $0,2\%$, ami elenyésző mértékű káros hatással van csak a környezetre. [ZOU ET AL, 2021]

2. táblázat: A karbonizálás hatására történt változások. Zou ET AL, 2021

	Hővezető képesség (W/(m·K))	Nyomószi lárdság (MPa)	Tűzzel szembeni viselkedés
Búzaszalma szigetelőanyag	0.101	1.2	Mérsékelt (magas hőmérsékletnek ellenálló kötőanyag; a nyers biomassa magas hőmérsékleten pirolizálódik)
Karbonizált búzaszalma szigetelőanyag	0.061–0.096	0.49–0.82	Jó (magas hőmérsékletnek ellenálló kötőanyag; a biomassa gyulladási pontja javult)

2.6. Európai laboratóriumi vizsgálatok a szalma

2.7. tűzzel szembeni viselkedésére

Szerte Európában végeznek égetési kísérleteket a szalma építőanyagokkal kapcsolatban. Az alábbi négyből egyet Nemetszországban, egyet Ausztriában az EN 1365-1 alapján és kettőt pedig Franciaországban végeztek az EN ISO 11925-2 szabvány alapján.

Szalma gyúlékonysági vizsgálata:

Megbízó: (RFCP) Francia szalmaépítési hálózat

Vizsgálati módszer: NF EN ISO 11925-2 Tűzzel szembeni viselkedés. Építési termékek gyúlékonyságának vizsgálata közvetlen lánghatással szemben. 2. rész: Egyetlen lángforrás vizsgálata.

Dátum: 2010 október

Laboratórium: FCBA laboratórium [Erdő, cellulóz, fa - építőipar, bútortipar]. Bordeaux

Tűzzel szembeni viselkedés eredménye: E osztályozás.



8. Kép: Szalma gyúlékonysági vizsgálata 2010. forrás: https://www.naturel-home.fr/wp-content/uploads/2011/11/feu-.tout-test-feu-rapport_comportement_paille_feu_resume.pdf, letöltés: 2023.11.10.

Kulcsszavak: paille, feu

Egy homlokzati elem tűzzel szembeni viselkedésének vizsgálata

Megbízó: Association Bois & Construction / BET Gaujard Technologies

Vizsgálati módszer: NF EN ISO 11925-2 Tűzzel szembeni viselkedés. Építési termékek gyúlékonyságának vizsgálata közvetlen lánghatással szemben. 2. rész: Egyetlen lángforrás vizsgálata.

Dátum: 2009. október

Laboratórium: CSTB, Szerkezeti-és tűzbiztonsági főosztály, Biztonságtechnikai mérnöki részleg

Tűzzel szembeni viselkedés eredménye: A homlokzat a tűzállósági követelményeknek megfelelt.

9. Kép: Homlokzati elem vizsgálata [2009]. forrás:

https://www.naturelhome.fr/wp-content/uploads/2011/11/feu-.tout-test-feu-rapport_comportement_paille_feu_resume.pdf, letöltés: 2023.11.10.

Kulcsszó: paille, feu



Szalmával és földes vakolattal szigetelt fal tűzzel szembeni viselkedése

Megbízó: Association FASBA (a szalmaépítést népszerűsítő német szövetség)

Vizsgálati módszer: EN 1365-1, Teherhordó elemek tűzállósági vizsgálata 1. rész: Falak

Dátum: 2010. október

Laboratórium: MPA Braunschweig

Tűzállósági teljesítmény: R 90



10. Kép: Szalmával és földes vakolattal szigetelt fal vizsgálata, [2010]. https://www.naturel-home.fr/wp-content/uploads/2011/11/feu-.tout-test-feu-rapport_comportement_paille_feu_resume.pdf, letöltés: 2023.11.10.

Kulcsszó: paille, feu

Szalmával és földes vakolattal szigetelt fal tűzzel szembeni viselkedése

Megbízó: GrAT

Vizsgálati módszer: ÖNORM B, 3800-2, ami az európai EN 1365-1 szabványnak felel meg, Teherhordó elemek tűzállósági vizsgálata 1. rész: Falak

Dátum: 2000. február

Laboratórium: GrAT "Groupe pour la Technologie Appropriée" (Csoport a megfelelő technológiáért), egy nonprofit tudományos egyesület, amely a Bécsi Műszaki Egyetemhez tartozik.

Tűzállósági teljesítmény: R 90 [faisons-le-mur.com]



11. Kép: Szalmával és földes vakolattal szigetelt fal vizsgálata, [2000]. forrás: https://www.naturel-home.fr/wp-content/uploads/2011/11/feu-.tout-test-feu-rapport_comportement_paille_feu_resume.pdf, letöltés: 2023.11.10.

Kulcsszó: paille, feu

2.8. Vonatkozó szabványok

2.8.1. MSZ EN 13501-1

Az EN 13501-1 európai szabvány minden termékre és alkatrészre reagál a tűz besorolására. E szabvány szerint a tűzre adott reakció az, hogy egy termék bizonyos tűz esetén egyben hozzájárul a bomláshoz (nem szabad összekeverni a tűzállósággal).

A termékeket a végfelhasználói alkalmazásokkal kapcsolatban három fő kategóriába sorolják:

- Építési termékek;
- Padló;
- Lineáris cső hőszigetelő termékek;

Az építési termékeket az A1, A2, B, C, D, E és F Euroclasses harmonizált vizsgálati módszerei szerint osztályozzák. Az adott osztályba sorolt termékeket úgy kell tekinteni, hogy azok megfelelnek minden alosztály követelményeinek.

Az A1 és az A2 osztályba sorolt termékek nem gyúlékonyak (cement, beton, ásványi anyagok, üveg, üvegszál, közetgyapot, kerámia stb.), B-től F-ig terjedő minősített anyagok növekvő sorrendben éghetnek.

A padlóanyagokat az A1, A2, B, C, D, E és F osztályok szerint osztályozzák, majd a „fl” rövidítést.

Építési termékek és szerkezeti elemek, tűzvédelmi osztály 1: Besorolás a tűzveszélyes viselkedési vizsgálatokból nyert adatok alapján.

2.8.2. MSZ EN ISO 11925-2

Az EN ISO 11925-2 szabványban bemutatott vizsgálati módszert a gyúlékonyság értékelésére fejlesztették ki. Ennek során a láng terjedését mérni próbálják egy minta függőleges felületén, miután egy kis (gyufa méretű) lángot alkalmaznak rá 15 vagy 30 másodpercen belül. Ezen vizsgálat során megállapítják, hogy a minta lángoló cseppeket vagy részecskéket hoz-e létre, ami attól függ, hogy egy szűrőpapírt helyeznek-e a minta alá, amit meggyújtanak vagy sem. A vizsgálat folyamán a mintát egy kis lángnak teszik ki. A próbatest egy "U" alakú mintatartóban található, amely függőlegesen rögzíti a 250 mm × 90 mm-es mintát. A 20 mm magas propán gázlángot 45 fokos szögben érintkeztetik a mintával. Az alkalmazási pontot a következőképpen határozzák meg:

- Felületi expozíció esetén: 40 mm-rel a minta felületének középvonalának alsó szélén
- Élexpozíció esetén: az alsó él szélességének közepén

A szűrőpapírt a mintatartó alá helyezik, hogy ellenőrizzék a lángoló törmelék lehullását.

A vizsgálati idő és a láng alkalmazási ideje a termékosztálytól függ:

- Az E osztály esetében a láng alkalmazási ideje 15 másodperc, és a vizsgálatot 20 másodperccel a láng eltávolítása után fejezik be.
- A B, C és D osztályok esetében a láng alkalmazási ideje 30 másodperc, a vizsgálat maximális időtartama a láng eltávolítása után 60 másodperc, és a vizsgálatot korábban be kell fejezni, ha nem észlelnek gyulladást, vagy ha a minta égése megszűnik a lángforrást eltávolítják. [Eurolab.net]

2.8.3. MSZ EN 13823 (SBI)

SBI (Single Burning Item) - Építési termékek vizsgálata - a padlóburkolatok kivételével - egy égő tárgy hőhatása esetén. Ezzel a vizsgálattal kiértékelik, mennyire segíti elő egy termék a tűz kifejlődését, ha ugyanabban a helyiségben, a termékhez közeli sarokban egy egyedül égő tárgyat szimulálnak. A modellezett szobasarok 1m*1,5m ill. 0,5m*1,5m-es falait a vizsgálni kívánt építési termékből készítik, ezt "egy égő tárgy" (Single Burning Item) hatásának tesztjük ki, amit a sarokban lévő homokágyon átáramló propángáz lángja modellez. A vizsgálat időtartamának, az égőn átáramló propán tömegáramának, az (LFD - Lateral Flame Spread) kivételével a többi mérési adatot a füstgáz elvezető csőben mérjük (hőmérséklet, O₂-N₂ koncentráció, relatív fényerősség, nyomáskülönbség egy kétirányú szondában). A mért adatokból számítás útján határozzuk meg az un. FIGRA (a tűzterjedés sebességmutatója) és a SMOGRA (a füstképződés sebességi mutatója) értékeket, amelyek az LFS értékével együtt az MSZ EN 13501-1 szabvány osztályba (A2, B, C, D) és alosztályba (s1, s2, s3) sorolási kritériumait adják. További alosztályba sorolás történik aszerint, hogy lángoló részek válnak-e le a próbatest felületéről a vizsgálat folyamán, és mennyi ideig égnak. A mintadarabot vizsgálhatjuk un. normál felszereléssel, amely meg kell feleljen a termék- és vizsgálati szabványban leírtaknak. Ebben az esetben a vizsgálati eredmények szélesebb körű végső felhasználási alkalmazásokra is érvényesek lehetnek. Amennyiben a terméket ún. végső felhasználási formájában vizsgáljuk, a vizsgálati eredmények csak erre az alkalmazási módra érvényesek. Három próbatestet kell megvizsgálni egymást követően, 20-20 perc időtartamú lánghatással, és ezek mindegyikének teljesítenie kell az előírt feltételeket. [PARLAGI, 2005]

2.9. Jogi háttér

Az 54/2014 BM rendelet szerint:

Az OTSZ 12.§-a alapján:

(3) A kockázati egység kockázati osztályát

a) lakó és közösségi alaprendeltetés esetén az 1. melléklet 1. táblázata és a (4)

bekezdés alapján, a kockázati egység

aa) legfelső és legalsó építményszintjének szintmagassága,

ab) legnagyobb befogadóképességű helyiségeinek befogadóképessége és

*ac) rendeltetésszerűen használó személyeinek jellemző menekülési képessége
figyelembevételével kell meghatározni.*

Az 1. Melléklet 1. táblázata szerint a NAK(nagyon alacsony kockázat) besoroláshoz a lakóépületnek meg kell felelnie a következő feltételeknek:

- Építményszint: min.-3,00m, max.+7,00m,
- Legnagyobb befogadóképességű helyiség: 50 fő,
- Rendeltetésszerűen használó személyek jellemző menekülési képessége:

Jelenleg hatályos OTSZ szerint:

IV. tűzállósági fokozatú épületek szerkezeteinek a 16. melléklet 4. táblázatában foglalt követelményeket kell kielégíteniük:

• *teherhordó falak*: 1 szint: "D", RE 15 2 szint: "C" RE 30*

• *vázkitöltő falak: 1 szint: "D" 2 szint: "D" E 15*

V. tűzállósági fokozatú épületek szerkezeteinek a 16. melléklet 5. táblázatában foglalt követelményeket kell kielégíteniük:

• *teherhordó falak*: 1 szint: "D", RE 15*

• *vázkitöltő falak: 1 szint: "E"**

OTSZ szerint, NAK esetén

• *teherhordó falak*: „D”, REI 15 *pinceszint kivételével*

1-2 szintes lakóépületek szalmabála szerkezetének tehát „D” tűzvédelmi osztály elérése lenne az ideális.

OTSZ V. fejezet: általános szerkezeti követelmények 13. §

(1) Építőanyagként nem használhatók fel a vonatkozó műszaki követelményeknek megfelelő vizsgálattal meghatározott, 150°C-nál alacsonyabb gyulladási hőmérsékletű anyagok, kivétel a kátrány, a bitumen, továbbá a kiszáradt festék- és ragasztóanyagok.

(4) Az építési termék, építményszerkezet tűzvédelmi tulajdonságait a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról szóló 1996. évi XXXI. törvény alapján kell igazolni.

...

OTSZ IV. fejezet: Tűzveszélyességi és kockázati osztályba sorolás 9. §

(2) *Tűzveszélyes osztályba tartozik:*

... e) *a vonatkozó műszaki követelmény szerinti eljárással meghatározott, 150°C-nál magasabb gyulladási hőmérsékletű B-F tűzvédelmi osztályú építőanyag.*

305/2011/EU rendelet (CPR)

Az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek.

A szabványosítási megbízások és a harmonizált műszaki előírások kidolgozásának alapját az építményekre vonatkozó alapvető követelmények képezik:

- 1: Mechanikai szilárdság és állékonyság
- 2: Tűzbiztonság
- 3: Higiénia, egészség és környezetvédelem
- 4: Biztonságos használat és akadálymentesség
- 5: Zajvédelem
- 6: Energiatakarékosság és hővédelem
- 7: A természeti erőforrások fenntartható használata

Tűzbiztonság:

Az építményeket úgy kell megtervezni és kivitelezni, hogy tűz esetén:

- a) a szerkezet megőrizze teherhordó képességét egy meghatározott ideig.
- b) az építményben a tűz és füst keletkezése és terjedése csak korlátozottan legyen lehetséges
- c) a tűz szomszédos építményre való áttérjedése csak korlátozottan legyen lehetséges
- d) Az építményben lévők el tudják hagyni az építményt, vagy kimentésük más módon biztosított legyen.
- e) figyelembe vegyék a mentőegységek biztonságát

Nem kell teljesítménynyilatkozat, ha az építési terméket hagyományos vagy az

örökségmegőrzésnek megfelelő módon, nem ipari gyártás keretében állítják elő, olyan építmények megfelelő felújítása céljára, amelyek a vonatkozó tagállami szabályok szerint környezetük kiemelt státusa vagy különleges építészeti vagy történeti értékük miatt hivatalos védelmet élveznek.

A hazai előírás tervezetben a bontott termékek, valamint hagyományos módon előállított

termékek (pl. szalma bála) is a kivételek közé tartoznak, ami nem jelenti azt, hogy ezek a

termékek korlátozás nélkül beépíthetővé válnak. Ezek alkalmazását más szabályok mentén kell majd igazolni.

Forrás: Védelem online (vedelem.hu), Építési termékek forgalomba hozatalára és beépítésre. 275/2013. (VII. 16.) Korm. rendeletet (az építési termék építménybe történő betervezésének és beépítésének, ennek során a teljesítmény igazolásának részletes szabályairól), 3.§(2) *Az építési termék elvárt műszaki teljesítménynek való megfelelését*
a) általános esetben az építési termék gyártói teljesítménynyilatkozat,
b) egyedi, hagyományos, természetes, bontott vagy műemléki épületbe beépített építési termék beépítése esetében a felelős műszaki vezető építési naplóban az építőipari kivitelezési tevékenységről szóló kormányrendelet szerint tett nyilatkozattal igazolja.
7. § (1) *Ha az építési termék egyedi, az építkezés helyszínén gyártott, vagy műemlék építménybe beépített, illetve bontott, hagyományos vagy természetes építési termék és a gyártó által önkéntesen kiadott teljesítménynyilatkozat nem áll rendelkezésre, az építési termék akkor építhető be, ha a beépítéséért felelős műszaki vezető az építési naplóban tett nyilatkozatával igazolja, hogy az építési termék tervezett beépítése megfelel az Étv. 41. §-ában foglaltaknak. Az igazoláshoz a felelős műszaki vezető szakértő, szakértői intézmény vagy akkreditált vizsgálólaboratórium közreműködését is igénybe veheti.*

1996. évi XXXI. törvény 13. § (4) bekezdés e) pontja
(Az egyes építményszerkezetek tűzvédelmi követelményeknek való megfelelésének a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról)
13. § (1) *Építési terméket forgalomba hozni, forgalmazni akkor lehet, ha az a 305/2011/EU rendelet szerint forgalomba hozható. Beépítéskor az építési termék teljesítményét az építési termék építménybe történő betervezésének és beépítésének, ennek során a teljesítmény igazolásának részletes szabályairól szóló jogszabályban meghatározott módon igazolni kell*
(4) *A 305/2011/EU rendelet hatálya alá nem tartozó építményszerkezet műszaki előírásban meghatározott tűzvédelmi követelményeknek való megfelelését, az alábbi módok valamelyike szerint kell igazolni:*
a) Magyarországon vagy az Európai Unióban akkreditált vizsgáló laboratórium által elvégzett vizsgálati jelentés vagy a vizsgáló laboratórium ez alapján kiadott nyilatkozata,
b) a vonatkozó Eurocode szabványok alapján elvégzett tűzállósági vagy tűzvédelmi méretezés, a méretezésnek megfelelő kivitelezést igazoló felelős műszaki vezető építési napló bejegyzése,
c) szakértői intézet vagy akkreditált vizsgáló laboratórium igazolása alapján a felelős műszaki vezető építési napló bejegyzése,
d) a jogszabályi előírásoknak való megfelelés igazolására a felelős műszaki vezető építési

napló bejegyzése, amennyiben az adott összetételű építményszerkezet tűzvédelmi teljesítményét a jogszabály vagy tűzvédelmi műszaki irányelv meghatározza, e) az e törvény 47. § (2) bekezdés 26. pontja alapján kiadott miniszteri rendeletben meghatározott esetben a tűzvédelmi szakértő vagy a tűzvédelmi tervező nyilatkozata.*

**1996. évi XXXI. törvény 13. § (4) bekezdés e) pontjának igazolásának eseteiről és módjáról rendelkezik a 55/2013. (X. 2.) BM rendelet.*

3. PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Az irodalomkutatás alapján láthatjuk, hogy a szalma, mint építési anyag a megfelelő tulajdonságokkal rendelkezik a számunkra legfontosabb szempontokból. Jó hőszigetelőképeséssel rendelkezik, ami természetesen elengedhetetlen, ha szigetelő anyagként kívánjuk alkalmazni, ezen felül fenntarthatósági és környezetvédelmi szempontjából is kiváló, ami manapság az egyik legfontosabb szempont. Egyedül a tűzzel szembeni viselkedése az, ami fejlesztésre szorul, hogy minden szempontból az egyik legkiválóbb szigeteléshez használatos anyag lehessen.

A laboratóriumi vizsgálatokhoz egy magyar fejlesztésű szalma anyagú hőszigetelő rendszer mintatestjeit használtam és arra keresem a választ, hogy mi a legmegfelelőbb módja a szalma kezelésének, hogy a tűzzel szembeni viselkedését javítani tudjuk. Amit vizsgálni szeretnék az az, hogy milyen módon érdemes kezelni a szalma alapú hőszigetelést, hogy a legkedvezőbb tűzzel szembeni viselkedést kapjuk és emellett gyártása is gazdaságos legyen. Az irodalomkutatások során kutattam az égéskésleltető szerek hatékonyságát és megfelelő mennyiségű égéskésleltető szerrel kezelt szalma tud jó eredményeket produkálni a tűzzel szemben, azonban fontos, hogy optimalizáljuk az égéskésleltető szerek mennyiségét azokból kifolyólag, hogy a gyártása gazdasági szempontból is kedvező legyen. A laboratóriumi munka során arra keresem a választ, hogy melyik típusú és összetételű égéskésleltető szer alkalmazása a legoptimálisabb. A vizsgálatok során az égéskésleltetők kétféleképpen voltak alkalmazva a mintatesteken. Az egyik módszer szerint felületi kezelésnek vetjük alá őket és permetezéssel juttatják az égéskésleltetőt a mintatestekre. A másik módszer szerint anyagában kezelik a szalmát, tehát az egész testben jelen van az égéskésleltető anyag.

A tűzzel szembeni viselkedést alapvető jellemzők is befolyásolják, mint a sűrűség, valamint a szalmaszálak elrendezése. A szalmaszálak elrendezése jelen esetben mindig azonos viszont a próbatestek két oldalának a sűrűsége a gyártási technológia a következtében kissé eltérő. A szigetelésnek van egy hálós oldala, ami a gyártás során alul helyezkedik el és a gyártási technológiából adódóan valamivel tömörebb. Arra is keresem a választ, hogy ez mennyiben befolyásolja a lángterjedést, illetve a tűzzel szembeni viselkedést.

4. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

4.1. Vizsgált minták

4.1.1. Vizsgálatok előkészítése

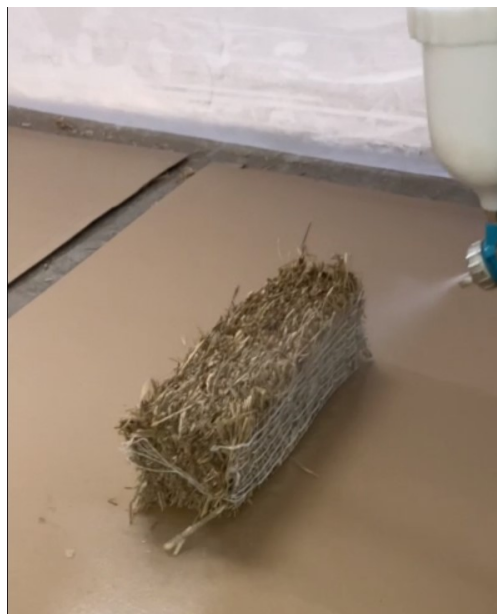
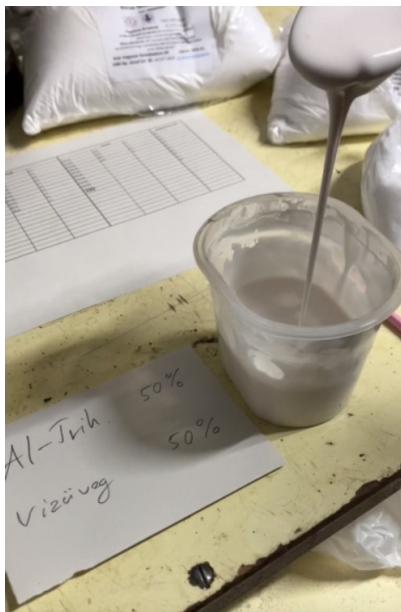
A vizsgált mintatesteket az SSH-terra cég készítette el és bocsátotta rendelkezésemre. A méréseket az Ybl Miklós Építéstudományi kar tűzvédelmi laboratóriumában végeztem. Összesen 18 db mintatestet vizsgáltam.



12. Kép: Vizsgálandó mintatestek készítése [2023].

4.1.2. Égéskeleltető szerek és alkalmazásuk

Az „A0” jelölésű minta kivételével minden szalmatestet kezelve volt. A mintadarabokat a már említett módokon, vagyis vagy anyagugban voltak kezelve, vagy pedig mind a hat oldaluk felszíni kezeléssel lett ellátva. A táblázatból láthatjuk, hogy az égéskeleltetéshez, Bóraxot, Bórsavat, Alumínium-trihidrátot, valamint Trisót használtak, ezen felül hordozóanyagként vízüveget és vizet alkalmaztak.



13. Kép: Égésleltető anyag kikekverése [2023]. 14. Kép: Égésleltető anyag felhordása szórópisztollyal [2023].

Bórax:

CAS-szám: 1303-96-4

A bórax (más néven nátrium-tetraborát vagy E285; régi neve: póris) a bórsav nátriummal alkotott sója. Nem tévesztendő össze a bórsóval. Általában puha, színtelen kristályokból álló, fehér por formájában fordul elő. Felhasználási területe igen sokrétű. Alkalmazzák többek között tisztítószerként, zománcként, kozmetikumokban, valamint élelmiszerekben adalékanyagként, biokémiában pufferoldatként, tűzoltóanyagként, üvegszálakban, fémek tisztításánál, rovar- és gombaölőszerként, valamint egyéb vegyületek alapanyagaként. Hő hatására a védőszer bomlani kezd, amely endoterm, hőelvonással járó folyamat, valamint a keletkező gyökök is lassítják az égési folyamatot és segítik a felület szenesedését. [HAYNES, 2004.]



15. Kép: Borax. Forrás: <https://www.rockngem.com/borax-and-borate-minerals/> letöltés: 2023.11.28. kereső: google.com, kulcsszavak: borax

Emberek esetében 0,1-0,5 g/testsúlykg bórax mérgezést, halált okozhat. A szervezetből a vesén keresztül, nagyon lassan ürül ki. Vesebántalmakat, májbántalmakat és egyéb betegségeket válthat ki.

Bórsav:

CAS-szám: 10043-35-3

A bórsav, más néven ortobórsav vagy acidum boricum, vagy közönséges bórsav H_3BO_3 egy gyenge sav, melyet először 1702-ben Homberg orvos a bóraxból állított elő, és antiszeptikus, rovarirtó tulajdonságai miatt használnak. A vegyiparban alapanyag. Fehér por, vízben oldódik. Ásványa a szasszolit. Az ortobórsav szintelen, vízben rosszul oldódó szilárd anyag. Rétegrácsos szerkezetű. A rétegeket hidrogénkötések kapcsolják össze. Ezek a kötések gyengék, a rétegek emiatt egymáson könnyen elmozdulhatnak. A bórsav hevítés hatására tetrabórsavvá ($H_2B_4O_7$) alakul. Ez a vegyület nem ismeretes szabad állapotban, sói viszont stabilak. Ez a vegyület további hevítés hatására az üveg olvadékára hasonlító bór-trioxidá bomlik. A bórsavat fertőtlenítő (antiszeptikus) hatása miatt a gyógyászatban alkalmazzák. Felhasználják tűzálló üvegek és zománc készítésére is. Az élelmiszeripar tartósítószerként alkalmazza. Alkalmazzák még pirotechnikában is a fémporok passziválására, atomerőművekben neutronelnyelésre. [ERDEY-GRÚZ, 1963]

Trisó:

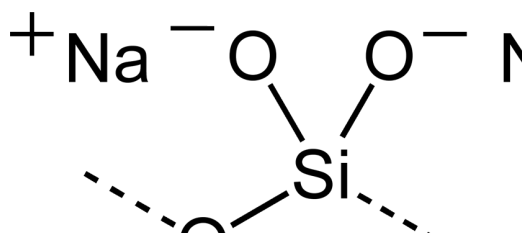
CAS-száma: 7601-54-9

A nátrium-foszfát (más néven: trinátrium-foszfát vagy trisó) a foszforsav nátriummal alkotott sója. Képlete: Na_3PO_4 . Vízben igen jól oldódik, hidrolízise lúgos oldatot hoz létre.

Vízüveg:

CAS-szám: 6834-92-0

A nátrium-szilikát (más néven E550, vagy köznapi nevén folyékony üveg, illetve vízüveg) egy nagyon széles körben használt vegyület, melyet elsősorban cementben, tűzálló anyagok gyártása során, textil- és fafeldolgozás során, valamint élelmiszeripari adalékanyagként alkalmaznak. A kezelt felületen az oldatból üvegszerű kemény réteg alakul ki, ez fékezi a sugárzó hőtől való felmelegedést, majd a tűzben kb. 1100 °C-on megolvadva a környezetből hőt von el. [ERDEY-GRÚZ, 1940]



16. kép: Vízüveg. Ben Mills [2008].

4.1.3. Vizsgált anyagok

A vizsgálatok során minden egyes esetben ugyanabból a típusú szalmából készült mintatesteket elemzem. Ezeket a mintadarabokat különféle módon lettek kezelve. Két fő kategóriába sorolhatók: az "A" jelölésű mintatestek, amelyek anyagi kezelésben részesültek, és az "F" jelölésű mintadarabok, amelyek felületi kezelésnek voltak kitéve. Ezen belül a vizsgálat tárgyát képezik az égéskésleltető anyagok és azok hordozóanyagainak különböző kombinációi. Természetesen egy teljesen kezeletlen mintadarabot is megvizsgáltam, amelyet "A0" jelzéssel láttam el. Ennek célja az, hogy feltérképezsem, mi történik a mintadarabbal, ha semmilyen égéskésleltető anyagot nem alkalmazunk. A kísérletek során elemzem az egyes kezelési módok hatását a mintatestek szerkezetére és égési tulajdonságaira, különös tekintettel az égéskésleltető szerek és hordozóanyagaik kombinációinak különféle kölcsönhatásaira. A

kísérletek során alkalmazott mintatesteken használt égéskésleltetők típusai és kombinációi az alábbi táblázatban szerepelnek:

3. táblázat: Égéskésleltetők típusai és kombinációi, valamint fajlagos költségük

ID	Változat	Anyag	Hordozó	Anyag- hor- dozó arány	Anyag- menny- iség [g]	Minta felü- lete [m ²]	Minta tömege [g]	Anyagi- gény/m ²	Anyag- költség Ft/m ²
F1	Felületi	Al- Trihidrát	Vízüveg, víz 1:1	1:1	27	0,14	240	463	169
F2	Felületi	Al- Trihidrát	Vízüveg, víz 1:1	1:1	53	0,14	240	909	332
A3	Anyagá- ban	Al- Trihidrát	Vízüveg, víz 1:1	1:1	71		240	2367	864
A4	Anyagá- ban	Al- Trihidrát	Vízüveg, víz 1:1	1:1	103		240	3433	1253
F5	Felületi	Al- Trihidrát	Vízüveg	1:2	28	0,14	240	480	285
F6	Felületi	Al- Trihidrát	Vízüveg	1:2	42	0,14	240	720	427
A7	Anyagá- ban	Al- Trihidrát	Vízüveg	1:2	40		240	1333	791
A8	Anyagá- ban	Al- Trihidrát	Vízüveg	1:2	92		240	3067	1820
F9	Felületi	Al- Trihidrát , Trisó 1:1	Vízüveg, víz 1:1	1:4	50	0,14	240 Bórax, Bórsav 0,5-0,5%	857	333
A10	Anyagá- ban	Al- Trihidrát , Trisó 1:1	Vízüveg, víz 1:1	1:4	150		240 Bórax, Bórsav 0,5-0,5%	5000	1940

F11	Felületi	Trisó	Vízüveg, víz 1:1	1:2	30	0,14	240	514	240
							Bórax, Bórsav 0,5-0,5%		
A12	Anyagá- ban		Vízüveg, víz 1:1				240	n.a.	n.a.
F13	Felületi		Vízüveg, víz 1:1			0,14	240	n.a.	n.a.
F14	Felületi	Al- Trihidrát	Vízüveg, víz 1:1	1,27:1	25	0,14	240	429	156
A15	Anyagá- ban	Al- Trihidrát	Vízüveg, víz 1:1	1,27:1	80		240	2667	973
A16	Anyagá- ban	Al- Trihidrát	Vízüveg				240	n.a.	n.a.
A0	Kezeletlen	-	-	-	-	-	240	n.a.	n.a.

4.2. Vizsgálati módszerek

4.2.1. *MSZ EN ISO 11925-2:2011 közvetlen lángthatás*

A méréseket szabvány szerint, a már korábban ismertetett módon végzem. A mintákat szélgyújtásnak tettem ki, tehát a lángot az alsó él szélességének közepén helyeztem el.

A láng alkalmazási ideje 30 másodperc, és további 60 másodpercig figyeljük, hogy mi történik a láng eltávolítása után. Természetesen a vizsgálatot korábban befejezem, ha nem észlelek gyulladást, vagy ha a minta égése megszűnik amint a lángforrást eltávolítom.

4.2.2. *A minták előkészítése*

A mintákat minden esetben ugyanannak a vizsgálatnak vettem alá és ugyanolyan módon lettek előkészítve. Minden mintatest 80kg/m^3 sűrűségű. A szigetelésnek van egy hálós oldala, ami a gyártás során alul helyezkedik el és ez valamivel tömörebb. A felhasznált alapanyagok tekintetében az égéskésleltető szereket leszámítva azonosak. Előállításukhoz hozzáadott ragasztóanyagot nem használnak, mindegyik test a cég által kifejlesztett szövéses, varrásos technológiával lett előállítva. A háló anyaga üvegszál.



17. kép: Mintaelőkészítés [2023].



18. kép: Mintaelőkészítés [2023].



19. kép: Mintaelőkészítés [2023].

a mintatestet az állványra, oly módon, hogy a gyújtóláng a szélgyújtáshoz alkalmazandó magasságban érje a vizsgálandó mintadarabunkat.

Kiválasztottam az adott mintadarabot, jelen esetben a kezeletlen A0-s mintatestet, majd felcímkéztem azt.

Minden egyes mintatestet megjelöltem úgy, hogy el tudjam végezni az EN11825 – ös mérést, és hogy szemrevételezéssel a kísérlet során meg tudjam állapítani könnyedén azt, hogy a lángmagasság mikor éri el a maximális megengedhető értéket. A fenti képen éppen felületi gyújtáshoz jelöltem meg a mintadarabot, azonban később úgy döntöttem, hogy szélgyújtást fogok alkalmazni és a mintákat annak megfelelően

jelöltem a továbbiakban. Ezután ráerősítettem

4.3. A mérések



20. kép: F1-es mintatest vizsgálata kb20s-nél [2023]



21. kép: F1-es mintatest vizsgálata 30s után [2023]

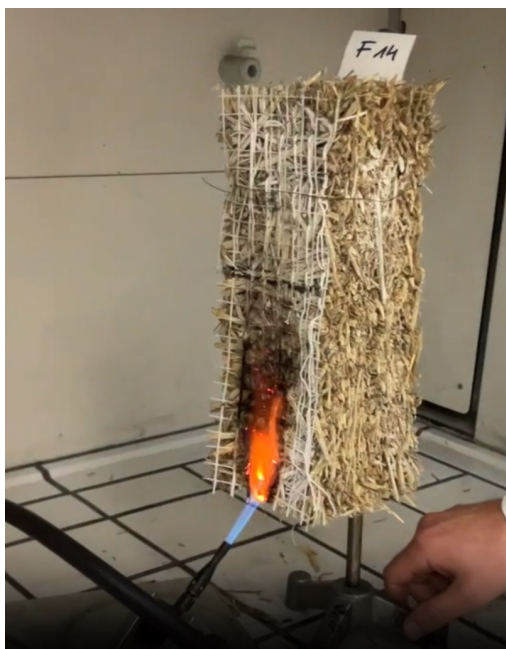


22. kép: F9-es mintatest vizsgálata kb20s-nél [2023]

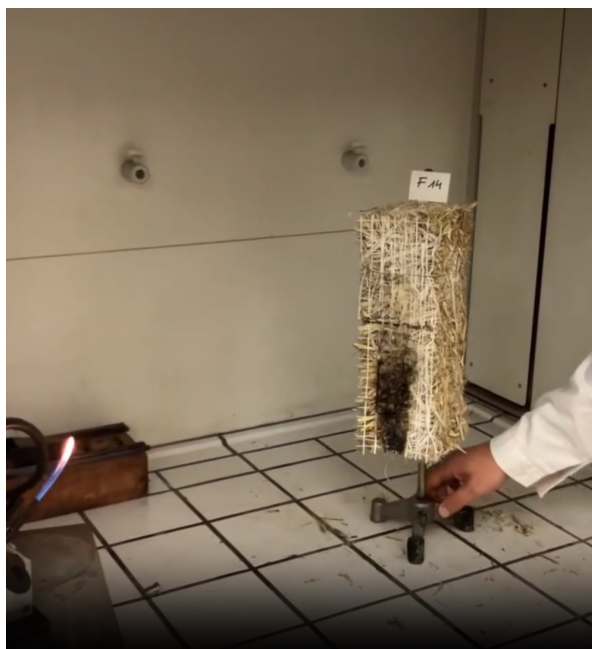


23. kép: F9-es mintatest vizsgálata 30s után [2023]

Az 5,6-os táblázatból láthatjuk, hogy a vizsgált 14 mintatest közül csak kettő az F1-es és az F9-es felelt meg a szabvány szerinti vizsgálatnak. Mindkét esetben láthatjuk, hogy a gyújtóforrás elvétele után a lángolás megszűnik, és parázslás, füstölés sem tapasztalható.



24. kép: F14-es mintatest vizsgálata [2023]



25. kép: F14-es mintatest vizsgálata [2023]

Az elbukott minták közül az F14-es áll legközelebb ahhoz, hogy megfeleljen. A gyártó erre a mintadarabra különösen nagy figyelmet fordított a vizsgálatok során. Gazdaságossági szempontból, vagyis anyagköltség [Ft/m^2] szempontjából ez a minta a legkedvezőbb összeállítás és mégis jelentősen jobban szerepelt, mint drágább társai. Ezt a mintát kétszer is megvizsgáltam. Az első vizsgálat során a képen látható háló fellángolt egy pillanatra, és emiatt a lángmagasság meghaladta a 15 cm-et és a minta megbukott. Másodjára a háló nélküli oldalát tettem ki a lángnak, kiküszöbölve ezzel a háló hatását. A második alkalommal is megbukott a minta, de ismét nagyon közel volt ahhoz, hogy a láng egy pillanatra se érje el a 15 cm-es határt. A minta egyik esetben sem füstölt és a lángolás azonnal abbamaradt, amint eltávolítottam a gyújtóforrást.

Tehát a fenti három minta vagy átment vagy nagyon közel volt ahhoz, hogy megfeleljen. A minták tulnyomó része nem felelt meg ugyan a vizsgálatnak viszont elmondható róluk, hogy a lángolás a gyújtóforrás elvétele után alábbhagyott majd megszűnt, enyhe vagy ki nem alakult füstképződés mellett. A leggyakoribb ok arra, hogy egy mintatest elbukjon az volt, hogy egy egy lazább kiálló szalmaszál lángarkapott és ennek következtében a lángmagasság, hacsak egy pillanatra is de szinte azonnal meghaladta a maximális megengedhető értéket majd később kialudt. Az alábbi képeken az a A8, A7 mintadarabokat figyelhetjük meg. Láthatjuk amint fellángolnak és jól látható módon a lángmagasság meghaladja 15cm-en található jelölést. Ezután a lángforrás eltávolítását követően a minta ugyan egy rövid ideig még

parázslík, de a lánggal égés szinte azonnal megszűnik, majd később teljesen kialszik. Ez az égéskésleltetők használatán kívül köszönhető a fellángolás következtében kialakuló szenesedésnek, valamint a füstképződéssel járó oxigénsökkenésnek, amelyek szintén égésgátló hatással bírnak.



26. kép: A8-es mintatest vizsgálata [2023]



27. kép: A8-es mintatest vizsgálata [2023]



28. kép: A7-es mintatest vizsgálata [2023]



29. kép: A7-es mintatest vizsgálata [2023]

Végül pedig voltak olyan minták, amelyek szintén megbuktak és a kísérlet alapján nehéz volt megkülönböztetni őket a kezeletlen mintadarabtól. A füstképződés erős volt, a minták teljes keresztmetszetükben átégtek és a gyújtóforrás elvétele után is tovább égtek, illetve erősen izzottak. Erre nagyon jó példa az alább látható A16 mintadarab.



29. kép: A16-os mintatest vizsgálata [2023]



30. kép: A16-os mintatest vizsgálata [2023]

A mintatestekről készült vizsgálat eredményei az alábbi két táblázatban olvashatók.

4. táblázat: A szélgyújtásos mérések eredményei

Gyújtási mód		SZÉLGYÚJTÁS					
Minta jele	F1	F14	F14 (háló nélküli oldal)	F2	F9	F6	F5
Meggyulladás [s]	-	15	5	14	3	2	2
Max. lángmagasság [cm]	10	15	15	15	14	15	15
Lángolás megszűnik [s]	30	30	30	30	30	30	30
Láng csúcsa eléri a felső jelet 20 s belül	-	19	19	17	-	4	5
Füstképződés	nem volt	háló	nem volt	nem volt	nem volt	nem volt	minimális
Minősítés: megfelelt [igen/nem]	igen	nem	nem	nem	igen	nem	nem

5. táblázat: A szélgyújtásos mérések eredményei

Gyújtási mód		SZÉLGYÚJTÁS					
Minta jele	F13	F11	A15	A8	A10	A16	A0
Meggyulladás [s]	2	1	1	1	1	1	1
Max. lángmagasság [cm]	15	15	15	15	15	15	15
Lángolás megszűnik [s]	30	30	nem	30	30	30	nem
Láng csúcsa eléri a felső jelet 20 s belül	2	16	1	7	5	2	2
Füstképződés	erős, fehéres	erős	erős	van	van	nagyon erős	erős
Minősítés: megfelelt [igen/nem]	nem	nem	nem	nem	nem	nem	nem

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS MÉRNÖKI JAVASLATOK

A kezelés módjának szempontjából kétféle mintatestet vizsgáltam. Az anyagában kezelt mintatesteket, illetve a felszíni kezelésnek kitett mintatesteket. Láthatjuk, hogy a minták nagy része végül nem felelt meg az EN11825 – ös vizsgálatnak, viszont amely minták mégis megfelelték vagy jobban szerepeltek, azok túlnyomó részt felszíni kezelésnek voltak kitéve. Ezt annak ellenére figyelhetjük meg, hogy az anyagában kezelt mintákhoz lényegesen több égéskésleltetőt használtak. Ezt az ellentmondást azzal magyarázom, hogy bár több égéskésleltető anyag lett felhasználva az „A”-s mintatestekhez viszont azok fajlagosan kevesebb égéskésleltetőt tartalmaznak az égetett felületen mint az „F”-es mintatestek, amelyek így jobban ellen tudtak állni a felületüket érő láng gyújtóhatásának.

Anyaghasználat tekintetében megfigyelhetjük, hogy a bórsavat tartalmazó égéskésleltető szerekkel kezelt minták általánosságban kedvezőbben viselkedtek, mint amelyek nem tartalmazták azt, így javaslom, hogy esetleges további kutatások alkalmával ezt az anyagot mindenképpen vizsgálják.

Mindezt összevetve a legalkalmasabb minta az F1-es jelölésű volt. Ugyan más minta is megfelelt a vizsgálaton, viszont ennek a mintának az előállítási költségei alacsonyabbak, így a gazdaságossági szempontokat is figyelembe véve ez a minta a legmegfelelőbb.

Összességében kijelentem, hogy a kiválasztott égéskésleltető szerek működnek. Mivel a felület védelme elsődleges a láng terjedése szempontjából, így célszerű az eddigi felületi kezelést mélyíteni. Erre egy megfelelő módszer a felület megmártása az égéskésleltető szerben 1 cm mélyen, kb. 10 másodpercen keresztül. Ennek a módszernek azonban a hátránya, hogy túl sok égéskésleltető szert kell használni, illetve, hogy a szigetelő panelek nehezebben száradnak ki. Másik javasolt módszer, hogy a paneleket az égéskésleltető szer felületi szórása közben 360°-al forgassuk meg annak érdekében, hogy az anyag egyenletesebben oszoljon el a szalma felszínén. Ennek a módszernek az alkalmazása kiküszöböli az előző hátrányait, de nem biztos, hogy elegendő anyagot fel tudunk vinni a mintatestre, ezért javaslom a módszer további vizsgálatát.

Dolgozatom csak a közvetlen láng hatás következményeit vizsgálja, de végeztem pár mérést sugárzó hővel kapcsolatban is. Sajnos kellő mennyiségű mintatest hiányában csak a már meggyújtott mintatesteket tudtam használni, így ezeket a méréseket nem vettem bele a dolgozatba. Ennek ellenére fontos tanulság volt az, hogy a sugárzó hő hatására a tűz káros hatásai úgy, mint füstképződés jóval a parázslás előtt megjelenik, ráadásul nem is a mintatest felületén, hanem esetenként a belsejében. Ennek megfelelően az is elképzelhető, hogy sugárzó

hővel szemben az anyagában kezelt mintatestek jobb eredményeket érnek el a felszíni kezelésnek kitett mintatesteknél. Ennek megfelelően további sugárzó hővel kapcsolatos laboratóriumi vizsgálatok elvégzését javaslom.

6. HIVATKOZÁSOK

- William M. Haynes: CRC Handbook of Chemistry and Physics, [2004]
- dr. Erdey-Grúz Tibor: Vegyszerismeret [1963]
- dr. Erdey-Grúz Tibor: A SZILÍCIUM ÉS A SZILIKÁTOK [1940]
- Parlagi Gáspárné: ÉMI Kht. Tűzvédelmi Laboratóriumának jelentése, [2005]
- <https://www.eurolab.net/hu/testler/yangin-testleri/en-iso-11925-2-yangin-testlerine-tepki-alevin-dogrudan-carpmasina-maruz-kalan-urunlerin-tutusabilirligi-bolum-2-tek-alev-kaynagi-testi/> felkeresés időpontja: 2023.11.25. kulcsszó: iso-11925-2, eurolab
- <https://faisons-le-mur.com/resistance-au-feu-maison-en-paille/> felkeresés időpontja: 2023.11.20. kulcsszó: paille, feu
- Si Zou, Hongqiang Li, Lifang Liu, Shuang Wang, Xiaofeng Zhang, Guoqiang Zhang: Journal of Building Engineering 43 [2021] 103172, Experimental study on fire resistance improvement of wheat straw composite insulation materials for buildings.
- M. Gao, C. Y. Sun, C. X. Wang: THERMAL DEGRADATION OF WOOD TREATED WITH FLAME RETARDANTS. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 85 [2006] 3, 765–769
- Farbás Katalin: SZALMABÁLÁK ÉPÍTŐANYAGKÉNTI FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI TŰZVÉDELMI SZEMPONTBÓL [2014]
- https://www.vilaglex.hu/Kemia/Html/Furfurol_.htm [2023.11.09.] kulcsszó: furfurol
- Gildas Nguila Inari, Mathieu Pétrissans, Anelle Petrissans, Philippe Gerardin: Elemental composition of wood as a potential marker to evaluate heat treatment intensity. Polymer Degradation and Stability Volume 94, Issue 3, March [2009], Pages 365-368
- Ragács Nikoletta, Nagyné Kovács Teodóra, Szilágyi Imre Miklós, Kerekes Zsuzsanna: HŐSZIGETELŐK TERMOANALITIKAI VIZSGÁLATA KÖRNYEZETSZENNYEZÉS SZEMPONTJÁBÓL, Védelem Tudomány – III. évfolyam 2. szám, [2018. 06. hó]
- Jia-Ji Cheng, Shao-hua Sun.: Journal of Thermal Analysis and Calorimetry [2019] 135:2347–2357, Investigation on the fire hazard of hybrid polymer materials based on the test of smoke toxicity.
- Dr. Restás Ágoston: ÉGÉS- ÉS TŰZOLTÁSELMÉLET: EGYETEMI JEGYZET [2014]

- <https://energiaeskornyezet.hu/8-hirek/47-osszefoglalo-a-szalmabala-hoszigeteles-celu-felhasznalasahoz>. felkeresés időpontja [2023.11.15.] kulcsszó: szalma, szigetelés
- Francesco D'Alessandro, Samuele Schiavoni, Francesco Bianchi: 24th International Congress on Sound and Vibration at London: Straw as an acoustic material July [2017]
- Maryam Mehravar, Afsoon Veshkini, Sohrab Veisheh, Rima Fayaz.: Energy and Buildings Volume 254, 1 January [2022], Page 111559
- NIDUS, modular natural home <https://en.nidushome.com/> felkeresés időpontja: 2023.10.25. kulcsszó: straw, insulation