

Kovács Andrea,¹  Elek Barbara² 

Sugárzó hőnek kitett fák gyulladásának veszélyei és az égéskésleltetés lehetőségei

Dangers of Ignition of Trees Exposed to Radiant Heat and Possibilities of Delaying Combustion

Tűzesetek során a fa mint építőanyag a legéghetőbb anyagok közé tartozik 300 °C körüli gyulladáspontjával. Tűzek létrejöttékor a lángterjedést minden esetben sugárzó hőterhelés előzi meg, amely eltérő mértékű károsodást okozhat a különböző faanyagokban, valamint hatására beindulhat a pirólízis is. Ezért kiemelt figyelmet kell fordítani a fák sugárzó hővel szembeni viselkedésének és az elleni védelem kutatásának is. Munkánkban olyan hazai természetes fafajok (erdei fenyő, lucfenyő, gyertyán, akác, bükk) viselkedését vizsgáltuk, amelyek épületszerkezeti anyagként és belsőépítészeti szerkezeti anyagként is megjelennek az építményekben. Tanulmányunkban azt vizsgáltuk, hogy a kereskedelemben kapható égéskésleltetőkkel kezelt faanyagok hogyan viselkednek sugárzó hőnek kitéve. A károsodás mértékét tömegveszteség mérésével adtuk meg. Emellett a minták mechanikai és felületi károsodása sem volt elhanyagolható. A faanyagokra rendszeresített és ismert Lindner-módszernél alkalmazott szabványos méréstől eltérően a sugárzó hőt biztosító berendezésünk egyedi gyártású, nem szabványos kialakítású berendezés volt.

Kulcsszavak: fák hőbomlása, égéskésleltetés mechanizmusai, égéskésleltető anyagok

With the ignition point of around 300 °C, wood as a building material is one of the most flammable materials in the case of fire. When fires occur, the spread of flames is always preceded by radiant heat load, which can cause damages of varying degrees to the different wood materials, and pyrolysis can also start as a result. Thus, special attention should be paid to the research of the thermal behaviour of wood in the case of radiant heat and of the possibilities of protection against it. In our work, we examined the behaviour of the wood material of national natural tree species (scots pine, spruce, hornbeam, acacia, beech) that appear in buildings as structural materials

¹ Tanár, Zalaegerszegi SzC Keszthelyi Asbóth Sándor Technikum, e-mail: andreakovacs1513@gmail.com

² Egyetemi docens, Óbudai Egyetem, e-mail: elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu

and interior design structural materials. In our study, we examined how wood materials treated with commercially available combustion delay materials behave when exposed to radiant heat. The extent of damage was determined by measuring mass loss. In addition, the mechanical and surface damage of the samples was not negligible. Unlike the standard measuring equipment used by the Lindner-method, our device providing radiant heat was a custom-made device with a non-standard design.

Keywords: *thermal decomposition of wood, mechanisms of combustion delay, combustion delay materials*

Bevezetés

Napjainkban mind a természetes, mind az épített környezetünkben keletkező tüzek egyre nagyobb figyelmet kapnak. Ennek során nagy mennyiségű faanyag válik a tűz martalékává. Természetes környezetünkben a nagy mennyiségű faanyag égésével járó erdőtüzek száma folyamatosan nő a globális felmelegedés következtében.³ Épített környezetünkben építményeink, épületeink, valamint műemléképületeink faanyagai és faszervezetei vannak kitéve a tűz általi pusztításnak. Ezzel párhuzamosan folyamatosan nő a fa építészeti felhasználása világszerte. A korábbi évek, évtizedek tapasztalatai azt mutatják, hogy a faanyagú szerkezetek élettartalma jelentősen csökkenhet megfelelő faanyagvédelem nélkül. Az égéskésleltetési célt szolgáló kezelési eljárások alkalmazása pedig a tűzvédelmi szempontok érvényesítése végett válik egyre inkább elengedhetetlenné.

Célkitűzések

A fa és fa alapanyagú építési termékek éghetőségét elsődlegesen közvetlen lánghatással vizsgálják. Az éghetőségükre vonatkozó MSZ 9607:2020 szabvány is közvetlen láng gyújtóforrás alkalmazását írja elő.⁴ A sugárzó hővel szembeni viselkedés vizsgálata nem tartozik az elterjedt vizsgálatok közé. A szabványos Lindner-módszerrel végzett faéghetőségi vizsgálatok eredményei a különböző fák égetése során mutatkozó eltérő fizikai, kémiai változásokra és az alkalmazott égéskésleltető anyagok hatásosságára hívják fel a figyelmet.⁵

Azonban az égéskésleltető szereknek lánggal szembeni viselkedése mellett egyéb hatásuk feltárása is rendkívül fontos lehet a faanyagok kezelésének tervezésekor. A világszerte zajló vizsgálatok rámutatnak az égéskésleltető szerrel kezelt és kezeletlen fa és fa alapanyagú égési termékek eltérő füstképződésére és a mechanikai alaktartóssági különbségekre. Mivel sugárzó hő hatására bekövetkező jelenségekre vonatkozó adatok kevésbé állnak rendelkezésre, vizsgálataink során a famintáinkat nemcsak közvetlen lánghatásnak, hanem sugárzó hőnek

³ BODNÁR–TEKNŐS 2023.

⁴ MSZ 9607:2020.

⁵ GYŐRI et al. 2021; KERÉKES–LUBLÓY–KOPECSKÓ 2018; LUBLÓY et al. 2023.

is kitettük. A vizsgálatot azért is tartottuk különösen fontosnak, mivel tűz esetén a lángterjedést minden esetben sugárzóhő-hatás előzi meg, azaz a fát legelőször sugárzó hő éri, aminek hatására a faanyag már károsodást szenvedhet.⁶

Tanulmányunkkal szeretnénk felhívni a figyelmet arra, hogy a fa és a fa alapanyagú építési termékek, illetve égéskésleltetővel kezelt fa és fa alapanyagú építési termékek éghetőségét a közvetlen lánghatásnak való kitettség mellett érdemes sugárzó hőnek való kitettség esetében is vizsgálni.

A sugárzó hő szerepe a fa éghetőségének vizsgálatánál

A fa szabványos Lindner-módszerrel végzett éghetőségi vizsgálata során közvetlen lánghatásnak van kitéve az anyag. Azonban több nemzetközi szakirodalom is felhívja a figyelmet a sugárzó hő hatására.⁷

Ezek a tanulmányok leginkább a különböző fafajok gyulladási hőmérsékletét hasonlítják össze sugárzóhő-hatás során. Ókori épületekben gyakran előforduló fafajok (ciprus és fenyő) Cone-kaloriméteres vizsgálata során, 25, 35 és 50 kW/m²-es hőterhelést alkalmazva egy olyan gyulladási integrál modellt tudtak megalkotni a kutatók, amely révén előre megadható adott fafajta várható gyulladási hőmérséklete és ideje. A modell lehetővé teszi hosszú távon a természetes módon öregedő fák és faszervezetek égési jellemzőiben bekövetkező változások nyomon követését. Ezenkívül fontos információkat szolgáltathat a fa és fa alapanyagú építési anyagokból és épületszerkezetekből épített műemléképületek tűzbiztonságának növeléséhez.⁸

Egy másik tanulmányban a vizsgálati modellben a hőfluxust fokozatosan emelve, lineárisan növekvő sugárzó hő mellett előre jelezték adott fafaj öngyulladás idejét. Mind a modell, mind az elvégzett mérések eredményei azt mutatták, hogy a gyulladási idő hatványfüggvényként fejezhető ki.⁹

A fa égését megelőző bomlást és az égést befolyásoló folyamatok

A faanyag mint cellulóz viszonylag stabil poliszacharid, amely a növényi sejt sejtfalában található. Ez a legnagyobb mennyiségben előforduló szerves anyag a természetben. Növényben ligninnel és hemicellulózzal együtt fordul elő. A cellulóz, a hemicellulóz és a lignin a fa fő alkotóelemei. Hődegradációs reakcióképességük adja a pirolízis alapú technológiák alapját. A cellulóz mikrofibrillumok a nanoméretű sejtfal szerkezetében a hemicellulóz-lignin-mátrixba ágyazódnak, amelyek tulajdonságai a fa hőreaktivitását is befolyásolhatják.¹⁰ Ez az összefüggés

⁶ HAJDU-KÖRNYEI-KUTI 2023.

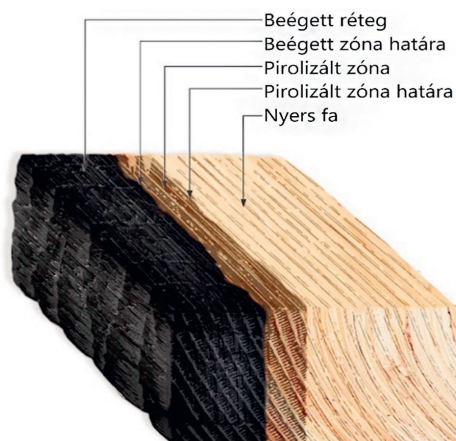
⁷ HAJDU et al. 2022.

⁸ LIU et al. 2023.

⁹ JI et al. 2006.

¹⁰ WANG et al. 2021b.

azonban nem teljesen tisztázott még, mivel a fakomponensek hőreaktivitását elsősorban izolált komponensek felhasználásával vizsgálták eddig. A termogravimetriás (TG) analízist gyakran alkalmazzák ilyen vizsgálatokhoz, de tudomásunk szerint az eredményeket még nem elemezték a fakomponensek degradációja szempontjából különböző hőmérsékleteket véve figyelembe.¹¹



1. ábra: Beégtési és pirolizált zóna egy fadarabon

Forrás: DI HA LE 2019

A cellulóz bomlási folyamata rendkívül bonyolult belső reakció, amely több tényező együtt hatásának eredménye.¹² A bomlás során a kutatók három független lebomlási folyamatot feltételeznek. Az oxidációt, a hidrolízist és a pirolízist, amelyek mindegyike meghatározott hőmérsékleti tartományon belül működik csak.¹³

A holocellulózban lévő cellulóz termikus lebomlása a pirolízis hőmérsékletétől függően két szakaszban megy végbe. A cellulóz egy része 320 °C alatt, a többi rész pedig magasabb hőmérsékleten bomlik le.¹⁴

A hőmérséklet növekedésével a faanyag bomlásnak indul, ami különböző zónákat eredményez a fa belsejében (1. ábra), eközben veszít nedvességtartalmából, tömegéből és szilárdsági tulajdonságából. A faanyag gyulladáspontja függ a fa fajtájától, sűrűségétől, hővezető képességétől, nedvességtartalmától, továbbá a hőközlés idejétől és a környezeti feltételektől.

¹¹ ZHU-LI-FENG 2021.

¹² BEDA-MOHAI 2012.

¹³ CHEIM et al. 2012.

¹⁴ WANG et al. 2021a.

Égéskésleltető anyagok és mechanizmusuk

Az égéskésleltetés a teljes körű faanyagvédelem egyik eleme, amelynél figyelembe kell venni a tűzvédelmi követelményeket és az esztétikai szempontokat is. Az építőipari faanyag tűz elleni védelmét nehezíti az a tény, hogy biológiai károsítók ellen szintén védelemre szorul. A kivitelezés és a védőszer kiválasztásának szempontja nagyon összetett szakmai feladat, mert a megfelelő védelemmel párhuzamosan különböző esztétikai igényeket is szem előtt kell tartani, esetleg a faszervezetet ragasztani vagy egyéb anyagokkal társítani szükséges.

Elvárások az égéskésleltető anyagokkal szemben:

- az égés során erősen mérgező gázok ne szabaduljanak fel;
- a fa szilárdságát ne gyengítsék, ne növeljék a szerkezet tömegét;
- a felületi bevonatok vízgőzáteresztők, ütésállók és tartósak legyenek;
- a felületi bevonatok ne legyenek toxikusak;
- a különböző faanyagvédőszerrel kezelt felületre felvihetők, illetve ezekkel kombinálhatók legyenek;
- gyorsan száradjanak és korszerű, termelékeny eszközökkel felhordhatóak legyenek;
- a fa esztétikus megjelenését ne rontsák;
- védőhatásuk időtartama tartós legyen, és gazdaságosak legyenek.¹⁵

Az égéskésleltetők hatásmechanizmusuk szerint öt fő kategóriába sorolhatók.¹⁶ Ezek a fő kategóriák az alábbiak:

- Mechanikusan ható égéskésleltetők: a kezelt fafelületeken szigetelő réteget képeznek, amely megakadályozza, hogy az oxigén a felületre jusson. Ez megállítja az oxidációt és megakadályozza a lebomlott gázok kibocsátását, mindezt a szigetelőréteg leválása nélkül.
- Olvadékképző anyagok: hőhatásnak kitéve olvadékbevonatot hoznak létre a kezelt fafelületeken, amely gyorsítja a keletkező hő eltávolítását.
- Habképző védőszerek: ezek a késleltető anyagok hőszigetelő habréteget képeznek a hőnek kitett fa felületén. Ez a réteg megakadályozza, hogy a bomlástermékek a fa felületére kerüljenek.
- Oltógázokat képző égéskésleltetők: az égéskésleltető anyagokból hő hatására gázok képződnek (például ammónia, szén-dioxid, nitrogén-monoxid), amelyek oxigénkiszorító hatásúak.
- Szenesítő égéskésleltetők: az erős szervesetlen savak hő hatására elszenesítik a fafelületeket, ezáltal lassítva az égést.

¹⁵ PLUZZIK – SZITNYAINÉ SIKLÓSI – VARGYAY 1993.

¹⁶ LUBLÓY et al. 2023.

A legfrissebb kutatások egy újabb, hatodik hatásmechanizmust is kezdenek feltárni. Mégpedig azt, hogy az egyes égéskésleltető vegyületek hogyan növelik meg az égés aktiválási energiáját annak kezdeti szakaszában.¹⁷

Az égéskésleltető szerek fejlesztése és mechanizmusuk feltárása messze nem fejeződött be, sőt egyre inkább új fejlesztési irányokat lehet nyomon követni a nemzetközi szakirodalomban. Az eddigi jól ismert égéskésleltetési mechanizmusok mellett a szakirodalom egyre nagyobb figyelmet irányít az adalékok aktiválásienergia-növelő szerepére. Újszerű fejlesztésként érdemes megemlíteni a grafitadalékokat mint aktiválási energiát növelő égéskésleltető adalékanyagot.¹⁸

Vizsgálati minták és előkészítésük

A kísérletekhez épületszerkezetekből és belsőépítészeti elemekből származó szerkezeti – különböző fafajokból különböző szelvényű és megmunkálású, ragasztási technológia nélkülözésével készült – faanyagokat használtunk fel mintaként (1. táblázat).

1. táblázat: A méréshez használt faanyagok sűrűsége

Faanyag	Sűrűség (g/cm ³)
Lucfenyő	0,43–0,47
Erdei fenyő (borovi)	0,49–0,52
Gyertyán	0,80–0,83
Akác	0,77
Bükk	0,68

Forrás: a szerzők szerkesztése



1. kép: Minták és tömegmérés a vegyszeres kezelés előtt

Forrás: a szerzők felvétele

¹⁷ VOTH et al. 2019; MENSAH et al. 2023.

¹⁸ ZHENG-LI-EK 2019; ZHU-LI-FENG 2021.

Elsődlegesen az épületek fedélszékéhez leginkább használt erdei fenyő és lucfenyő, valamint a belsőépítészetben használt gyertyán, akác, bükk famintákon végeztük el vizsgálatainkat. Az MSZ 9607:2020 szabvány előírásának megfelelően mintáinkat nedvességtől teljesen elzárva kondicionáltuk. A kondicionálás 14 napig 23 ± 2 °C hőmérsékletű és $50 \pm 5\%$ relatív páratartalmú térben történt. Ezt követően 15 nap múlva elvégeztük a kísérleteket.

Minden fafajból 3-3 darab $100 \times 100 \times 10$ mm méretű mintát (1. kép) vágtunk gyanta-erektől és göcsöktől mentes helyről.

Alkalmazott égéskésleltető favédőszerek

A kezelőanyagok kiválasztása során arra törekedtünk, hogy minél változatosabb szerekkel végezzük el a kísérleteket, amelyek közül egy oldószer bázisú, kettő pedig vizes bázisú volt. A háromféle kezelőszerszert mind hazai kereskedelmi forgalomban kapható. Kezelőanyagok az alábbiak voltak:

1. Kezelőanyag

- szerves, vizes bázisú, folyékony, kombinált impregnáló égéskésleltető favédőszerszer;
- hatóanyagok: bórvagyületek, foszfátok, szulfátok, izotiazolon;
- anyagszükséglet: mázolás és szórás esetén 2–4 rétegben, $190\text{--}200$ g/m² legalább két rétegben, áztatási idő 120 perc;
- tüzeset során nem gyúlékony, nem robbanásveszélyes, égést nem elősegítő;
- tényleges kezelés: mivel a fenyők nehezen telíthetők, ezért úgy döntöttünk, hogy a lucfenyő és erdei fenyő esetében a felületkezelési eljárást alkalmazzuk, tehát mázolásal 4 réteget, 20%-os sóoldatot hordtunk fel, a rétegek között 1-1 óra száradási időt tartva.

2. Kezelőanyag

- gomba és rovar elleni égéskésleltető beltéri favédőszerszer;
- hatóanyagok: bórsav, dinátrium-tetraborát-dekahidrát (bórax);
- anyagszükséglet: ecsettel vagy szórással egy rétegben felhordva $0,16$ l/m² mennyiségben;
- gyártói utasítás szerinti anyagszükséglet: ecsettel vagy szórással egy rétegben felhordva $0,16$ l/m² mennyiségben, amely felhordható áztatással, a felszívódott oldatot tömegméréssel kell ellenőrizni;
- tényleges kezelés: a próbatesteket (gyertyán és akác) a felhasználásra kész kezelőszerszerben felső oldalukon szeglemezzel lesúlyozva 24 órát áztattuk.

3. Kezelőanyag

- oldószer bázisú, kétkomponensű víztiszta akril bútorigipari fedőlakk;
- tényleges kezelés: a két komponenst (lakk és edző), a 10%-os oldatot a gyártói utasítás szerinti mázolásal 2 rétegben hordtuk fel a tiszta, pormentes felületre 1-1 óra száradási időt tartva a rétegek között. Végző száradáshoz 24 órát biztosítottunk.

Vizsgálati módszer

A sugárzó hővel végzett vizsgálatainkat egy egyedi tervezésű és készítésű műszerrel (2. kép) végeztük. Olyan vasmagot alkalmaztunk, amely képes volt 300 °C feletti hőmérsékletre felmelegíteni a fát. A 15 cm átmérőjű sugárzó vasmag a kocka formájú doboz egyik oldalán, függőleges helyzetben helyezkedett el. A kör alakú főzőlap közepe függőlegesen 18 cm távolságban volt a vizsgálóasztal síkjától, vízszintes irányban pontosan a berendezés közepén.



2. kép: Az egyedi tervezésű berendezésben elhelyezett fa mintaanyag helyzete a vasmag előtt
Forrás: a szerzők felvétele

A sugárzó hőt az elektromos fűtésű vasmag biztosította, aminek a hőmérsékletét egy digitális kijelzésű szabályozó egység segítségével állítottuk be. A vizsgálat során a berendezés acéllapját 650 °C-ig melegítettük. Amikor a sugárzó hőt adó lap elérte a 650 °C-ot, a síkjától 3 cm távolságra elé helyeztük a tartóállványon lévő mintadarabot. A lap állítható hőmérsékletű, túlhevülés ellen védett, továbbá gyárilag leszabályozott volt.

A vizsgálati módszer alapelve az volt, hogy pontosan lemérjük az égetés előtti fa próbatest tömegét, majd az égetést követően ismételten megmérjük a már kihűlt próbatestet, és a tömegek különbségéből meghatározott tömegveszteséget értékeljük. A vizsgálat 10 percig tartott, közben stopperrel mértük az időt, figyeltük és feljegyeztük azt, hogy milyen változások játszódnak le a faanyagon a sugárzó hő hatására.

A fenti sugárzó hővel végzett vizsgálat mellett elvégeztük a famintáink szabványos Lindner-módszer szerinti éghetőségi vizsgálatát is, amely során közvetlen lánghatásnak tettük ki a mintáinkat.

Mérési eredmények

Méréseinkhez az öt fafajból fafajonként kétféle mintát használtunk. Az egyik minta kezeletlen volt, míg a másik minta az előzőekben említett módon valamelyik égéskésleltető szerrel kezelt. Száradást követően sugárzó hőnek tettük ki a mintákat.

A 2. táblázat a faminták változásait mutatja 10 perces sugárzó hőnek való kitettséget követően. A vizsgálat folyamán rögzítettük a lángolás, a füstképződés, az izzás és a mechanikai elváltozás kezdetének idejét.

2. táblázat: A faminták fizikai és kémiai változásai (lángolás, füstképződés, izzás, mechanikai elváltozás) 10 perces sugárzó hőnek való kitettség során

Fafaj	Minta jele	Minta kezdeti tömege m1 (g)	Minta tömege kísérlet után m2 (g)	Δm : hő hatására bekövetkező tömegvesztesség (g)	Füst megjelenése (mp)	Izzás kezdete (mp)	Láng megjelenése (mp)	Deformáció (mp)	Hátoldal elszíneződik (mp)	Repedések megjelenése (mp)	Kiválik a vegyszer (mp)	Átég a fa (mp)
Lucfenyő	Kezeletlen	44	16,9	27,1	10	100	–	80	230	180	–	230
	1-es kezelőanyag 4 rétegben mázolvva	57,3	36,4	20,9	10	–	–	60	440	410	23	315
Erdei fenyő	Kezeletlen	56,7	22,2	34,5	15	155	140	40	480	120	270	–
	1-es kezelőanyag 4 rétegben mázolvva	56,1	36,6	19,5	10	300	–	90	510	250	270	–
Gyertyán	Kezeletlen	73,7	32,8	40,9	50	395	–	50	555	–	–	–
	2-es számú kezelőanyag, 24 óra áztatás	80,1	39,4	40,7	50	600 felett	–	240	600	240	–	–
Akác	Kezeletlen	77,6	17,2	60,4	50	105	190	180	300	180	–	300
	2-es számú kezelőanyag, 24 óra áztatás	78,9	46,9	32	35	470	–	60	600 felett	170	–	–
Bükk	Kezeletlen	64	14,1	49,9	20	180	–	120	395	120	–	–
	kezelőanyag, 2 rétegben mázolt	73,1	38,9	34,2	120	400	–	75	600	240	–	–

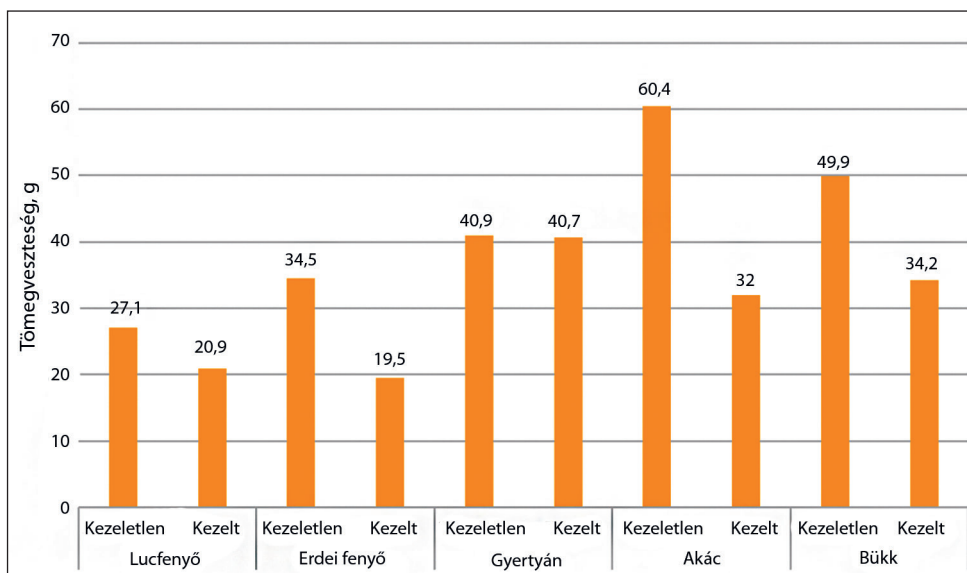
Forrás: a szerzők szerkesztése

Sugárzó hőnek kitett minták esetén is egyértelműen megmutatkozott az égéskésleltető szerek hatékonysága. Ez elsődlegesen a tömegvesztésbeli (2. ábra) különbségben jelentkezett. Ugyanis a tömegvesztés a kezelt mintaanyagok esetében kisebb mértékűnek adódott.

Érdekes módon a gyertyán viselkedése lényegesen eltért a többi mintától. A 2. táblázatba foglalt eredmények alapján megállapítható, hogy legellenállóbbnak tekinthető idő szempontjából mind az átégés, mind a füstképződés, mind a repedések keletkezésének bekövetkezésével szemben. Mechanikai szilárdságát még 300 °C körül is megtartotta.

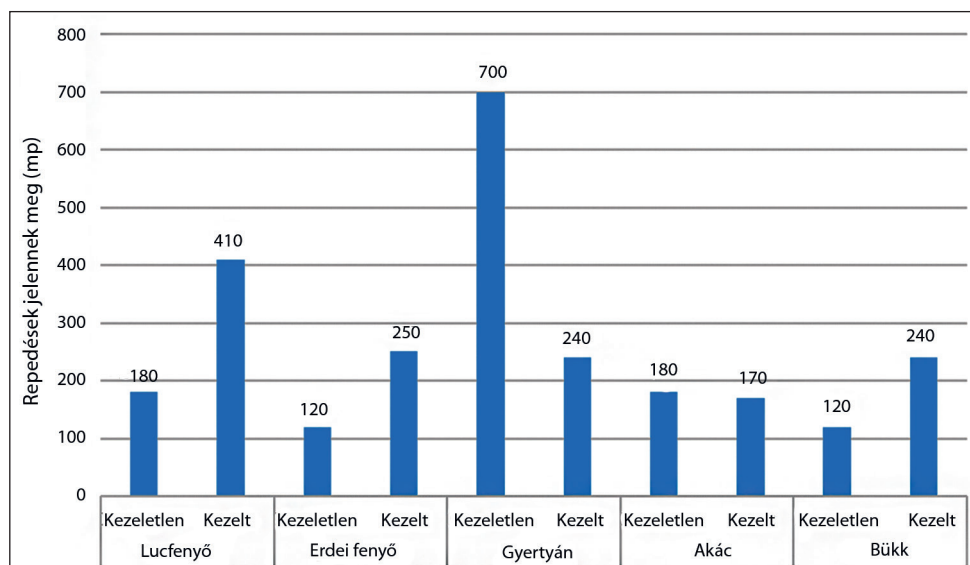
A repedések megjelenését vizsgálva a 3. ábra alapján elmondható, hogy a kezeletlen erdei fenyő és bükk mintadarabok hátoldalán viszonylag hamar keletkeztek repedések, míg

a kezeletlen gyertyán annak ellenére sem repedt meg, hogy 555 mp-nél már feketedett a mintadarab hátulja. A kezelt minták közül a lucfenyő repedt meg a legkésőbb (120 mp), amelynek ekkor a hátoldalán már 110 °C-ot mértünk.



2. ábra: Tömegvesztések kezeletlen és kezelt minták esetén sugárzó hőnek való kitettség során

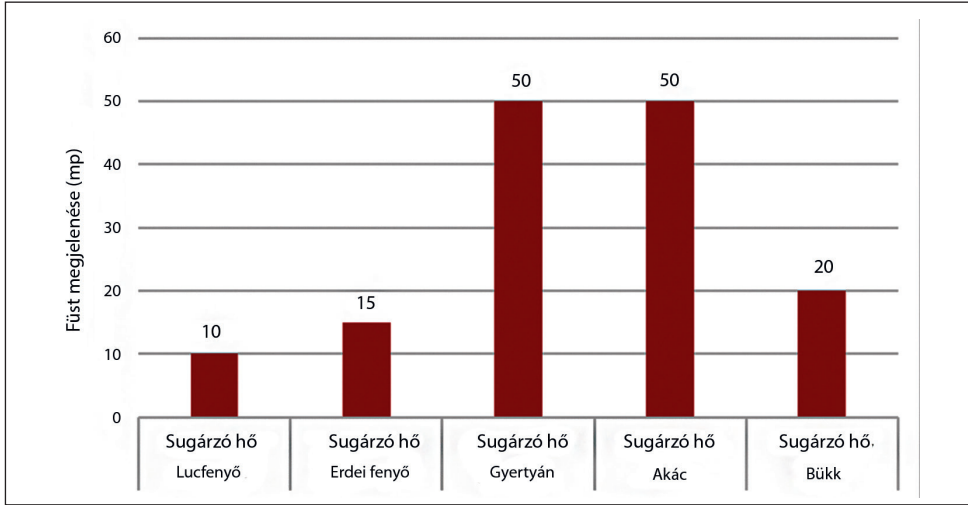
Forrás: a szerzők szerkesztése



3. ábra: Repedések megjelenése kezeletlen és kezelt minták esetén sugárzó hő hatására

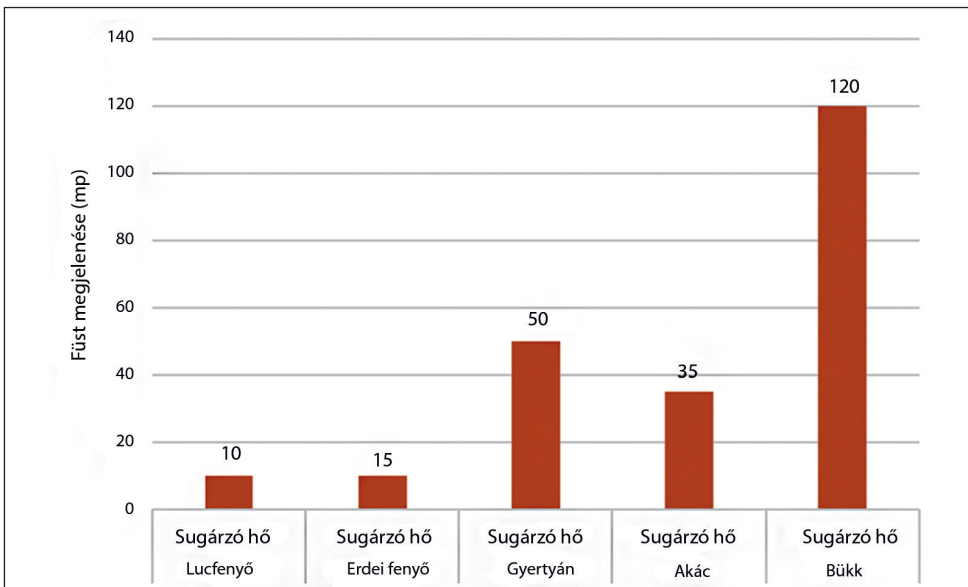
Forrás: a szerzők szerkesztése

A fentiekén kívül vizsgáltuk a sugárzó hő hatására végbemenő füst kibocsátást is. A kezeletlen és kezelt minták füstképződését mutatják a 4. és 5. ábrák diagramjai.



4. ábra: Füst megjelenése a kezeletlen mintáknál sugárzó hő hatására

Forrás: a szerzők szerkesztése



5. ábra: Füst megjelenése a kezelt mintáknál sugárzó hő hatására

Forrás: a szerzők szerkesztése

Külön érdekesség a füstképződés megjelenése sugárzó hőnek való kitettség esetében. Az ábrákból kitűnik, hogy az egyes fafajok füst kibocsátásainak esetén is eltérések mutatkoznak sugárzó hőnek való kitettség során. Az ábrákból kitűnik, hogy az égéskésleltető szer a fafajok egy részénél (lucfenyő, akác) lerövidítette a füst megjelenési idejét, míg más fafajoknál (erdei fenyő, gyertyán) meghosszabbította azt.

Összegzés

Tűz esetén nemcsak közvetlen láng hatás érheti a fát, hanem sugárzó hő is. A sugárzó hő hatás minden esetben megelőzi a lángterjedést. A nemzetközi szakirodalom eredményeire támaszkodva elmondható, hogy a jövőben a fa és fa alapanyagú építési termékek égéskésleltetési lehetőségének vizsgálatakor a szabványos Lindner-módszer mellett a sugárzó hő hatásának vizsgálata is egyre nagyobb teret nyerhet. Ugyanis a sugárzó hő bár nem látjuk szabad szemmel, a hatására létrejövő pirolízis visszafordíthatatlan folyamatokat indíthat el adott építmény anyagaiban. Ezért tűzvédelmi jelentőségét javasolt figyelembe venni.

Sugárzó hőnek kitett minták esetén is egyértelműen megmutatkozott az égéskésleltető szerek hatékonysága és különbözősége. Ez elsődlegesen a tömegvesztésbeli különbségben jelentkezett. Ugyanis a tömegvesztés a kezelt mintaanyagok esetében kisebb mértékűnek adódott.

Kiemelendő volt a gyertyán viselkedése, amely minden vizsgált szempontból lényegesen eltért a többi mintától. A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy legellenállóbbnak tekinthető mind az átégés, mind a füstképződés, mind a repedések keletkezésének bekövetkezésével szemben idő szempontjából. Mechanikai szilárdságát még 300 °C körül is megtartotta.

Vizsgálataink arra hívják fel a figyelmet, hogy az égéskésleltető szerrel kezelt különböző faanyagú és fa alapanyagú építési termékek már sugárzó hő hatására olyan fizikai, kémiai változásokat szenvedhetnek el, amelyek még a közvetlen láng hatásnak való kitettség előtt kedvezőtlenül befolyásolhatják az építmény szerkezeti és tűzbiztonságát.

Felhasznált irodalom

- BEDA László – MOHAI Ágota (2012): *Papírtekercek éghetőségének vizsgálata, az eredmények hatása a papírtekercek raktárak tűzvédelmére*. Budapest: Avernim.
- BODNÁR László – TEKNŐS László (2023): A globális éghajlatváltozás hatásai az erdőtüzekre. *Védelem Tudomány: Katasztrófavédelmi online tudományos folyóirat*, 8(különszám), 177–184. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13888>
- CHEIM, Luiz et al. (2012): Furan Analysis for Liquid Power Transformers. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 28(2), 8–21. Online: <https://doi.org/10.1109/MEI.2012.6159177>
- DI HA LE, Truong (2019): Experimental Assessment of the Fire Resistance Mechanisms of Timber-Steel Composites. *Materials*, 12(23), 4003. Online: <https://doi.org/10.3390/ma12234003>
- GYÖRI, Melinda et al. (2021): Combustible Parameters of Native Timber Modified by Blokk Wood Method. *Védelem Tudomány: Katasztrófavédelmi online tudományos folyóirat*, 6(3), 107–124. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/download/13728/11154/>

- HAJDU, Flóra et al. (2022): Examination of Vegetation Fire Spread with Numerical Modelling and Simulation Using Fire Dynamic Simulator. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 21(3), 85–100. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2022.3.5>
- HAJDU, Flóra – KÖRNYEI, László – KUTI, Rajmund (2023): One-At-A-Time Sensitivity Study of a Tree Burning Simulation. *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Science*, 19(1), 1–7. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2023.00850>
- Ji, Jingwei et al. (2006): An Integral Model for Wood Auto-Ignition Under Variable Heat Flux. *Journal of Fire Sciences*, 24(5), 413–425. Online: <https://doi.org/10.1177/0734904106062138>
- KERÉKES, Zsuzsanna – LUBLÓY, Éva – KOPECSKÓ, Katalin (2018): Behaviour of Tyres in Fire: Determination of Burning Characteristics of Tyres. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133, 279–287. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7001-9>
- LIU, Hao et al. (2023): Experimental and Theoretical Study on Ignition and Combustion Characteristics of Aging Woods by Cone Calorimetry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148, 10573–10582. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12311-0>
- LUBLÓY, Éva et al. (2023): Examination of the Fire Performance of Wood Materials Treated With Different Precautions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148, 4129–4140. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12050-2>
- MENSAH, Rhoda Afriyie et al. (2023): Characterisation of the Fire Behaviour of Wood: From Pyrolysis to Fire Retardant Mechanisms. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, (148), 1407–1422. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11442-0>
- MSZ 9607:2020 (2020): *Égéskésleltető szerrel kezelt, fa és fa alapanyagú építési termékek vizsgálata. A kezelés hatékonyságának értékelése Lindner-módszer alapján.* Budapest: Magyar Szabványügyi Testület.
- PLUZSIK András – SZITNYAINÉ SIKLÓSI Magdolna – VARGYAY Kornélia (1993): *A faanyagvédelem módszerei és anyagai.* Budapest: Facta.
- VOTHI, Hai et al. (2019): Novel Nitrogen-Phosphorus Flame Retardant Based on Phosphonamidate: Thermal Stability and Flame Retardancy. *ACS Omega*, 4(18), 17791–17797. Online: <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02371>
- WANG, Jiawei et al. (2021a): Effect of Delignification on Thermal Degradation Reactivities of Hemicellulose and Cellulose in Wood Cell Walls. *Journal of Wood Science*, 67(19), 1–11. Online: <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01952-0>
- WANG, Jiawei et al (2021b): Thermal Degradation of Hemicellulose and Cellulose in Ball-Milled Cedar and Beech Wood. *Journal of Wood Science*, 67(32), 1–14. Online: <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01962-y>
- ZHENG, Chao – LI, Dongfang – EK, Monica (2019): Mechanism and Kinetics of Thermal Degradation of Insulating Materials Developed from Cellulose Fiber and Fire Retardants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135, 3015–3027. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7564-5>
- ZHU, F. L. – LI, X. – FENG, Q. Q. (2021): Thermal Decomposed Behavior and Kinetic Study for Untreated and Flame Retardant Treated Regenerated Cellulose Fibers Using Thermogravimetric Analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 145, 423–435. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09780-y>