



Nagy László Zoltán

LAKÁSTÜZEK KELETKEZÉSE ÉS TERJEDÉSE

Absztrakt

Az elmúlt ötven év tűzeseti, tűzoltási tapasztalatai azt mutatják, hogy az ipari, a technikai és a digitális térben, valamint a társadalmi technokráciában bekövetkezett gyorsuló jelenségek, folyamatok, exponenciálisan jelentkező változások, és azok hatásai nyomon követhetőek nem csak a megelőző tűzvédelemben, hanem a lakástüzek lefolyásánál is. Ez a paradigmaváltás új szemléletmódot kíván a tűzoltás taktikájában, ugyanakkor a hatékony tűzoltói beavatkozást is új dimenzióba helyezi.

Kulcsszavak: lakástűz, tűzvédelem, tűzkockázat, tűzoltástaktika

GENERATION AND SPREAD OF DOMESTIC FIRE

Abstract

The experience of fire and firefighting in the last fifty years shows that the accelerating phenomena, processes, exponential changes and their effects in the industrial, technical and digital space, as well as in the social technocracy, can be traced not only in preventive fire protection, but also in the event of house fires. This paradigm shift requires a new approach to firefighting tactics, but also puts effective firefighting intervention in a new dimension.

Keywords: house fire, fire protection, fire risk, firefighting tactics



1. BEVEZETÉS

Az elmúlt ötven év tűzeseti, tűzoltási tapasztalatai azt mutatják, hogy az ipari-, a technikai-, és a digitális térben, valamint a társadalmi technokráciában bekövetkezett gyorsuló jelenségek, folyamatok exponenciálisan jelentkező változások, és azok hatásai nyomon követhetők nem csak a megelőző tűzvédelemben, hanem a lakástűzek lefolyásánál is. Ez a paradigmaváltás új szemléletmódot kíván a tűzoltás taktikájában, ugyanakkor a hatékony tűzoltói beavatkozást is új dimenzióba helyezi.

Ez a mentő tűzvédelemben jelentkező új kihívás jól nyomon követhető az elmúlt 100 év tűzkár-statisztikai adatainak (1. számú melléklet), de különösen az elmúlt 20 évben bekövetkezett kiemelt tűzesemények tűzoltói beavatkozásainak elemzése kapcsán.

A műszaki-, technikai-, és társadalmi fejlődés miatt a megelőző és a mentő tűzvédelemben bekövetkező változások (pl. szimulációk, Building Information Modeling (BIM), tűzoltói beavatkozó központok megjelenése, életmentési- tűzoltási taktika megválasztása, stb.) magukkal húzzák, esetenként kikényszerítik a tűzvizsgálati szemléletváltás szükségességét is.

2. LAKÁSTÜZEK KELETKEZÉSE, A TŰZEK IDŐBELI LEFOLYÁSA, A TŰZOLTÁS TAKTIKÁT BEFOLYÁSOLÓ KÖRÜLMÉNYEK

2.1. Átlagos tűz

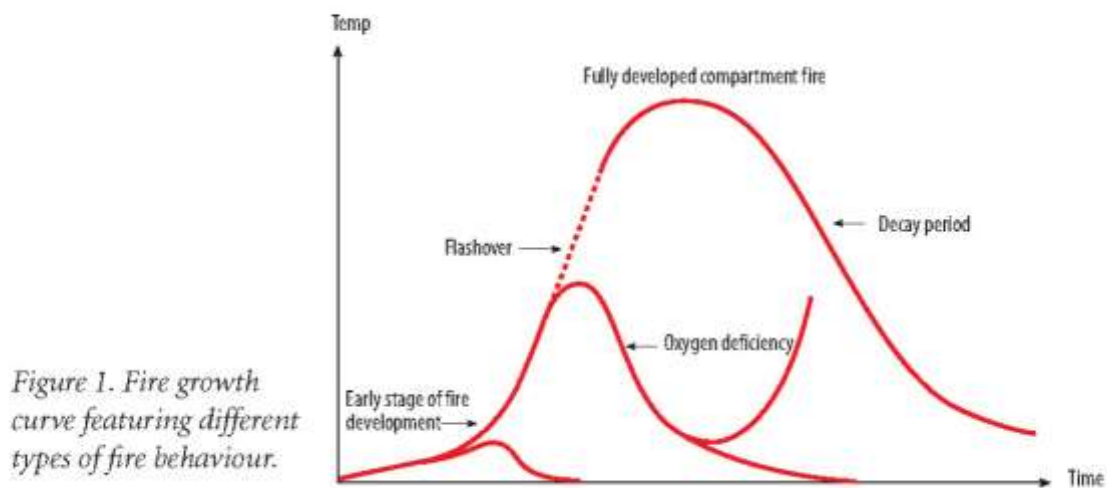
Ahhoz, hogy megértsük a helyiségtűzeket, szükség van azoknak a fizikai és kémiai folyamatoknak a részletes ismeretére, amelyek szabályozzák a tűz fejlődését.

A tűz keletkezése és lefolyása rendkívül sokféleképpen alakulhat. Lehetetlen leírni, és megjósolni, minden ilyen adott típusú tűz kialakulásának fejlődésének, terjedésének lefolyását. De egy általános megértését tudunk nyújtani abban, hogy egy lakástűz hogyan keletkezik. A tűz



fejlődését az éghető anyagok mennyisége és a tűz szobán belüli elhelyezkedése befolyásolja elsősorban. Az oxigénellátás egy másik fontos tényező.

Ha a helyiség nyílászárói zárva vannak, akkor a tűz intenzitása fokozatosan csökkenni fog, ami azt jelenti, hogy a hőmérséklet és a füstgázok mennyisége a térben csökkenni fog. Bizonyos esetekben például egy ablak megrepedhet, és az oxigénellátás biztosítása eredményeként új lendületet ad a tűznek.



1. ábra Különböző tűzlefutási görbék, az idő és hőmérséklet függvényében (5)

Általában a tűz növekedési görbét használjuk a tűz fejlődésének leírásához, ahogy az 1. ábrán látható. Ez az ábra rendkívül fontos, és mint kiindulási feltételt számos helyen fogjuk használni. A vízszintes tengely az időváltozást mutatja, a függőleges tengelyen a mennyezet alatt felhalmozódott hő- és füstgázok mennyiségét tudjuk nyomon követni – és azt feltételezzük, hogy mindvégig átlagos tűzterhelésű tűz fejlődik a lakásban. Az ábra megmutatja, hogy a tűz fejlődése milyen lehetséges utakon tud megvalósulni. Az önfenntartó égés kialakulása után azt az időszakot, amikor a térben lévő éghető anyagok teljes mennyisége lánggal ég és gyorsuló tűzfejlődés következik be „flashovernek” nevezi a szakirodalom.



2.2. Kezdeti gyorsuló tűzfejlődés

Nézzük először a kezdeti szakaszban gyorsuló tűzfejlődéssel járó tüzeket. Ilyenkor a korai tűz fejlődési fázisban (1. ábra), a hőmérséklet fokozatosan emelkedik, ha van egy nyílás, például egy ablak vagy ajtó, a zárt térben, ahol a tűz keletkezett. Ez a zárt tér lehet egy normálisan berendezett lakás. A tűz fejlődhet ún. flashover-rel, ami azt jelenti, hogy az éghető anyag a tűzfészektől távolabb fog kibocsátani pirolízis termékek. A lángok teljesen kitöltik a teret, amely nagyon magas szintű hősugárzást generál. Védőruházat viselése is csak néhány másodpercig teszi lehetővé, hogy ennek az extrém hőhatásnak az emberi szervezet ellenálljon. Ezért az életmentés érdekében, az egyik alapvető feladat, megakadályozni, hogy a tűz elérje ezt a fázist.

Abban az esetben, ha az átívelés jelensége miatt, a felszabaduló éghető gőz- és gázkibocsájtás miatti hőmérsékletemelkedés a tűz intenzitását drámaian felgyorsítja, a tüzet már nagyon nehéz szakfelszerelés nélkül eloltani, ugyanakkor a keletkezett tűzkár is sokkal nagyobb lesz. Ez szintén egy újabb indok arra, hogy még a lángba-borulás előtt el kell kezdeni a tűzoltást. Természetesen nem minden tűz végződik flashover jelenséggel. A statisztikák szerint, a zárt térben a teljes lángba-borulás jelensége az összes tüzek csak néhány százalékában valósul meg. Ha egy átívelés történik, ez elsősorban az égés oxigénhez való hozzáférését változtatja meg, amely a hőleadási sebességet vezérli.

A flash overt követő égési szakaszt a zárttéri tüzeknél teljesen kifejlődött tűznek nevezzük. Ez a szakasz a tűz viselkedése szempontjából az épület tűzvédelmi tervezésnél figyelembe veendő paramétereinek meghatározásakor és a tűzvédelmi számítások figyelembevételkor fontos.

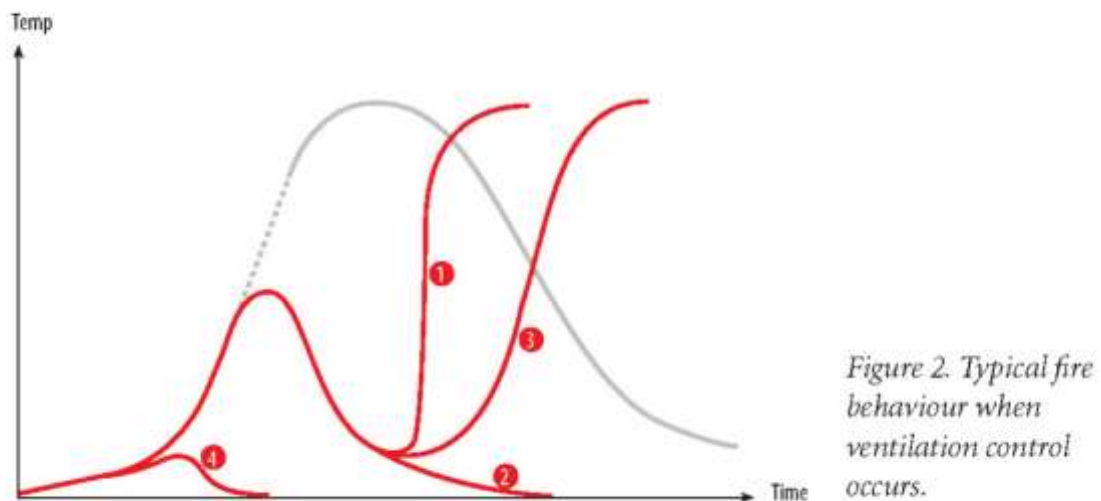
Amikor az összes éghető anyag a zárt térben már elég hosszú ideig ég, akkor a tömegveszteség mértéke és ennek következtében, a hőfelszabadulás mértéke csökken. Ez a szakasz a bomlási időszak.

2.3. Oxigénvezérelt tűzfejlődés

Ha a közlekedési, menekülési útvonalak nyílászárói egy épületben zárva vannak, a tűz nem fejlődhet az ún. lángkitörés fázisáig az oxigénhiány miatt. A tűz intenzitása csökken, mielőtt a



nyílászárók a tűzben tönkremennének. Ez különböző módokon következhet be, amit a 2. ábra szemléltet.



2. ábra: A tűz viselkedése az égés oxigénvezérelt szakaszában (5)

A nyílászárók, szellőzők, hő- és füstelvezető rendszerek olyan égést szabályozó eszközök, amik különböző módon korlátozzák a tűz fejlődését az égéshez szükséges oxigén mennyiség által. Sok esetben a tűz levegő ellátása szabályozottá válik, amikor a tűzoltóság megérkezik a helyszínre. Szellőzési változónak nevezzük azt az időt, amely alatt a tűz ezt a fázist eléri.

Vizsgáljunk meg például egy hagyományos TV készülék tüzet. Egy TV égésekor mintegy 200 és 500 kW közötti energia szabadul fel. Ez azt jelenti, hogy egy átlagos méretű szoba esetén a tűz kezdetétől számított 3-6 perc után, csökkenni fog az oxigénmennyiség. Ezt követően, a tűz intenzitása is csökkenni fog, és általában izzó égésbe megy át a tűz, vagy spontán kialszik.

Számos lakástűznél a szellőzés ellenőrzötté válik, amikor a tűzoltóság megérkezik a helyszínre. Amikor a raj megérkezik és behatol a szobába, a tűz újra intenzívvé válik, mivel friss levőutánpótlás eredményeképpen, a felhalmozódott éghető füstgázok a szobában meggyulladnak. Azonban ez viszonylag fordul elő. Ezt a tűzlefolysást ábrázolja a **2. ábra 3. görbéje**.



2.4. Kitérő lángok – szúróláng

Néhány esetben nagyon gyorsan meggyulladnak a füstgázok, és a *lángok 1-2 m/s sebességgel kitérnek* a szobából. Ezt a jelenséget nevezik **szúróláng**nak. Ilyenkor a friss levegő utánpótlás mértéke, szabályozottsága jelentős kockázatonövelő tényező, és néhány esetben halálhoz is vezetett. Ezért nagyon fontos megtanulni és felismerni a közelgő szúróláng figyelmeztető jeleit. A szúrólángot illusztrálja a **2. ábra 1-es görbéje**. Sok lakástűznél előfordul, hogy a tűz csak néhány tárgyat károsít és mindössze enyhe füstkár keletkezik.

2.5. Oxigénhiányos égés

Amikor a tűzoltóság kiérkezik a helyszínre, az elsőnek meggyulladt tárgy gyakran még mindig ég. Jellemzően két forgatókönyv játszódik le ilyenkor. Az elsőnél, a tűz spontán kialszik az oxigénhiány miatt. Ez a tűz alig terjedt tovább az elsőként meggyulladt (kezdeti) tárgyon kívül más éghető anyagokra. Ezt mutatja a **2. ábra 2-es görbéje**. A hőmérséklet ebben az esetben meglehetősen alacsony, és nem keletkezett sok füst, égésgáz a lakásban.

2.6. Anyagvezérelt égés

A másik gyakori eset, hogy a tűz még az ún. anyagvezérelt égéssel ég akkor, amikor a tűzoltóság kiérkezik. Ebben az esetben van elég levegő az égéshez, és a tűz még az anyagvezérelt égés fázisában van. Az éghető anyag által szabályozott tűz miatt lehet, hogy a teljes hőterhelés alacsony marad, ami azt jelenti, hogy a tűz során nem szabadul fel elegendő hőmennyiség ahhoz, hogy a gyors tűzfejlődés (flashover) létrejöhessen. Ez amiatt is előfordulhat, hogy az éghető tárgyak távolsága egymáshoz képest relatíve olyan nagy, hogy a tűzfészek környezetében lévő éghető anyagokban a termikus bomlás sebessége nem éri el a flashoverhez szükséges kritikus mennyiséget, és emiatt a lángok nem terjednek át az elsőként meggyulladt tárgyakon kívül más éghető anyagokra.

A lakás megtelhet füsttel, de a hőmérséklet gyakran viszonylag alacsony marad. Ez az esetet mutatja a **2. ábra 4. görbéje**. Annak érdekében, hogy meg tudjuk határozni, hogy milyen messze fog terjedni a tűz, fontos, az olyan égésméleti ismeret, amit a gyakorlati életre vonatkoztatva is tudunk alkalmazni. (4) (5)



3. A TŰZFEJLŐDÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ FŐ TÉNYEZŐK

A tűz fejlődését, dinamikáját elsősorban

- a szoba geometriája,
- a nyílászárók helye és mérete,
- az éghető anyag típusa és
- szobán belüli elrendezése vezérli, befolyásolja.
- Egyéb kiváltó faktorok közé tartoznak a zárt felületek termikus tulajdonságai, mint például a sűrűség és a fűtőteljesítmény.

4. A TŰZ MÉRETÉT BEFOLYÁSOLÓ ÉGÉSI FÁZISOK

Megismertük azokat a jellemző tűzlefordásokat, variációkat, amelyek akkor játszódnak le, ha a tűz egy szobában keletkezik. Azonban ezek csak az alapvariációk. A valóság sokkal bonyolultabb, és az a mód, ahogyan egy bizonyos típusú tűz (pl. szobatűz, lakástűz stb.) le tud játszódni, különböző tényezők, égési folyamat-szabályozók összegzett hatásától, eredményétől, a tűzfejlődés sokváltozós tényezőitől függ. Említettük már ezek közül néhányat, mint például az éghető anyag mennyisége, az éghető anyag elhelyezkedése és a levegő mennyisége. További jelentős tényezők közé tartoznak a burkolat anyagok (pl. falak, üveg) tűzállósági jellemzői, különösen a hővezetésük.

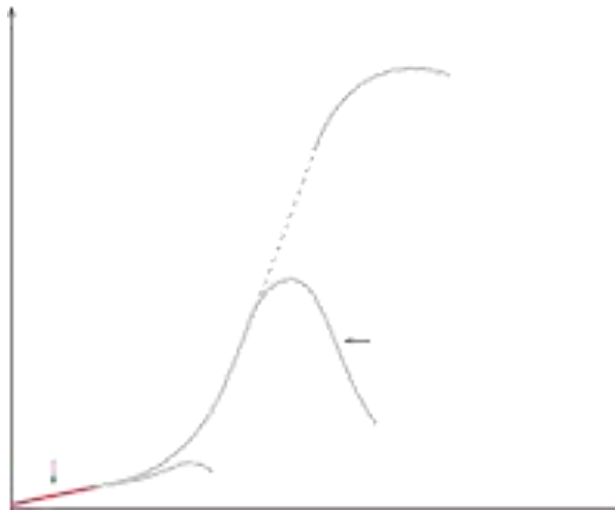
4.1. Önfenntartó égés

A tűzoltók általában azt mondják, hogy „*minden nagy tűz kis tűzzel kezdődik*”, ami teljesen igaz. Most elemezni fogjuk, miért marad kicsi néhány tűz, és ezért nem okoz jelentős károkat, valamint hogy milyen tényezők befolyásolják a tűz nagyságát. A két legfontosabb tényező

- az önfenntartó égés kialakulása és
- a láng terjedése.



Ezeket részletesebben tárgyaljuk.



3. ábra Önfenntartó égés

Az ábra egy szobátűz esetén a hőmérséklet alakulását mutatja a függőleges tengely és az időt a vízszintes tengely mentén. A tűz alakulása sok körülménytől függ. A lánggal égési fázis megjelenése (a lappangó, és a füstfejlődési szakasz után) az első része a tűz növekedési görbéjének, a 3. ábrán piros színnel lett jelölve. Itt már kialakult az önfenntartó égés jelensége.

4.2. Kezdeti tűz – az éghető anyagok elhelyezkedése

A gyújtóforrás megmutatja, hogy mi volt az az indító/gyújtóhatás, amely a tűzhez vezetett. A tüzet iniciálhatja/kiválthatja pl. a tűzhely, elektromos berendezés, gyertyaláng vagy égő cigaretta. A nyugati államokban a három leggyakoribb tűzkeletkezési okok:

- a felügyelet nélkül marad tűzhelyek és főzőlapok,
- a nyílt láng (szándékos, vagy gondatlan formában),
- a villamos energia és
- a tüzelő- és fűtő berendezések használata.

A halálos szobátűzek leginkább az ágy, kanapé fekvőrészen, vagy ágyneműn keletkeznek. Ez annak köszönhető, hogy a halálos tüzek esetén gyakori tűz kiváltó ok az égő cigaretta, vagy



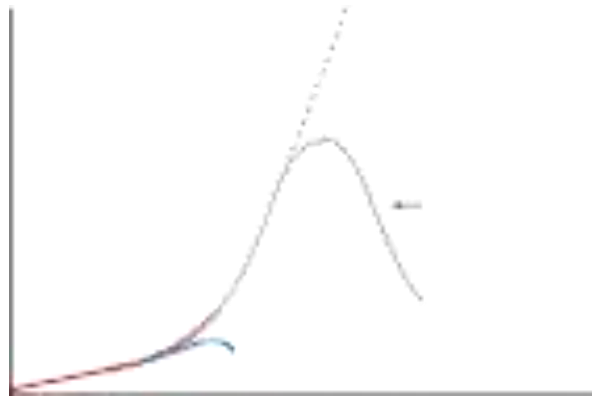
annak parazsa. Hasonlóan gyakori halálos tűzkeletkezési ok közé tartozik, amikor a lakók ruhája valamilyen gyújtóforrástól (pl. gyertyaláng, gáztűzhely lángja stb.) lángra kap.

A tűz fejlődése időrendi sorrendben különböző szakaszokon megy keresztül. A lánggal égési fázis az a pont a tűz növekedési görbéjénél, amikor egy éghető tárgy önfenntartó égése kialakul. Ez döntő tényező a tűz fejlődése szempontjából.



4. ábra: Lakástüzek leggyakoribb kiváltó okai.

- Anyagvezérelt égés során az éghető anyag hőleadási sebessége szabályozza a tűz fejlődését.
- Oxigén vezérelt égés esetén az oxigén mennyisége szabályozza a hő felszabadulási sebességét és így a tűz dinamikáját.



5. ábra

Az ábrán a tűz viselkedése két különböző módon alakulhat.

A tűz növekszik vagy alábbhagy.

- Ha a szobában a tűzfészeknél nagy mennyiségű az éghető anyag, vagy az éghető anyag a közelétől folyamatos eloszlású, akkor nagy tűz tud kifejlődni.
- Ha ezek a feltételek nem állnak fenn, a tűz nem terjed tovább, anyagvezérelt marad az égés és a tűz az elsőként meggyulladt éghető anyag, bútor, tárgy elége után elalszik.
- Amikor a tűz éghetőanyag szabályozott, a hőleadás által ellenőrzött a hozzáférése az éghető anyaghoz. Ebben az esetben van elegendő oxigén az összes éghető anyag elégeéhez. A másik esetben, amikor a tűz levegő utánpótlása korlátozott, az égéshez szükséges oxigén mennyiségét a nyílászárók elhelyezkedése és mérete szabályozza a hőtermelést. Mindezek mellett, amint látható volt, az éghető anyagok elhelyezkedése is fontos a tűz viselkedése szempontjából.

4.3. Kezdeti tűz – A tűz fejlődése, terjedése

Hogyan fejlődik a tűz, hogyan terjed tovább? Ha van esély a tűz továbbterjedésére a hőleadási arány növekedni fog. A tűz kezdeténél felszabaduló hőenergia fogja a további tárgyakat meggyújtani. A gyújtóforrás és a gyújtási energia ebből a szempontból az egyik legfontosabb jelenség. Az éghető anyag lángterjedési sebessége is nagyon fontos tényező, hiszen ez is alapvetően determinálja, hogy a tűz tovább terjed-e vagy nem.



A legtöbb esetben a hőkibocsátási sebesség egy használati tárgy, bútor esetén nem elegendő egy szoba teljes kiégéséhez. Általában kezdeti tűzről beszélünk, amikor azt vizsgáljuk, hogy mi volt az az elsőként meggyulladt tárgy, ahol a tűz keletkezett, és az önfenntartó égés kialakult. Ez lehet például egy kanapé vagy egy gyertya az asztalon. (1)

Kezdjük az első tűzlefelgyulladás vizsgálatát. Elméletileg két verzió lehetséges az égés szempontjából egy kezdeti tűznél. A tűz vagy növekszik, vagy alábbhagy.

Az első esetet (a tűz alábbhagy - lásd 6. ábra) nagyon könnyű kezelni tűzoltás-taktikai szempontból. Gyakran vannak mérgező gázok a térben, de a tényleges tüzet nagyon könnyű eloltani. Ez a tűzlefelgyulladás nagyon gyakori a lakástüzek esetén.



6. ábra: A tűz nem terjed tovább.

A második esetben, (a kezdeti tűz tovább fejlődik- 7. ábra), kicsit bonyolultabb a kérdés. Az éghető anyag elrendezésének ismerete a szobában elengedhetetlen ahhoz, hogy a tűz dinamikája hogyan alakul. A tárgyak porózus részei és a faalapú alkotóelemei hozzájárulnak a tűz gyors fejlődéséhez. Megfigyelhető, hogy az anyag meggyullad, és a lángok továbbterjednek más tárgyakra. Műanyagról ritkábban indul ki tűz, az hogy erről nagyon gyorsan terjed annak a ténynek köszönhető, hogy égve csepegtetve további égési góccokat, újabb tűzfészkeket tud indukálni a padlón.

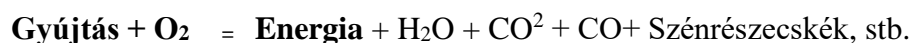


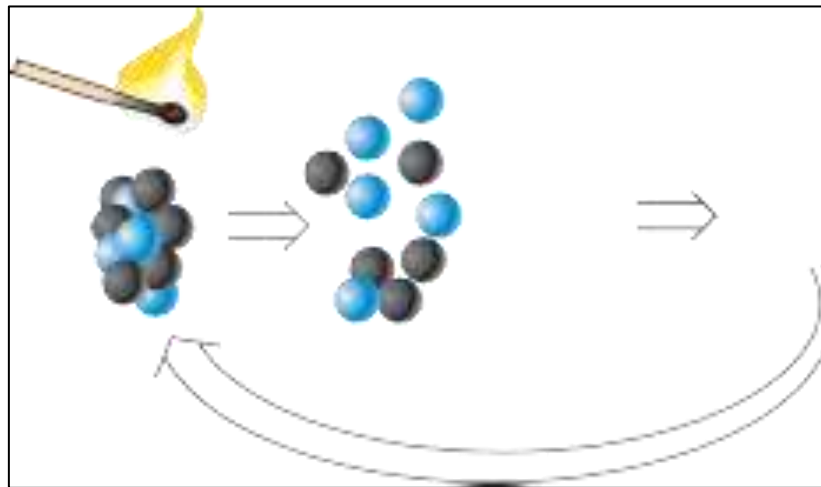
7. ábra: A kezdeti tűz a kanapén továbbterjed. A tűz nagysága növekszik.

5. A TŰZ MÉRETÉT BEFOLYÁSOLÓ KÉMIAI, FIZIKAI TÉNYEZŐK

5.1. Exoterm folyamat

Az égés egy hőtermeléssel járó kémiai reakció. Az égés fogalma tágabb értelemben magában foglal sok olyan kémiai reakciót, amikor az anyag oxidálódik. Kémiai szempontból az éghető anyag és az oxidálószer reagálnak egymással, amely során hőenergia szabadul fel és ezt hang- és/vagy fényjelenség kíséri. Ennek eredményeként, a kémiai folyamatot fizikai hatások kísérik. A kémiai folyamat során fizikai energia szabadul fel hő formájában.





8. ábra Exoterm folyamat

Az izzás, majd a láng az első látható jele az égésnek. Az éghető anyag begyulladhat a magas hőmérsékletnek köszönhetően, vagy egy külső forrásból is meg lehet gyújtani, például nyílt láng vagy valamilyen szikra által. Minden szilárd anyagnak van egy kritikus hőmérséklete az ún. öngyulladás hőmérséklet, amelynél az önfenntartó égés bekövetkezik.

De ez általában anyagonként eltérő. A szilárd anyagok felületének fel kell melegednie 300-400 °C-ra, hogy az önfenntartó égés kialakulhasson. Ha nincs láng a közelben, a felület hőmérsékletének magasabbnak kell lennie. Ilyenkor a felületi hőmérséklet eléri az 500-600 °C-ot is, mielőtt az önfenntartó égés kialakul.

Azt az időt (másodpercben mérve), amikor a megfelelő gyújtási energiával rendelkező gyújtóforrás hatására a szilárd anyag esetén az önfenntartó égés kialakulásához szükséges **gyújtási időnek** nevezzük. (Ön)gyulladásra kerül sor, amikor elegendő éghető gázok áramoltak ki a szilárd anyag felületén, oly módon, hogy azokat egy kis láng meggyújtja és önfenntartó lánggal égés alakul ki. (2)

Fa vagy papír (szerves polimerek) esetén a belőlük kiáramló éghető gázok minimális mennyisége (Emit) 2 g/m²s, amely elegendő ahhoz, hogy az önfenntartó égés kialakuljon. Műanyagok (szintetikus polimerek) esetében, amelyek magas energiatartalmúak körülbelül 1 g/m²s éghető gáz is elegendő az öngyulladás kialakulásához.

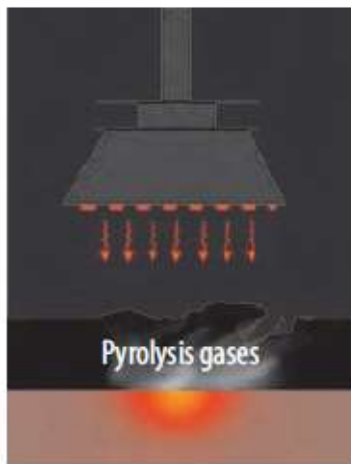


Figure 11. Energy balance on a surface. The figure shows how heat exchange occurs from the object, as well as how thermal conduction takes place through the object.

9. ábra: A pirolízis során felszabaduló éghető gáz és azok meggyulladása (5)

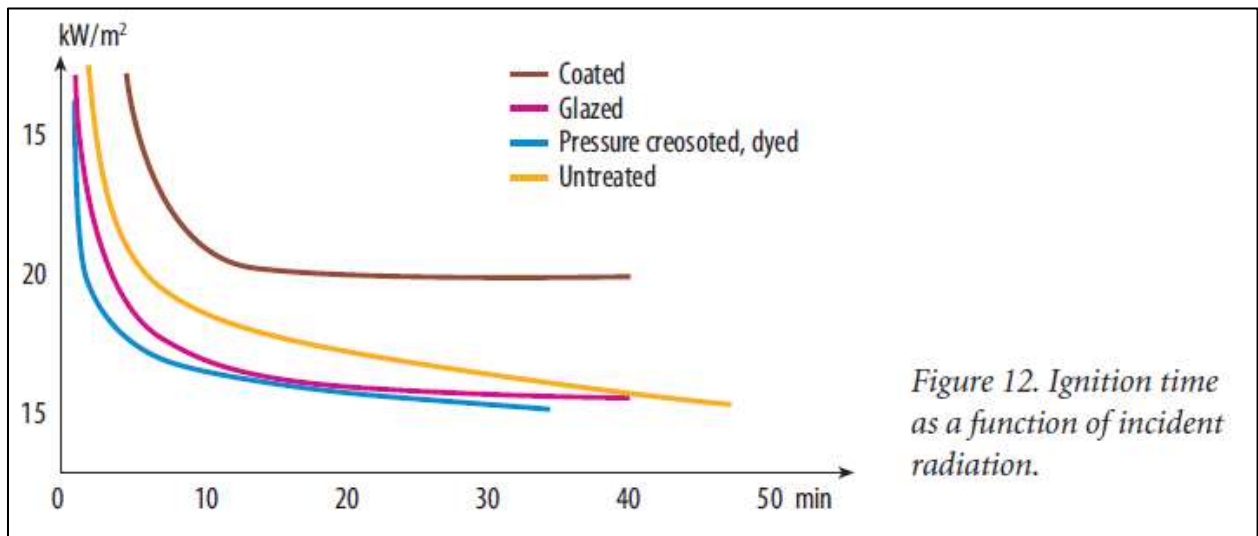
5.2. Energiamérleg egy szilárd anyag felületén

Az ábrán látható, hogy hőcsere megy végbe a hőforrás és az éghető anyag felülete között, valamint azt, hogyan alakul a hővezetés az éghető anyagon.

A 9. ábra megmutatja, hogy mi történik az éghető anyag felszínén, amikor az anyag egy külső hőszugárzásnak van kitéve. A hőszugárzás (és ebből adódóan a hőmérséklet-emelkedés) el kell, hogy érje az anyagra jellemző kritikus szintet, hogy az anyag pirolízise bekövetkezzen. A pirolízis során az éghető anyag bomlik. Ez a folyamat a külső hőszugárzás esetén jön létre. Ha a sugárzás szintje túl alacsony, az anyag soha nem lesz képes meggyulladni.

A kísérletek azt mutatták, hogy egy anyagra jellemző meghatározott hőmennyiség szükséges ahhoz, hogy egy bizonyos anyag, kis láng hatására képes legyen meggyulladni. Ez a hőmennyiség egy úgynevezett kúp-kaloriméter segítségével mérhető. A mérés során az anyagot egy kúp alá helyezzük, amely egy előre beállított szintű hőszugárzást bocsát ki. Szikra található gyújtóforrásként a generátor tetején, ami folyamatosan próbálja meggyújtani az anyagot. Azt az időt, amíg az anyag meggyullad, megmérhetjük.

A 10. ábra a hőszugárzás intenzitását (kW/m^2) mutatja, valamint azt az időtartalmat, amíg a fa meggyullad, ha ki van téve kísérleti körülményeknek.



10. ábra: Hősugárzás függvényében a gyújtási idő alakulása (5)

5.3. Felületi hőmérséklet szilárd anyagok esetén

Szilárd anyag felületi hőmérsékletét (T_s) ki lehet számítani az 1. egyenlet alkalmazásával, amely az általános hővezetési egyenletből lett leegyszerűsítve. Ez az egyenlet egyszerűbb lett, de továbbra is megfelelő céljainknak.

$$T_s - T_i = \frac{2\dot{q}'' t^{0.5}}{\pi^{0.5} (k\rho c)^{0.5}}$$

1. egyenlet

\dot{q}'' - hősugárzási energia (ebben az esetben, a tűz által szállított hő) W/m^2 -

T_s - az éghető anyag felületi hőmérséklete ($^{\circ}C$)

T_i - az éghető anyag felületi (eredeti hőmérséklet) kezdeti hőmérséklete ($^{\circ}C$)

k - hővezetési intenzitás $W/m^2\ ^{\circ}C$ (magas együttható azt jelenti, hogy az anyag jó hővezető)

ρ - sűrűség kg/m^3

c - fajlagos hőkapacitása $J/kg\ ^{\circ}C$ (ennek a hőmennyiségnek a tárolására képes az anyag)

t - idő másodpercben



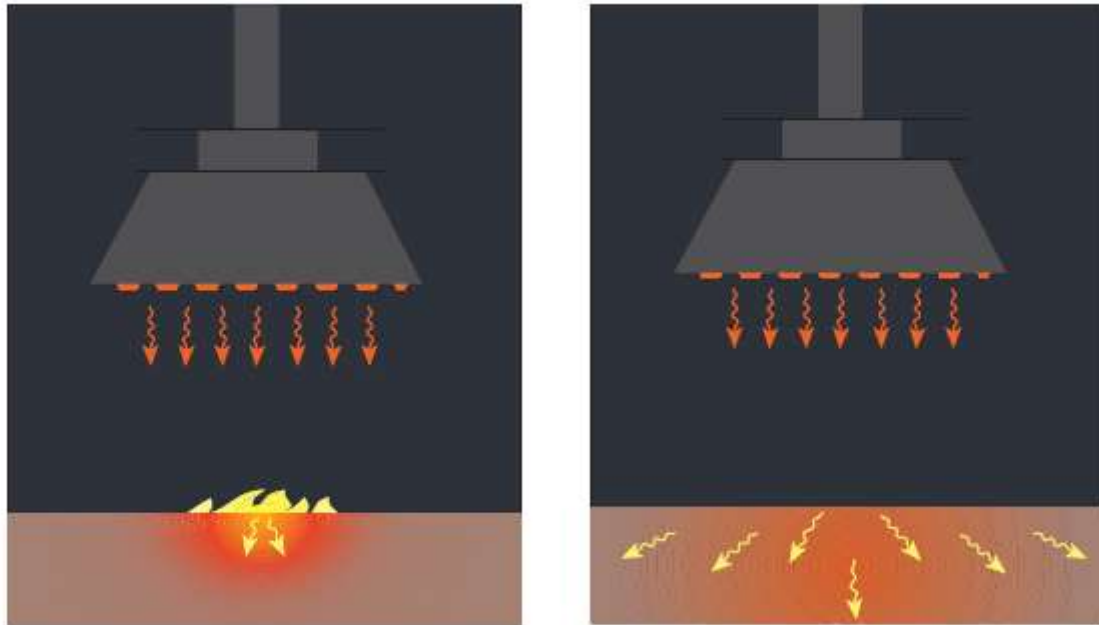
A 10. ábra megmutatja, hogy a kezelt fenyő lángra csak nagyon hosszú idő elteltével gyullad meg, ha a hőszugárzás intenzitása kisebb, mint 20 kW/m^2 . Ehhez képest a nem kezelt fenyő mindössze 7 perc alatt begyullad azonos sugárzási szint esetén. 20 kW/m^2 egyenértékű sugárzási energia során kibocsátott hőszugárzás elegendő éghető füstgáz réteget termel, ami 500 °C -os hőmérsékleten már kiváltja az öngyulladást. A fenti összefüggések alapján a szilárd anyagok gyúlékonysági paramétereinek figyelembevételével meg lehet becsülni azt az időt, ami egy bizonyos hő hatására gyújtást eredményez az anyagban. (3)

Egy szilárd anyag felülete gyorsan felmelegszik alacsony termikus tehetetlenség ($k\rho c$) esetén, mivel az a szilárd anyag, amelynek nagy a $k\rho c$ értéke lassan melegszik fel. Az 1. táblázat megmutatja a különbséget a különböző anyagok $k\rho c$ értéke között. Például össze tudjuk hasonlítani a faforgácslap és farostlemez gyújtási idejét. Mindkét anyag azonos állandó szintű 20 kW/m^2 hőszugárzásnak lett kitéve.

A forgácslap 180 másodperc után meggyullad. De a farostlemez, aminek jóval alacsonyabb a $k\rho c$ értéke, lényegesen rövidebb idő mindössze 50 másodperc alatt gyullad meg. A kísérletet egy speciális kaloriméterben végezték, amiben egy szikragenerátor található a gázok meggyújtására.

Anyag	k (W/ mK)	c (J / kgK)	ρ (kg/m ³)	$k\rho c$ (W ² s / m ⁴ K ²)
forgácslap	0.14	1.400	600	120.000
farost tábla	0.05	2.090	300	32.000
poliuretán	0.034	1.400	30	1,400
acél	45	460	7.820	160.000.000
fenyő	0.14	2.850	520	210.00

1. táblázat: Különböző anyagok hő-tehetetlensége



11. ábra: A hő blokkolva van a felületen, amikor az anyag jól szigetelt. Farostlemez látható a bal oldalon, forgácslap a jobb oldalon.

5.4. Lánggal égés és parázslás

A égési folyamatot fel lehet osztani lánggal égő és parázsló szakaszra.

- **Lánggal égés** (homogén oxidáció) akkor történik, amikor az éghető anyag és az oxidálószer ugyanabban a halmazállapotban vannak, pl. mind a kettő gázállapotú.
- **Parázsló égés** (heterogén oxidáció) fordul elő a felületen, amikor az éghető anyag és oxidálószer nem ugyanabban a halmazállapotban vannak, például, ha az éghető anyag szilárd az oxidálószer pedig gáz állapotú.

Az anyag felületén alacsony a termikus tehetetlenségi nyomaték, azaz kicsi a $k\rho c$ érték, ezért gyorsan felmelegszik, mivel kisebb az anyagban a hővezetés. Az alacsony érték miatt több hő akkumulálódik a felületen, ezért a felület sokkal gyorsabban eléri az öngyulladás a hőmérsékletet, ami általában $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

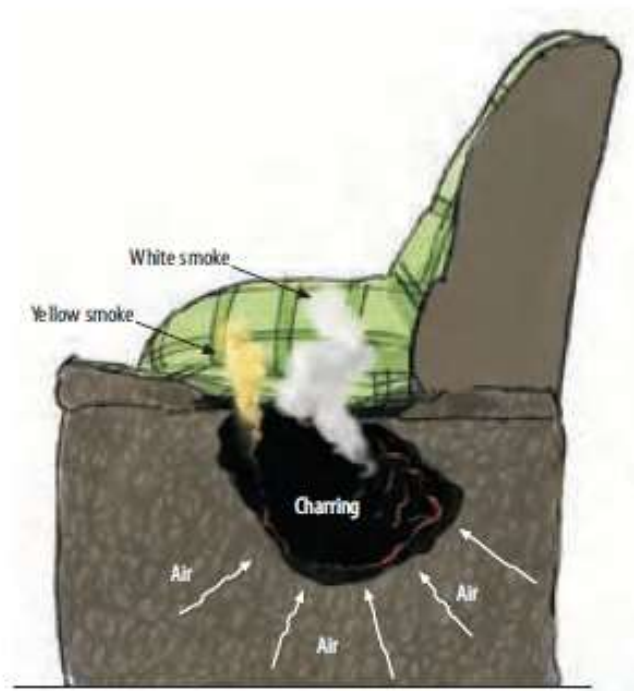
Éghető gázok és folyadékok lánggal égnek (flaming égés).



A szilárd anyagok esetén mindkét fajta égés előfordul. Parázsló égés is előfordulhat a szilárd anyag felületen vagy porózus anyag esetén az anyag belsejében, mert az anyag szerkezete miatt az oxigénhez hozzá tud férni, amely lehetővé teszi a további oxidálódást. A hő is akkumulálódik egy porózus anyagban, ami addig segíti a pirolízist, amíg be nem következik az öngyulladás.

A magas széntartalmú anyag (pl. fa) égésekor létrejövő elszenesedett anyagmaradvány (faszén) egy porózus anyag, amely általában láng nélkül ég. A parázsló tüzek sok füstöt és a pirolízis során sok égéstermékkel termelnek, ami nem oxidálódik el egyszerre. Egy szobátűz során az égő tárgy által kibocsátott pirolízis termékek (füstgáz, CO, stb.) a szoba felső részén halmozódnak fel, anélkül, hogy elégnének. A térrész fokozatosan megtelik füstgázokkal, amely elsősorban szén-monoxidból áll (amely mérgező belélegezve). A parázsló tüzek ezért gyakrabban halálos kimenetelűek, mint a lánggal égő tüzek.

Parázsló, lassan fejlődő tűz gyakori a kárpitozott bútorok esetén. A tűz a pamut, szövet felületén vagy poliuretán töltelékben kezd kifejlődni, lassan terjed, kis lánggal ég, parázsló. Gyakran egy cigaretta okoz ilyen tüzet (lásd 12. ábra).



12. ábra Parázsló, lassan fejlődő tűz



A poliuretán töltelék a parázsló tüzeknek jól ellenáll, anélkül, hogy a felületen lánggal égés kialakulna. De a kárpitozott bútorok különféle anyagokat egyesítenek oly módon, hogy ha egy anyagréteg elkezd parázslani, onnan már tovább tud haladni a tűz a többi anyagrétegre. Míg a szövet parázslóan ég, a habosított műanyagban létrejövő pirolízis elkezd füstöt termelni. A pirolízis a habosított műanyagot (sárga füst) érinti, ami hozzájárul a szövet pirolíziséhez, füsttermeléséhez. A szövet tömegveszteségének arányában növekszik a felszabaduló pirolízis-termékek mennyisége. Ez eredményezi azt, hogy a kárpitozott bútorok égésekor keverednek a parázsló és gyorsan fejlődő tűzfajták.

Parázsló tüzek gyakran fordulnak elő az összetett anyagstruktúrákból, anyagrétegekből álló bútorokon, amely miatt utólag nehéz meghatározni a tűz kiindulási helyét. Ebben az oxigénhiányos környezetben nem tud az időben gyorsuló lánggal égés megvalósulni, de az éghető gázok elszállítása és meggyulladása a kiindulási helytől távolabb, más helyeken könnyen bekövetkezhet. A parázsló tűz lassan ég, ami azt jelenti, hogy sokáig tart az égés.

Bár csak néhány olyan anyag van, amelyek parázsló égéssel égnek, de valójában ez nagyon gyakori jelenség. (4)

5.5. Felületi lángterjedés

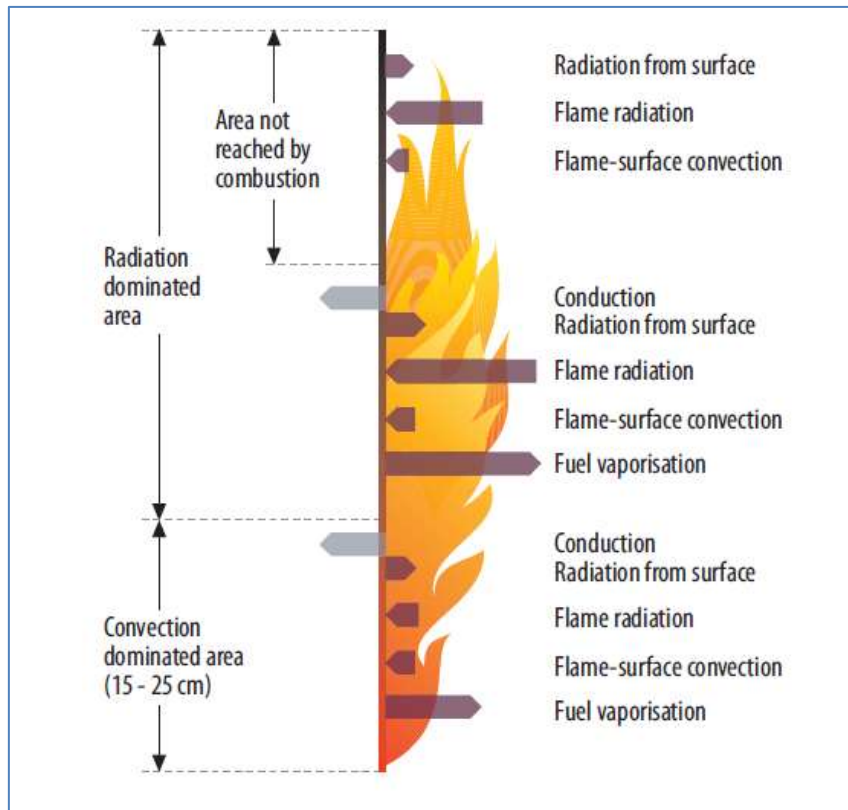
Amikor a lángterjedés kifejezést használjuk, akkor azon a kezdeti láng terjedését értjük, azaz attól a helytől kiindulva mérjük a sebességét, ahol a tűz elsőként keletkezett. Azonban a láng terjedése a felszabaduló gágrétegben is előfordulhat. Ilyenkor a lángok távolabb fejlődnek ki attól a helytől, ahol a pirolízis gázok felszabadultak. A láng terjedését úgy is lehet tekinteni, mint egy folyamatos (ön)gyulladás eseményt. Az öngyulladás nagyban függ az anyag termikus tehetetlenségétől, amit már korábban említettük. A láng terjedését az anyag $k_{\rho c}$ értéke is alapvetően befolyásolja.

Parázsló tűzzel ég egy habosított műanyag matrac. A legtöbb cellulóz anyag egy szén réteget képez, amely parázsló. Több műanyag is parázsló égéssel éghet.

Ahogy már említettük, a gyors lángterjedés hozzájárulhat a tűz területének növekedéséhez, és ennek következtében a megnő a hőkibocsátási sebesség is. Ez az idő előrehaladtával egyre



veszélyesebb helyzethez vezethet. Ezért nagyon fontos tisztázni, hogy milyen tényezők befolyásolják a láng terjedését.



13. ábra. Láng terjedése a falon

A 13. ábra mutatja, hogy mi történik a felszínen, ha a tűz a falnál fejlődik.

A falat 3 részre lehet osztani.

- Az alsó részben a konvekciós hőátadás dominál.
- A középső részen a láng hőszugárzó hatása a fő tényező, ami miatt a láng szélessége növekszik a magasság függvényében. Minél szélesebb a láng, annál inkább hőszugárzás útján történik a hőátadás.
- A felső részben, a fal még nem gyulladt meg. Az ábrán, a nyilak hossza megfelel a különböző háramlási viszonyok méretének.

A lángterjedés sebessége az anyagok felületén elsősorban a következőktől függ:

- az anyag termikus tehetetlenségi nyomatéka, $k\rho c$,



- a felület iránya,
- a felület geometriája,
- a környezet hatása.

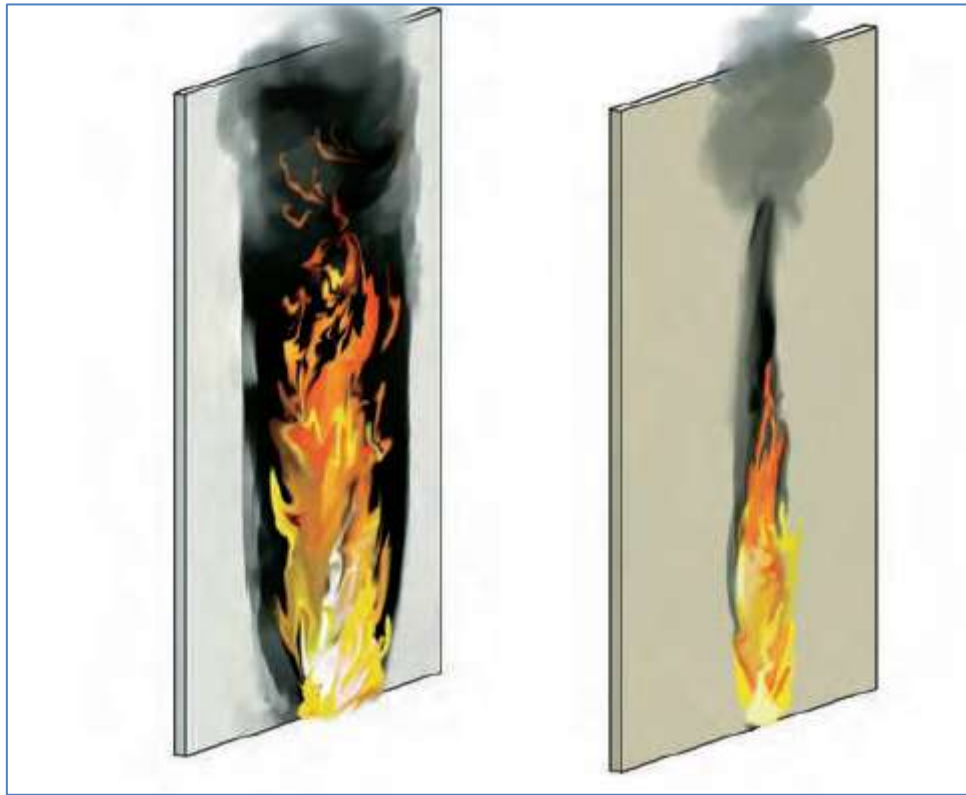
5.6. Hőtehetetlenség $k\rho c$

A láng terjedésének sebessége nagymértékben függ a gyulladási időtől, amit az anyag termikus tehetetlensége ($k\rho c$) determinál, amely egy anyagra jellemző tulajdonság. Minél nagyobb a termikus tehetetlensége egy anyagnak, annál lassabb terjed a felszínén a láng.

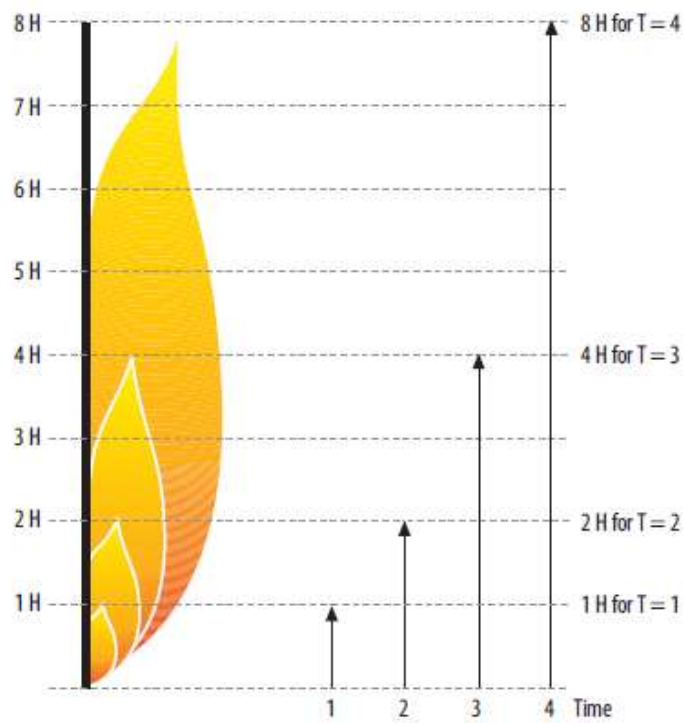
A szilárd anyagok esetén, a hővezetési együttható (K -érték) növeli a leggyakrabban a lángterjedést, ami a sűrűség növekedésével áll összefüggésben. A legtöbb esetben a sűrűség határozza meg, milyen gyorsan terjed láng az anyag felületén. Ez azt jelenti, hogy a láng terjedésének üteme az egész felületen egy nehéz anyag esetében általában lassabb, mint egy könnyű anyag esetén. Például egy habosított műanyagban a lángok rendkívül gyorsan terjednek.

5.7. Felületi lángterjedés

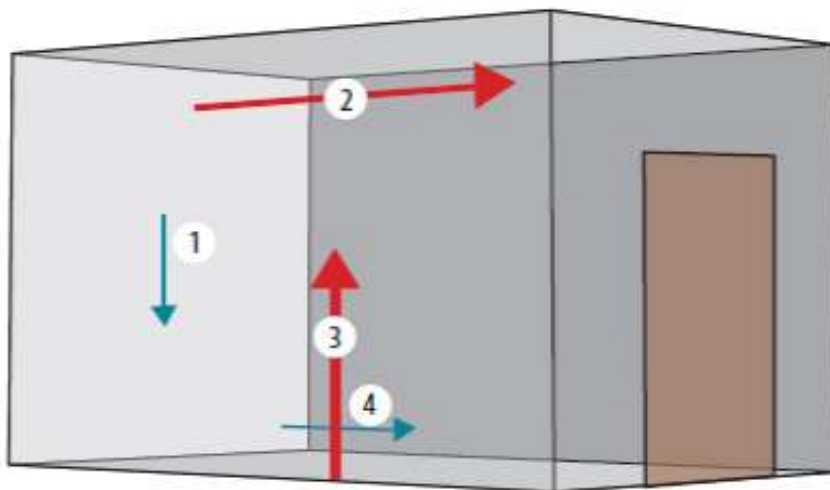
A lángterjedési sebesség túlnyomórészt felfelé a legnagyobb, míg a lángok lefelé történő terjedése sokkal lassabb, ami annak a ténynek köszönhető, hogy a felület nem melegszik ugyanúgy. A kettő között az arány a felület gradiense szerint változik.



14. ábra: A láng terjedésére egy kis sűrűségű anyag (a bal oldalon), és egy nagy sűrűségű anyag (a jobb oldalon) esetén.



15. ábra a tűz felfelé történő terjedési diagramja



16. ábra: Zárt téri lángterjedés különböző irányokba. (A felfelé történő és a mennyezetén mentén megvalósuló vízszintes lángterjedés a leggyorsabb ütemű (3-2 nyíl).

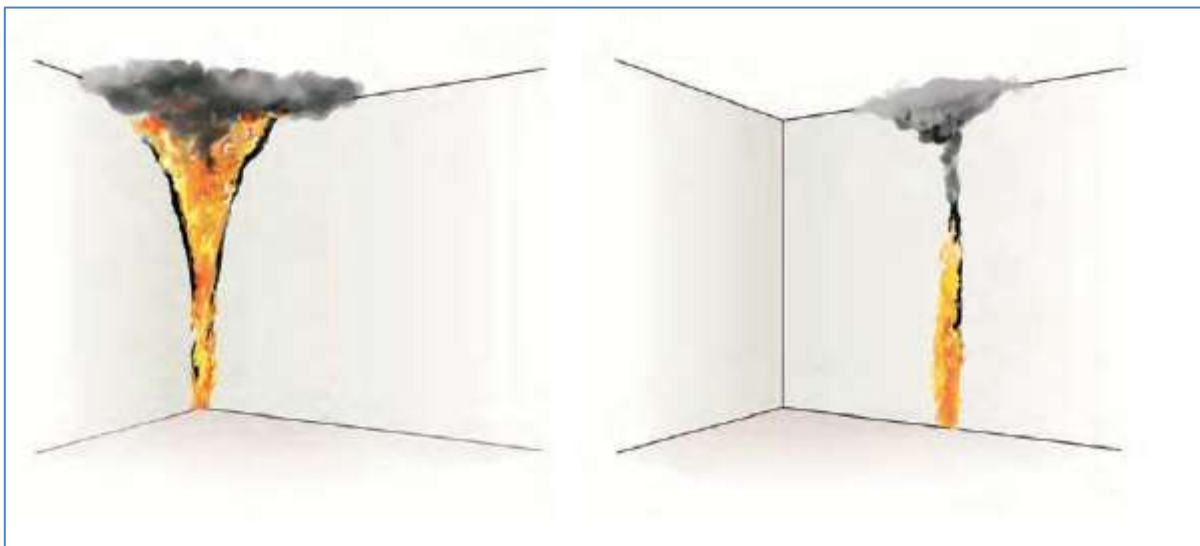


A felfelé történő lángterjedés esetén a lángok magassága több anyagnál pl. a farost és faforgácslap, durván kétszer akkora, mint egy más irányba történő lángterjedés egységnyi idő alatt. Ez azt jelenti, hogy ha 30 másodpercet vesz igénybe egy 25 cm-es láng terjedése, amíg 50 cm-t ér el, akkor egy 1 m magas láng függőleges irányba ugyanennyi idő alatt kb. a 2 m magasságúra növekszik időben, ha a fal anyaga ugyanaz. (Ezt természetesen csak egy közelítő érték.)

Hasonlóan gyors a lángterjedés a mennyezeti réteg alatti vízszintes irányban. Ezzel szemben a szoba padló szintjén vízszintes irányba, vagy lefelé függőleges irányba terjedés ún. „lopakodó lángterjedés”, mivel ez lassabb, mint a felfelé történő lángterjedés.

5.8. Felületi geometria

Ha a szoba sarkában van a tűz, akkor az ún. „sarkhatás” érvényesül, ami gyakorlatilag a két égő felület interakcióját eredményezi, és ez drasztikusan növeli a lángterjedést. A tűzvizsgáló köznyelvben ezt a jelenséget úgy írjuk le, hogy a sarok „meghúzza a lángot, tüzet”.



17. ábra: A sarokban a láng terjedésének sebessége gyorsabb, mint a fal közepén.

Minél kisebb a két égő felület között bezárt szög, annál gyorsabb a lángterjedés. Ez annak köszönhető, hogy a hő egyre jobban akkumulálódik, „beszorul” a sarokba, ami aztán felmelegíti a környezetében lévő éghető anyagokat, éghető gázokat. A füstgázok áramlása is megváltozik a sarokban. A gyorsabb hőmérsékletemelkedés miatt intenzívebbé válik az égés légcseréje, ami



a reakció sebességét növeli, ugyanakkor a szöghatás miatt kisebb mennyiségű levegő tud beszívódni a lángzónába, és így a levegő hűtőhatása is kisebb.

5.9. Környezeti hatás

Ha a környezeti hőmérséklet emelkedik, a láng terjedésének sebessége is növekszik. Tehát egyenes arányosság van a két tényező között. Emiatt a felület elő-, vagy felmelegítésével a gyulladási hőmérsékletet is gyorsabban elérjük. Minél magasabb a környezeti hőmérséklet, annál gyorsabb a láng terjedésének mértéke is. Ennek az összefüggésnek egy másik következménye az, hogy minél magasabb a környezeti hőmérséklet, egy anyagból annál intenzívebben áramolnak ki az éghető gázok/pirolízis-gázok.



18. ábra: A lángterjedés folyamata

Vegyük példaként az esetet, amikor egy anyag égése a mennyezet alatti füstgáz réteget hosszú ideig melegíti. Mire a lángok elérik a falsíkot, a mennyezet alatti gázréteg már felmelegedett, és a láng terjedése nagyon gyors lesz.



6. SVÉDORSZÁGI TAPASZTALATOK

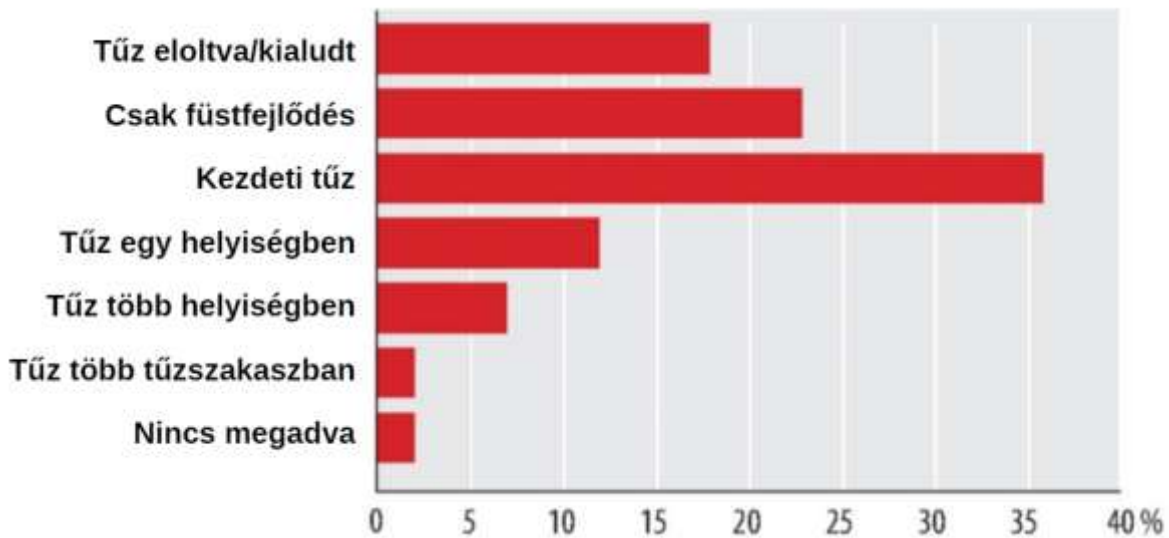
Svédországban 1999-ben a tűzoltóságot 11.000 épülettűzhez hívták ki, közülük 6.000 szobátűzhez. A statisztikák azt mutatják, hogy a legtöbb tüzet lehet kezelni anélkül, hogy bármilyen komoly probléma lenne. De van néhány tűz, amelyek magukban foglalják a „flashover” kockázatát. Éppen ezek miatt a tüzek miatt fontos, hogy megfelelően fel legyenek készítelve a beavatkozó tűzoltók erre a különleges tűzterjedési jelenségre is.

Azt is meg kell említeni, hogy több olyan tüzeset is előfordul, amelyek tűzoltás szempontjából könnyen kezelhetőek, de mégis halálos kimenetelűek lesznek a szobában tartózkodók számára. Sok ember hal meg tüzek miatti füstmérgezés/CO-mérgezés következtében. Abban az esetben, ha az átívelés jelensége miatt, a felszabaduló éghető gőz- és gázkibocsájtás miatti hőmérsékletemelkedés a tűz intenzitását drámaian felgyorsítja, a tüzet már nagyon nehéz szakfelszerelés nélkül eloltani. És ugyanakkor a keletkezett tűzkár is sokkal nagyobb. Ez egy újabb ok, hogy miért fontos, hogy a tűzoltás még a lángba-borulás előtt megtörténjen.

Természetesen nem minden tűz végződik „flashover” jelenséggel. Tény, hogy a svéd Rescue Services Agency statisztikái szerint, a zárt térben a teljes lángba-borulás jelensége a tüzek csak néhány százalékában valósul meg.

Ha egy átívelés történik, ez elsősorban az égés oxigénhez való hozzáférését változtatja meg, amely a hőleadási sebességet vezérli. Ezt az égési szakaszt a zárttéri tüzeknél teljesen kifejlődött tüznek nevezzük. Ez a szakasz a tűz viselkedése szempontjából az épület tűzvédelmi tervezésnél figyelembe veendő paramétereinek meghatározása és a tűzvédelmi számítások figyelembevételkor fontos.

Ha a tűzoltók légzőkészülék viselése mellett elkezdik a tűzoltást, azonnal lehűlnek a füstgázok, és a füstgázok begyulladásának kockázata minimálisra csökken.



19. ábra Az épülettüzek a tűzoltóság kiérkezésekor

Az épülettüzek fejlődésének százalékos megoszlását a 20. ábra mutatja, mire a tűzoltóság megérkezik a helyszínre. Megjegyezzük, hogy a tűz csak néhány esetben terjedt át a többi szobára. (1)



7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az égés egy olyan hőtermelő **kémiai reakció**, ahol az éghető anyag **oxidációja** zajlik. Az égés első látható jele az anyag meggyulladása az **(ön)gyulladás hőmérséklet** elérése után, és kialakul az **önfenntartó égés**. Ha a szilárd anyag meggyullad, előfordul, hogy a **lángterjedés** szinte ugyanabban az időben elkezdődik, és ezt a jelenséget úgy is lehet tekinteni, mint egy egymást követő (ön)gyulladás eseményláncot. A szilárd anyagoknak, van egy kritikus hőmérséklete, amelyen az öngyulladás bekövetkezik. Bármilyen anyag égése bekövetkezik, ha a felszínének a hőmérséklete a gyulladási hőmérsékletét eléri, ezért használjuk a szilárd anyagok esetén tűzvédelmi jellemzőként ezt az értéket.

A **szilárd anyagok felületét** fel kell melegíteni 300 és 400 °C-ra hogy egy gyújtóforrás hatására meggyulladjon és az önfenntartó égés létrejöhessen. Ha nincs láng a közelben, az anyag felületének el kell érnie az 500 és 600 °C közötti hőmérsékletet (pl.: fa).

Szilárd anyagok meggyulladása időt vesz igénybe, amit **gyújtási idővel** jellemezhetünk. Az anyagtulajdonságok kombinációjával létrehozott ún. $k_{\rho c}$ (hőtethetlenség) arra utal, hogy az anyag termikus tehetetlensége mekkora és, hogy milyen gyorsan melegszik fel az anyag felülete. Az anyag felülete alacsony termikus tehetetlenség esetén gyorsan felmelegszik, míg a felület nagy $k_{\rho c}$ -e esetén lassan melegszik fel. Minél alacsonyabb egy anyag $k_{\rho c}$ értéke, annál rövidebb a gyújtási idő. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a porózus farostlemez gyorsabban begyullad, mint a forgácslap.

A zárttéri tüzek esetén az égési folyamatot fel lehet osztani **lánggal égő** és **parázsló tüzekre**.

A parázsló tüzek esetén, az anyag felületén vagy a porózus anyagok belsejében, adott az oxigénhez való hozzáférés lehetősége. Sok tűz esetén a gyors **lángterjedés** az oka a súlyos következmények kialakulásának. A lángterjedés sebessége számos tényezőtől függ, különösen az anyag termikus **tehetetlenségi nyomatékától**, a **felület geometriájától**, a **környezeti hatásoktól** és a **terjedés irányától**.



A láng terjedési sebessége elég lassú a nagy termikus tehetetlenségű (jellemzően nagy sűrűségű) éghető anyagok felületén. Ez azt jelenti, hogy a láng terjedése egy nehéz (nagy sűrűségű) anyag esetén az anyag egész felületén általában lassabb, mint egy könnyű anyag (kis sűrűségű) esetén.

Ha a szilárd anyag felületét valamilyen hatás elő- vagy felmelegítette, (például hőszugárzás, vagy a mennyezet alatt kialakuló forró füstgáz réteg), akkor a szilárd éghető anyag elég gyorsan képes elérni a gyulladási hőmérsékletet. Ez azt eredményezi, hogy, ha az anyag felületét előzetesen valamilyen hatás felmelegíti, az a még nem égő felületeken is gyorsabb lángterjedést eredményez.

A tűz terjedése szempontjából kulcsfontosságú tényező a **láng terjedésének sebessége**. Ez a zárt térben főleg felfelé történő függőleges lángterjedéssel és a helyiség mennyezete alatt kialakuló vízszintes irányú forró füstgázréteg meggyulladásával járul hozzá a tűz gyors fejlődéséhez. Abban az esetben, ha a láng terjedése felfelé történik, a sűrűség különbség miatti levegő áramlása a lángokat felfelé nyomja, és az égő anyag lángjai felmelegítik a zárt térben lévő azon éghető anyagokat is, amelynél még nem kezdődött el a **pirolízis**, termikus bomlás. A helyiségen belül a **mennyezet alatti rétegben** a tűz gyorsan fejlődik. Ennek két oka van: egyrészt a levegőáramlási erők a lángokat felfelé húzzák, másrészt a mennyezet alatt felhalmozódott forró égéstermék- és füstgázok felmelegítették a mennyezetet és környezetét. A padlószint feletti vízszintes lángterjedés és a falsíkok lefelé történő függőleges lángterjedése egy helyiségben sokkal lassabb. De bizonyos esetekben, amikor a tűz a „**roll over**”, „**flash over**” és „**flameover**” jelenségét produkálja, a lángok nagyon gyorsan terjedhetnek lefelé is, mivel ezek a felületek a hőszugárzás következtében már felmelegedtek.

A tűz- és a láng terjedése szempontjából a **szilárd anyagok fizikai és kémiai jellemzői**, és a pirolízis során felszabaduló **füstgáz mennyisége** kulcsfontosságú. A lángzóna mérete és a mennyezet alatt kialakuló füstgázréteg fejlődése nagyon jól jelzi azt, hogy az égő szobában milyen változások várhatóak és a **tűz dinamikája** hogyan fog alakulni.



HIVATKOZÁSOK

- (1) <https://www.cbc.ca/news/canada/windsor/modern-homes-burn-8-times-faster-than-50-years-ago-1.1700063>; (Letöltés ideje: 2019.11.28.)
- (2) <https://www.ctif.org/news/enclosure-fires-chapter-1>
(Letöltés ideje: 2019.11.29.)
- (3) <https://www.ctif.org/news/enclosure-fires-chapter-2-how-fire-starts> (Letöltés ideje: 2019.11.29.)
- (4) <https://www.ctif.org/sites/default/files/2018-01/Enclosure%20Fires.pdf> (Letöltés ideje: 2019.11.29.)
- (5) LARS-Gören Bengtsson: *ENCLOSURE FIRES*;
NRS Tryckeri, Huskvarna , Sweden 2001., Swedish Recuse Service Agency, 1-194 pp.;
ISBN:91-7253-263-7

Nagy László Zoltán tú. őrnagy, tanácsos,
igazságügyi tűzvizsgálati szakértő
Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság
Fővárosi Főfelügyelőség, megyei műveletelemző, tűzvizsgáló
LaszloZoltan.Nagy@katved.gov.hu
orcid szám: 0000-0002-2987-64



1. számú melléklet

