

**SOME ASPECTS OF STRUCTURAL
STABILITY IN THE FIELD OF FIRE
SAFETY AT WORK****A SZERKEZETI STABILITÁS EGYES
VONATKOZÁSAI A MUNKAHELYI
TŰZBIZTONSÁG TERÉN**NAGY Rudolf¹**Abstract**

Fire safety in the workplace requires a comprehensive understanding of the basics of fire safety that goes well beyond lay fire safety knowledge. The subjects covered here, which deal with the issues of strength and stability, take a somewhat different approach to the occupational safety components of fire protection, inspired by the general fire safety professional approach. The reason for this is the rather different way in which the EU-wide sectoral regulatory framework for fire safety at work is structured within the Community hierarchy. The basic document from which the issue of fire safety in the workplace will be derived is Council Directive 89/391/EEC, which underpins this and is the starting point for this paper. In other words, the approach to fire safety adopted here is based on the principles of occupational safety and health. It is also clear from what has been described that, in the context of the knowledge reviewed here, the occupational safety aspects of preventive measures to reduce the risk of fire in the workplace can only be understood in their basic context. It is therefore not possible to provide an overview of the entire professional knowledge of fire safety design for architects in this form.

Keywords

fire, workplace, fire safety, strength, building structure

Absztrakt

A munkahelyi tűzbiztonság a laikus tűzvédelmi ismeretekben jelentősen túlmutató átfogó alapokat kíván az abban érintettektől. Az itt felvonultatott szilárdság és stabilitás kérdésével érintett tárgykörök az általános tűzvédelmi szakmai felfogás inspirálta megközelítéstől némileg eltérően tárgyalja a tűz elleni védekezés munkabiztonsági összetevőit. Ennek oka a munkahelyi tűzbiztonság megteremtését célzó uniós szintű ágazati szabályrendszer közösségi hierarchiájába tagozódásának meglehetősen eltérő volta. Az ezt alátámasztó, és egyben ezen írás kiindulópontját is kitűző alapidokumentum, amelyből a munkahelyi tűzbiztonság kérdését az elkövetkezendőkben származtatjuk, a (89/391/EGK) Tanács Irányelv. Vagyis a tűzvédelem itt alkalmazott megközelítéséhez a munkavédelmi elvek képezik a fő szempontot. A leírtakból az is kitűnik, hogy az itt áttekintett ismeretek birtokában a munkahelyeken jelentkezhető tűzkockázatok csökkentését szolgáló preventív intézkedések munkabiztonsági kapcsolódási pontjai az alapösszefüggések szintjén válnak csak értelmezhetőkké. Tehát a teljes építész tűzvédelmi tervezői szakmai ismeretek áttekintésére ilyen formán ezen kereteken belül nem vállalkozhatunk.

Kulcsszavak

tűz, munkahely, tűzbiztonság, szilárdság, épületszerkezet

¹ nagy.rudolf@uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0001-5108-9728 | habil. senior lecturer, Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary | habil. adjunktus, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtudományi Mérnöki Kar

BEVEZETÉS

Az Irányelvben foglaltak szerint a munkáltató felelősségi körében intézkedni köteles a munkavállalók biztonságának és egészségének védelmére, beleértve a tüzek megelőzését is. Ennek megfelelően a munkavédelem tekintetében az Irányelv 1. melléklete a már a munkahelyek létesítéséhez kötődően is taglalja tűzvédelem kérdéskörét. Vagyis a munkahelyi élet- és vagyónvédelem tűzbiztonság oldaláról jelentkező feladataiban prioritásként kezelendő a megelőzés eszközrendszere. A tűzveszély jelentette kockázatok kezelését és az ezek eredményességét biztosító ismeretek átadását is ideértve. Szükségszerű tehát, hogy a munkavédelmi képzés keretében tematikusan tárgyaljuk a tűzbiztonság lényeges kérdéseit. Az ehhez kapcsolódó kérdéskörök általánosságban véve az alábbi három terület köré csoportosíthatók:

- Épületek szerkezeti kialakítása (Stabilitás és Szilárdság),
- Veszélyeztetetteknek a veszély hatóköréből való kivonása (Menekülés),
- Veszélyeztetettek időbeni figyelmeztetése és a tűz megfékezése (Tűzjelzés és tűzoltás). [1]

Alapvetően a munkahelyeken keletkező tüzek kialakulásának kockázata elsősorban az ott zajló munkafolyamatokban felhasznált anyagok, valamint az alkalmazott technológia tűzveszélyességétől függ. A tűz kockázatának további meghatározó fontosságú eleme a tűzterjedés jellege, hisz a nagyobb kiterjedésű tűz növeli a tűz súlyosságát, vagyis nagyobb kockázatot jelent. A tűzterjedés pedig sok egyéb mellett lényeges mértékben függ az adott környezetben fellelhető éghető anyagok mennyiségétől. Ilyen formán mind a szabadban tárolt vagy épületen kívül telepített technológiákban jelenlévő tűzveszélyes anyagok, illetőleg az épített létesítmények által befogadott helyiségek kialakításánál a térelhatároláshoz felhasznált építőanyagok tűzvédelmi tulajdonságaitól. [2]

SZABADBA TELEPÍTETT TECHNOLÓGIÁK TÜZBIZTONSÁGA

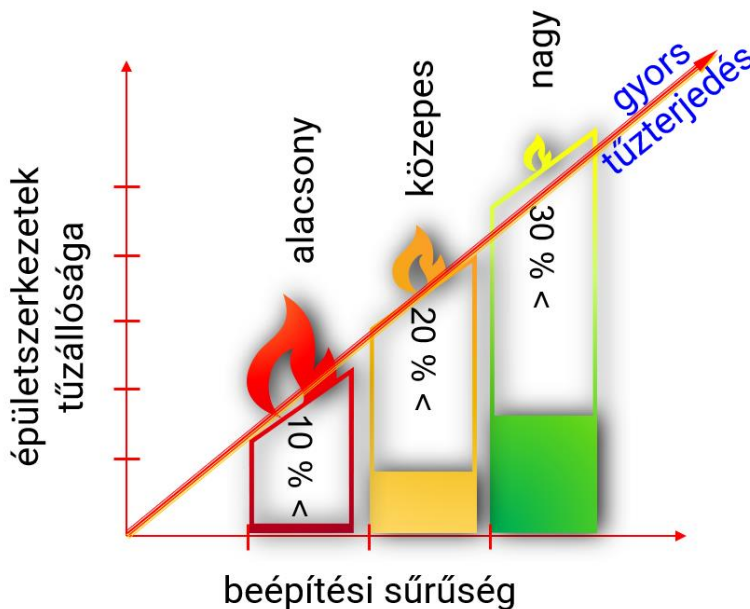
Egyes gyártási, létesítményüzemeltetési eljárásokra jellemző, hogy némely termelési fázisok technológiai elemeit szabadban létesülő állvány jellegű építményeken helyezik el. A tűz terhelés szempontjából bizonyos értelemben kedvezőnek is nevezhetjük az ilyen létesítmények tűzbiztonságát, hiszen mind a gyártó berendezések, mind pedig a technológiai kapcsolatokat biztosító épületszerkezetek a legtöbb esetben nem éghető anyagból készülnek. Ezért a tűzterjedésbe való bekapcsolódásukkal szerkezeti anyagaikat tekintve nem kell számolnunk. Túl ezen a szabad téri tűzfejlődés során a termikus állapotokra jellemzően többszáz fokkal is alacsonyabb lehet a szerkezeteket érő tűzhatás, és szerkezeteik szilárdságvesztésének állapota is jóval később következhet be. Másfelől azonban a tűzeseti hatásokat nézve a térelhatároló falszerkezetek hiánya miatt azok tűzterjedést korlátozó tűzvédelmi szerepe nem használható ki. Ráadásul az így kialakított technológiai terek nemegyszer szorosan egymás mellett, sőt akár közvetlenül egymás fölötti technológiai helyiségek-ként kerülnek beépítésre az állványszerkezetbe. [3]

A szabadban telepített technológiai rendszerek tűzbiztonságát illetően nem elhanyagolható körülmény az időjárási viszonyok befolyásoló hatása. A technológiai berendezések szerkezeti beépítését jellemzően acélvázaz épületszerkezetekkel oldják meg. Így az ezek időjárás szerkezeti korrózióvédelmén túl érdemleges tényező a megfelelő villámvéde-

lem biztosítása, amelynek hiányában komoly tűz- és robbanásveszélyt jelentene. Ugyanakkor az időjárás hatásai sorában említenünk kell a közvetlen napsugárzást, amely különösen a tartályok felmelegedését, és megfelelő körülmények esetében azok kigyulladását, felhasadását is okozhatják. Nem véletlen, hogy a nagymértékű hőelnyelés elkerülése végett az éghető folyadékok tárolását szolgáló tartályok külső palástya a napfény visszaverést elősegítő fehér színűek. A másik lehetőségként gyakran alkalmazott megoldás a veszélyes környezeti következmények kivédésére a tartályok földbe süllyesztése. [4]

Kevésbé gondolnánk, a kritikus felmelegedés mellett az alacsony hőmérsékletek ugyancsak veszélyt hordozhatnak magukban üzembiztonsági és akár még tűzvédelmi szempontból is. Ezek a zárt tartályokban lévő gázok, gőzök térfogatcsökkenését kiváltva még masszív tartályok rideg törését is képesek okozni. Másfelől a tüzeset során fellépő esetleges szélviszonyokat nemcsak a tűzoltást megnehezítő hatásként kell számításba venni, de a lángokat az épületszerkezetek felé terelve azok gyors szilárdságvesztésüket idézheti elő. Így a tűz várható hatásának meghatározásánál ismerni kell az anyagok alapvető tüzeseti viselkedésén felül a létesítmény épített elemeinek jellemzőit is. [5]

Ezek tűz terjedés elleni védelmének szempontjait sajátos megvilágításba helyezi a technológiai terek összekapcsolásának és a tűzterjedés és az ezzel gyakran párosuló robbanás elleni védelem követelményeinek szinkronba hozását. Különösen, ha ezeket nem egy zöldmezős beruházással megvalósuló, már meglévő technológia átalakítását, bővítését kell megoldani a korlátozottan rendelkezésre álló telephelyi területeken belül. Ez a nagyobb beépítettség révén jelentősen ronthatja a tűzkockázat mértékét. Az ilyen üzemi telepítési környezetben a tűzterjedés miatti veszélyeztetettség a létesítmény beépítettségének növekedésével fokozódik, ahogyan annak viszonyrendszerét a 1. ábra is megjeleníti.



1. ábra: A telephelyi beépítési sűrűség és a szerkezetek tűzállósági teljesítményének logikai kapcsolata a várható tűzterjedés dinamikájával összefüggésben

Forrás: Szerkesztette [6] nyomán a szerző

Azonban az itt fellépő, a védelmet gyengítő körülményeket ellensúlyozhatjuk a nagyobb tűzzel szembeni ellenállást tanúsító, nagy tűzállósági teljesítménnyel rendelkező épületszerkezetek kialakításával. Bár ezek meghatározása tűzvédelmi tervezői feladatok tekintetében egy szakmailag igen összetett, sok részlet érvényesítését megkövetelő, alapos kockázatértékelést megkívánó problémakör, mégis általánosságban elmondható, hogy a megállapított tűzkockázatok mértékének egy-egy fokozattal történő emelkedése a tűzállósági teljesítmény követelmények tekintetében nem ritkán 100%-os szerkezeti állékonyságnövekedést generálnak. Nyilvánvalóan robbanásveszély tekintetében hatványozottan fokozódó teherviselési követelmények jelentkeznek a biztonsági előírások teljesítése terén, melyekkel a gépek berendezések védelménél közelebből is megvizsgálunk.

ÉPÜLETSZERKEZETEK TŰZVÉDELMI FUNKCIÓI

A tűz elleni védekezést érintően vitathatatlanul összetettebb problémakörrel szembesülünk, amikor a munkavégzésre szolgálók terek megvalósítását zárt terekben kell biztosítani. Az ilyen munkahelyek létrehozása, kialakítása során biztosítani kell, hogy tűz esetén az azt befogadó épületek úgy létesüljenek, hogy a tűz bekövetkezése esetén az épület fő strukturális egységét képező tűzterherre méretezett tűzvédelmi funkciót betöltő kitüntetett szerkezeti elemei kellő ellenállást tanúsítsanak a tűz hatásaival szemben. Így a benne tartózkodók a tervezett menekülés ideje alatt ne legyenek tűz közvetlen, illetve az épületszerkezetek károsodásából eredő fizikai sérülések veszélyének kitéve, valamint meggátolják, lassítsák a tűz terjedését.

Ezért első lépésben az épületek szerkezeti anyagát kell gondosan megválasztani. Felvetődhet a kérdés, miért lényeges a szerkezeti kialakítás anyagául szolgáló építőanyagok tűzvédelmi felemlítése?

Tekintve, hogy egy építményben megjelenő, beépített anyagok különböző módon kerülnek kölcsönhatásba a tűzzel, illetőleg más és más módon reagálnak az őket érő tűzhatásra is, ezeknek összhangba kell lenniük a létesítményre nézve kialakított tűzvédelmi koncepcióval. [7] Az épületekben felhasznált építési termékek egy része anyagi átalakuláson megy keresztül, míg mások „csupán” alakváltozásokat szenvednek el. Azonban tűzhatás időtartamának arányában egyre gyengül a szerkezeti szilárdságuk, melynek következtében a szerkezeti állékonyságuk kritikus állapotát elérve kívánt statikai állapotukat nem tudják tovább megőrizni. Másfelől pedig lesznek olyan épületszerkezeti elemei az építménynek, amelyek éghető anyagok lévén bekapcsolódhatnak, közrehatnak a tűz fejlődésében, terjedésében, a tűz veszélyének növekedésében, súlyosságának fokozásában. Természetesen ezen kedvezőtlen körülmények idő előtti kifejlődésének megfelelő tűzvédelmi megoldásokkal elejét lehet venni. [8]

A tűz elleni védelemben alkalmazható megoldások két alapvető kategóriára oszthatók, úgymint passzív és aktív tűzvédelem. A különböző passzív védelmi megoldások a tűzvédelem területén sok helyütt megjelenhetnek. Mégis a megelőző tűzvédelem passzív elemei szempontjából elsődleges a tűz kialakulásának és terjedésének akadályozását szolgáló, elsősorban az építési termékek kiválasztásán alapuló szerkezeti kialakítás. Ugyancsak ide sorolandók az épületek egymáshoz viszonyított telepítés helyének tűztávolság tartásával történő megválasztása. Ennek lényegét a tűznek a létesítménytől való távoltartása képezi. Hasonló funkciót töltenek be az egybeépítés során az épületek külső határoló felületein al-

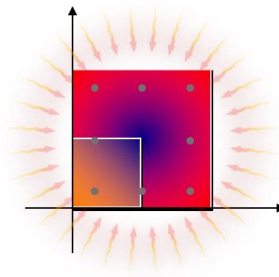
kalmazandó tűzterjedésgátló megoldások vagy a tűz épületen belüli terjedésének akadályozásában szerepet játszó tűzgátlónyílászárók, valamint a szerkezeti áttörések, technológiai összekötést biztosító nyílások tűzgátló lezárásának a megoldásai is. [9]

Hogyha megnézzük a tűzvédelmi előírás rendszer által a szilárdsággal összefüggésben támasztott követelményrendszert, tapasztalhatjuk, hogy ezek igen sokrétűek, kezdve a tartószerkezetektől, egészen az úgynevezett tűzálló kábeltartó szerkezetekig bezárólag. Megállapíthatjuk, hogy attól függően, hogy milyen védelmi célokat kell teljesíteni, különböző követelményeknek kell teljesülniük. Ez azt is jelenti, hogy ha meg akarom védeni a munkavállalókat, nyilvánvalóan ehhez megfelelő feltételeket kell biztosítani, hogy tűz esetén ki tudjuk őket juttatni a tűztől érintett épületből. Ahhoz, hogy ez megtörténhessen, olyan munkakörnyezetet, olyan szilárd és stabil szerkezetek képezte munkakörnyezetet, építményeket kell kialakítani, amelyek garantálják, hogy a menekülésre szánt időtartamon belül ki tudnak menekülni az építményből. El tudják azt hagyni biztonságosan anélkül, hogy rájuk omlana a tűz következtében meggyengült épületszerkezet. Ehhez természetesen nagyon sok fizikai tényezőt is figyelembe kell venni. Már a tervező asztalon meg kell tervezni az elsődleges stabilitás nyújtó tartószerkezeteket a rendeltetésből és az ehhez illeszkedő, az épület belső tételhatárolása szerinti elrendezésből adódóan várható tűzterherre. [10]

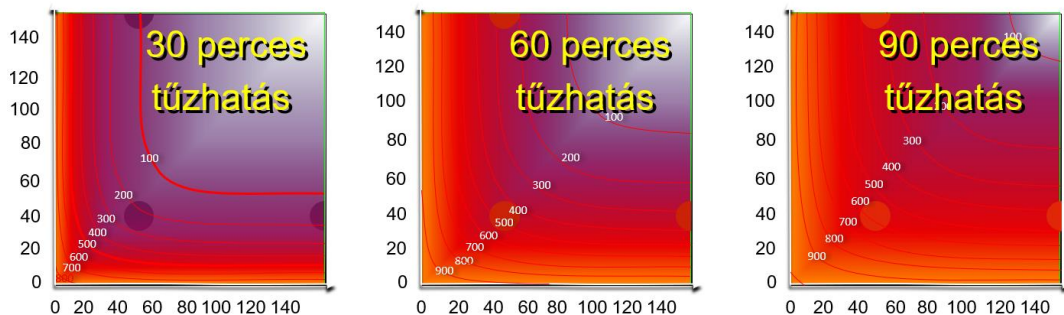
Az épületfizikai körülmények között a legmeghatározóbbak a különböző hő transzportfolyamatok, amelyek egy építményben nagyon összetettek lehetnek. Emellett a lehetséges tűzkitét oldaláról is vizsgálandó tényezők: a szerkezet térbeli orientációja, valamint más szerkezeti elemekkel való fizikai kapcsolata. Az ezek összefüggéseinek megítéléséhez egy-egy konkrét épület esetében komoly építész tűzvédelmi szakmai ismeretekre van szükség. Azonban az azt megalapozó általános ismeretek kiinduló pontjait jól megfogható módon írta le a magyar származású amerikai építész Harmathy Tibor, akinek a lefektetett alapvetései máig hivatkozási alapként szolgálnak az összetett épületszerkezetek tűzállóságának megítélésében. A róla elnevezett Harmathy-szabályok tíz fő pontba szedve rögzítik tételeit, melyeket esetenként a korszerű szerkezeti megoldásoknál egyedi kiegészítésekkel kombináltan kell értelmeznünk, amelyek mélyebb szakmai összefüggéseit Takács munkájában részletesen részletezünk ismereti. [11]

Mindezen alapvetések mellett az épületszerkezet érő tűzhatás statikai állapotokra gyakorolt befolyásának alakulását alapvetően a szilárdsági határállapotok bekövetkezése határozza meg. Az ezt definiáló paramétert a szerkezetek tűzzel szembeni ellenállását megadó tűzállósági határértékkel fejezhetjük ki. Itt értelemszerűen elsődlegesen a tűz dinamikája a mérvadó. Tehát a tűz fejlődésének várható időbeli lefolyása lényeges szempontja kell, legyen a tervezéskor megállapított tűzterhernek, mivel ez döntő kihatással lesz a szerkezetekben lezajló termikus változásokra, amint azt a 2. ábrából is kiolvashatjuk.

4-oldali tűzhatás



Izotermák:



2. ábra: Vasbeton átmelegedésének izotermái

Forrás: Szerkesztette [12] nyomán a szerző

Így fontos megfelelő pontossággal „prognosztizálni” a tűzhatás várható időbeli alakulását, amely első hallásra meglehetősen hat még a megfelelő műszaki ismeretekkel rendelkezők számára is. Logikus, hogy nem azonos a várható hőmérsékleti értékek alakulása teszem azt egy Tüzép telepen azonos tömegben tárolt fapellet és polisztírol hőszigetelő lemez égése során, köszönhetően egyebek mellett például az anyagi minőség okozta eltérő fűtőértékeknek.

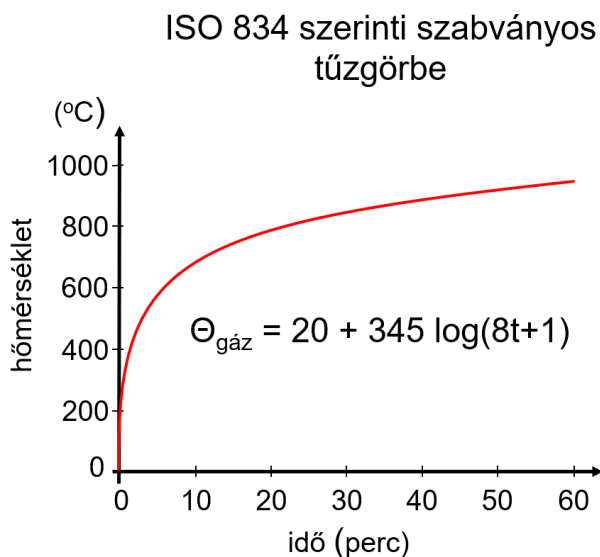
Ráadásul maradván ezen példánál a két éghető anyag égési folyamataiban az anyagi jellemzőikkel is szorosan összefüggő diffúziós égés eltérő felfutását eredményezik a termikus folyamatoknak. Nyilvánvalóan a porisztírol mint éghető műanyag intenzívebb égés fog produkálni. Nem is beszélve a tűz keletkezését kiváltó gyújtóforrások teljesítményéről, és más egyéb körülményekről.

Ha egy épület adott helyiségében bekövetkező tűz esetében megkívánjuk határozni milyen tűzterhelés érheti a szerkezeteket, és mindezeket hagyományos, valamennyi tényezőt egyedi matematikai számításokkal integráltan szeretnénk megoldani, látszólag rendkívül összetett és igen időigényes feladatra vállalkoznánk. Ilyenkor logikailag leegyszerűsíthető a probléma a maximálisan felszabadulható hőmennyiség kérdésére, amely matematikailag a hőmérsékleti értékek felvételével kirajzolódó függvény integrálásával áll elő és ilyenformán megegyezik görbe alatti összegzett terület nagyságával. Kémiai értelemben az ezt produkáló tűz termelte hő nem másból keletkezik, mint az adott térben jelenlévő oxigénnel való egyesülésből. Vagyis ha számszakilag nézzük, akkor kiindulhatunk az oxigén mennyiségéből eredően felszabadítható hőmennyiségekből, de persze megfordítva a kérdést

számolhatunk az éghető anyagok égéshőjével is. Bár ez utóbbi egy-egy termelő üzemcsarnokban már valóban megbonyolíthatja a számítások elvégzését.

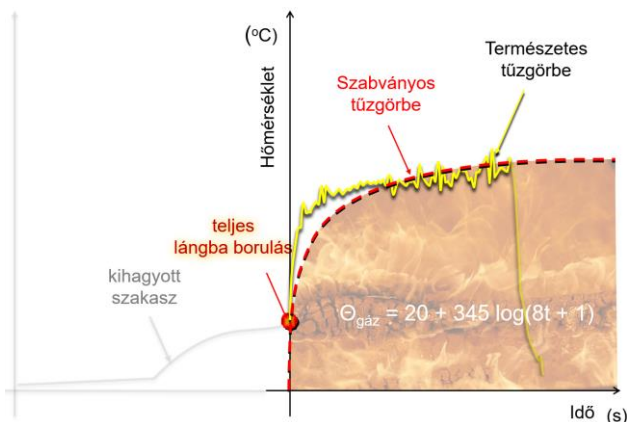
Mindezek mellett azt is számításba kell venni, hogy az előzőekben logikai megfontolással szemben lehet, hogy csak egy úgynevezett lokális tűz jelentette hő hatás éri a szerkezetet. Az ezen eltérő esetekre kidolgozott számítási módszerek megközelítésében a hőhatások alapvető különbségeként jelenítik meg, hogy a feltételezett tűz eléri-e a mennyezetet, vagy sem. Nyilván a vizsgált szerkezet szempontjából a lokális tűz esetét feltételezve a tűz szerkezethez viszonyított helyzete ugyancsak döntően befolyásolja a hőtranszport folyamatok révén a szerkezetet érő tűzhatást. [13]

Az előbbieken elmondottak komplexitásából levezethető tűzhatások is nagyon eltérőek lehetnek. Ezért az úgynevezett zártéri tüzekben a hőtermelés ütemét az idő függvényében ábrázoló természetes tűzfejlődési görbék alapján a különböző esetek változó dinamikát rajzolnak ki. Ezt az összetett és a tervezést nehezítő viszonyrendszert kiküszöbölendő a szerkezetek tűzterherre történő tervezésében a 3. ábrán illusztrált úgynevezett szabványos tűzgörbékől kiindulva alakították ki a tűzterhelés tűzvédelmi tervezésének szemléletet. [14]



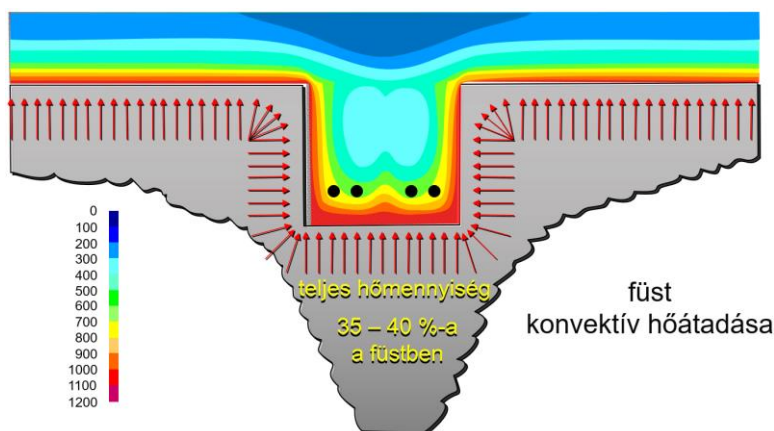
3. ábra: ISO 834 szerinti szabványos tűzgörbe
Forrás: Szerkesztette [15] nyomán a szerző

A szabványos tűzgörbék megalkotásához az a biztonság konzervatív megközelítést alkalmazó a mérnöki absztrakciót követték, hogy a természetes tűzfejlődés során az épületszerkezetekre nézve számottevő tűzhatással járó kifejlett tűz hőtermelési dinamikájának jellegét leképező szakaszát építették bele a szabványokba. [16] Elhagyva annak hanyatló végállapotát. Bár a szabványosított tűzgörbék változatosak, azonban legtöbbjük kezdő pontjával a természetes tűzfejlődési görbe teljes lángba boruláshoz köthető inflexiós pontjának bekövetkezése időpillanatát választották. Némely esetben a hanyatló szakaszt is ugyan így elhagyják. Ezt tükrözi vissza a 4. ábra.



4. ábra: A természetes zárttéri tűzfejlődési és a szabványos tűzgörbe kapcsolata
Forrás: Szerkesztette [17] nyomán a szerző

Egy munkahelyként szolgáló építmény szerkezete tekintetében nem egyedül a láng hősugárzásával transportáló hő jelenthet veszélyt. A legtöbb tüzeset kapcsán a hő terjedésének mindhárom válfaja megtalálható a tűzhelyszínen. Így nemcsak a közvetlen tűz hatás lesz az, ami gyengítő lesz egy épület szerkezeti stabilitására. A tűztérből származó hősugárzás, illetve a füstben jelenlévő égéstermék hősugárzása egyaránt terhelik a munkahely térelhatárolását és annak stabilitását biztosító szerkezetek állékonyságát. Emellett jelentős konvektív hőátadás is történik. Hiszen az égéstermék, amelyek igen magas hőmérsékletre hevülhetnek, egy építményen belül elérhetik a több száz, de akár az 1000 Celsius fokos hőmérsékletet is. Miközben ezek közvetlen fizikai érintkezésbe kerülhetnek a szerkezetekkel folyamatosan gyengítik azok szerkezeti szilárdságát és integritását. Ahogyan az 5-ös ábrán, a füsttel közvetlen érintkezésbe került födém és a vele szerkezeti egységet képező vasbeton gerenda átmelegedésének példájából is kiolvasható.

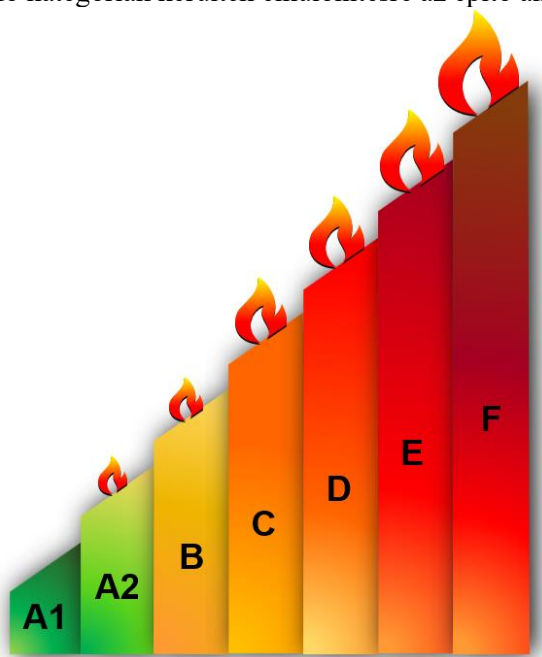


5. ábra: Födém füst konvektív hőátadása okozta átmelegedése
Forrás: Szerkesztette [18] nyomán a szerző

Illetőleg ezt követően felületen történő hőátadás, majd az azt követően az épület-szerkezetekben hővezetéssel végbemenő hőtranszport a tűztől mentett oldalon elegendő idő

elteltével akár gyújtóhatást is gyakorolhat. Amely megint nagyon fontos összetevője a szilárdság megőrzésének. Azt hogy, milyen léptékű lesz ez a hővezetés az anyag szerkezetében vagy milyen ütemben és milyen nagyságú hőmérsékletek alakulnak ki, a szerkezet tűzállósága és ezzel szoros összefüggésben a már részben érintett szerkezeti kialakítás, és nem utolsósorban az azokat alkotó építési termékek határozzák meg.

A szerkezetek kialakítására felhasznált építési termékek és elsődlegesen azok tűzvédelmi besorolását meghatározó anyaguk szabja meg. Ezért például a jelentősebb tűzkockázattal érintett épületeknél a tűzvédelmi szempontból kiemelt fontossággal bíró tűzgátló épületszerkezetek és tartószerkezetek nem éghető anyagú építési termékekből kell kialakítani. Az eltérő rendeltetés és egyéb tűzvédelmi kihatással bíró szempontoknak való megfelelés adekvát válaszainak megtalálásához meg kell határozni az építési termék tűzvédelmi sajátosságait. Ehhez szükséges a közösségi szinten szabványosított vizsgálati eljárásokkal minősített módszerekkel megállapított tűzvédelmi osztályba sorolás ad lehetőséget. Ez alapján a 6. ábrán látható fő kategóriák kerültek elkülönítésre az építő anyagok terén.



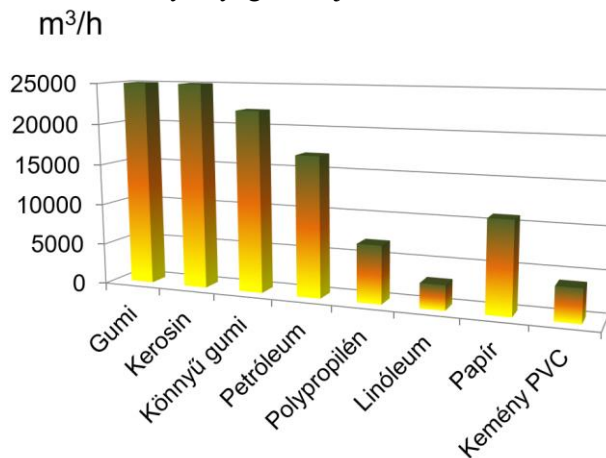
6. ábra: Építési termékek tűzvédelmi osztályba sorolásának vázlatos alapkategóriái
Forrás: Szerkesztette [19] nyomán a szerző

További kategorizálásra adnak lehetőséget az építőanyagként felhasznált anyagokból felszabadulható égéstermékek alkotta füst fejlődésének intenzitása. Ezek alapján elkülöníthetünk s1, s2, s3 rendre növekvő füstfejlesztőképességű anyagokat. Az ebből adódható veszélyhelyzetekre nézve szolgálhat adalékul egy raktárépület tüzeseti szimulációja során a füstterjedés kritikus időpillanatát kiragadó 7. ábra.



7. ábra: Raktárépületben terjedő füst láthatóságot befolyásoló hatása
 Forrás: Készítette [20] alapján a szerző

Ahogy az a 7-es ábra strukturális elrendezéséből is érzékelhető egy-egy munkahelyen a füst okozta kockázatok többnyire nem az épületszerkezetek füstfejlesztő képességéből adódnak, hanem az ott felhasznált, feldolgozott, tárolt anyagok égéséből. Az egyes technológiákban fellelhető néhány anyag füstfejlesztésének mértékét mutatja a 8-as ábra.



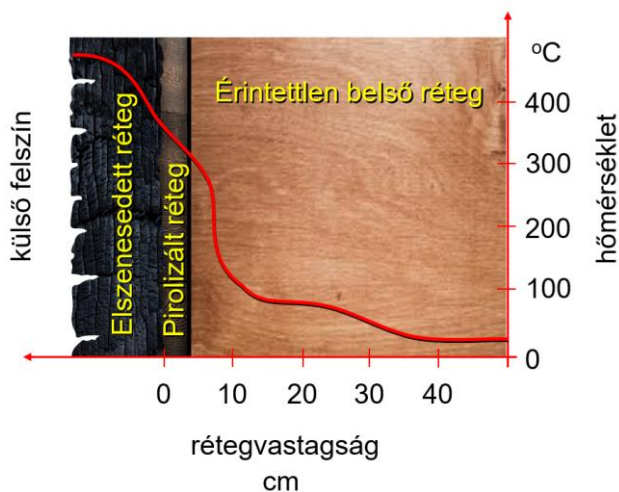
8. ábra: Néhány szilárd anyag füstfejlesztő képessége
 Forrás: Szerkesztette [21] nyomán a szerző

Az éghető tűzvédelmi osztályú építési termékek szerkezeti anyagként történő alkalmazása tekintetében az egyik legelterjedtebb a fa. A lakóingatlanok és sport, illetve közösségi építmények mellett a fa a speciális építmények kivitelezésénél, illetve állványzatok összeállításánál gyakori, mint szerkezeti anyag. Munkahelyek kialakítása szempontjából kevésbé alkalmazott, azonban a paneles rendszerű könnyűszerkezettel készült, helyszínen szerelt ipari, mezőgazdasági csarnok jellegű építményeknél teherhordó faszerkezetek formájában mégis találkozhatunk velük. Emellett épületek fából készült fedélszerkezeteihez is gyakran alkalmazott szerkezeti anyag.

Tartószerkezeti célra történő alkalmazásuk éghető anyag lévén sajátos tűzvédelmi követelmények teljesítését teszik szükségessé, amelyet tűzhatásban mutatott sajátosságai-ból vezethetünk le. Közelebbről a fa égésekor mutatott – éghető anyag lévén első hallásra furcsának ható - kedvező viselkedése az azt alkotó cellulóz molekulák termikus átalakulásának mechanizmusában keresendők.

A természetes formájában a fának, mint a cellulóz alapú építőanyagnak a beégésében hevítésekor kezdetben jelentős mennyiségű éghető, gáz halmazállapotú úgynevezett pirolizált bomlástermékeket szabadulnak fel. A bomlási folyamat következtében az éghető gázok felszínre törve bekapcsolódnak az ott zajló égési folyamatba. A pirolizált rétegben a termikus bomlási folyamatok lezárultával elszéneseedett réteg marad vissza. A keletkezett faszén a rossz hővezetésének köszönhetően tovább fokozza a hőszigetelő hatást a mélyebben elhelyezkedő eredeti állapotú részek irányába. A farostok rossz hővezetési tényezőjének köszönhetően a belső részek irányába egyébként is igen lassan emelkedő hőmérséklet következtében a szerkezeti anyagok csak mérsékelt ütemben vesztenek szilárdságukból. Az előbbieken jellemzett égési folyamatban létre jövő karbonizált réteg szigetelő hatását bizonyos égésgátló anyagok segítségével felgyorsítva, mesterségesen is előidézhetjük a faanyagok a szigetelő hatás általi, tűzzel szembeni védelmet nyújtó folyamat lezajlását.

A lassú hővezetés ellenére azonban idővel ezek a még érintetlen rétegek is elérik bomlási hőmérsékletüket és megindul bennük a pirolízis. Így éri el a faanyag egyre mélyebb rétegeit az átalakulás, amint azt a 9-es ábrán is megfigyelhetjük. Az elvárt szilárdsági állapotok megtartása tehát a még tűzhatástól érintetlen belső keresztmetszetek nagyságától függenek. Vagyis a tűzállósági teljesítményt az úgynevezett beégési sebesség figyelembe vételével kell kalkulálni. Ez jellemzően a faanyag minőségétől függ. Az építési termékeknel használt nyers fenyő fűrész áruknál, mint faanyagnál ez az érték 0,6 mm/perc (tervezési értéként számolva: 1,0 mm/perc), a keményfáknál ez kisebb.



9. ábra: Fa anyagának beégési folyamata
 Forrás: Szerkesztette: Mikkola [22] nyomán a Szerző

Megfelelő égéskésleltetés következtében a fa anyagát képező cellulóz bomlását kémiai úton fékező mechanizmus közbeiktatásával tovább csökkenthető a beégés folyamata.

Az ehhez szükséges vegyi anyagokkal a fa porózus szerkezetének köszönhetően igen eredményesen telíthető a felhasználni kívánt szerkezeti anyag. Az erre alkalmas technológiák közül az impregnálás folyamán az égésgátló szert valamilyen folyadékban oldatba áztatják az anyagot. Persze az oldatot más módon, például ecsettel is felhordhatják vagy rápermetezik a fa felületére.

A fa impregnálása során égéskésleltetés történhet oltógázokat fejlesztő anyagok segítségével, de egyéb fizikai módon is gátolható a faanyagok hővel szembeni ellenállósága. A már említett kedvező hőszigetelő hatás növelhető hő hatására a felületen elszenesedést kiváltó anyagokkal való impregnálás útján is, illetőleg a fa felszínén olvadékként a felszínre törő bomlástermékek útját elzáró anyagokkal is.

Ezen felül neméghető anyagokkal való mechanikus eltakarás is szóba jöhet, ott, ahol a látszó faszerkezetek esztétikai előnyeit nem kívánják érvényesíteni, például az épület gépészeti rendszereit rejtő belső terekben, vagy a fedélszékekben. A tűzállóságot fokozó elburkolás történhet tűzgátló gipszkarton vagy szilikátalapú hőszigetelő anyagok felhasználásával.

Az ipai csarnoképületeknél megszokott nagy térbeli dimenziókat magában foglaló tételhatárolással történő munkakörnyezeti kialakítás. Az ilyen technológiákban alkalmazott nagyobb termelési volumenekkel együtt jelentős felhasznált, feldolgozott és kezelt anyagmennyiségek jelenlétével jár együtt egy adott technológiai térben. Az ipari céllal felhasznált anyagok általában fokozott éghetőségi jellemzőkkel párosulva drasztikusan megnövekedtek tűzveszélyt eredményeznek a létesítmények ezen részeiben.

Ugyanakkor bármely munkakörnyezetről legyen is szó, a termelési tevékenységtől markánsan eltérő, kiszolgáló és adminisztratív, logisztikai munkafolyamatoknak helyet adó funkciók a legtöbb esetben a tűzkockázatokban is visszatükröződnek. Így a tűzbiztonság magasabb fokú garantálása érdekében valamiféle tűzvédelmi elkülönítésük indokolt. A létesítmények tűzvédelmi strukturálásánál a legegyszerűbb megoldást kínáló alapelvként alkalmazzák egyazon tűzszakaszban való létesítést. A helykihasználás és a megkerülhetetlen technológiai kapcsolódások, valamint a veszélyes technológiákban üzembiztonsági okokból alkalmazandó védőtávolságok megtartása miatt általában több tűzszakaszba integrálható kockázati egységek csoportjait fogjuk tudni azonosítani. Az ezeket egymástól elválasztó épületszerkezeteket vagy képzeletbeli határvonalakat tűzszakaszhatároknak nevezük. Ezek jelentőségét az adja, hogy a kialakulható tüzesetek más tűzszakaszokra való áttérjedését és ez által nagyobb tűzveszély bekövetkezését megakadályozandó valamennyi tűzterjedést szolgáló passzív és aktív tűzvédelmi megoldást ehhez illeszkedően alakítunk ki.

A tűzszakasz határokon az elmondottakból eredően az egyéb pusztán csak tételhatároló funkcióval rendelkező épületszerkezetektől eltérő tüzeseti viselkedést mutató tűzgátló épületszerkezeteket alkalmazunk. Az ezekkel szemben támasztott tűzállósági követelményeket kielégítő teljesítményjellemzők leírására bevezetett paraméterek a szerkezetek várható tűzhatásban történő viselkedéséhez köthetők. Az erre példaként vett AIREI 60 –ként megadott tűzgátló szerkezet teljesítménymutatójának értelmezését a 10. ábra szemlélteti.



10. ábra: Tűzgátló szerkezet egyes teljesítménymutatójának alapértelmezése
 Forrás: Szerkesztette [23] nyomán a szerző

A tűzállósági teljesítmény értékét követő számérték valamennyi teljesítményjellemzőre egyaránt vonatkozó időtartamot jelöli percekben kifejezve. Vagyis az A1 neméghető anyagból kialakított tűzgátló térelhatároló funkciót betöltő és REI 60 paraméterrel jellemzett szerkezet az öt erő tűzhatás során teherhordó képessége (R) következtében a rá nehezedő terheket, a szerkezeti integritását (E) a láng áttörését lehetővé tevő átmenő rések megjelenése nélkül, valamint a szigetelő képességét (I) a mentett oldalon gyújtó hatást kiváltani képes hőmérsékletre történő átmelegedés nélkül megtartja legalább 60 percig.

A tűzvédelmi minősítésük alapján eltérő tüzeseti viselkedéssel számolhatunk az egyes építési termékeknel. A nem éghető szerkezeti anyagokkal történő építési technológiák terén kiemelt szerepet tulajdoníthatunk a könnyűszerkezetes építési módnak, amely igen elterjedté vált az különféle technológiai rendszerek létesítési eljárásaiban. Köszönhetően az ezeknél alkalmazott építési rendszereknek, valamint a korszerű építési anyagok felhasználásának, a modern gyártástechnológiával könnyű teherhordó és térelhatároló épületszerkezetek alakíthatók ki. Az alkalmazás leggyakoribb eseteivel az ipari, mezőgazdasági, logisztikai raktározási, és kereskedelmi jellegű létesítmények esetében találkozhatunk.

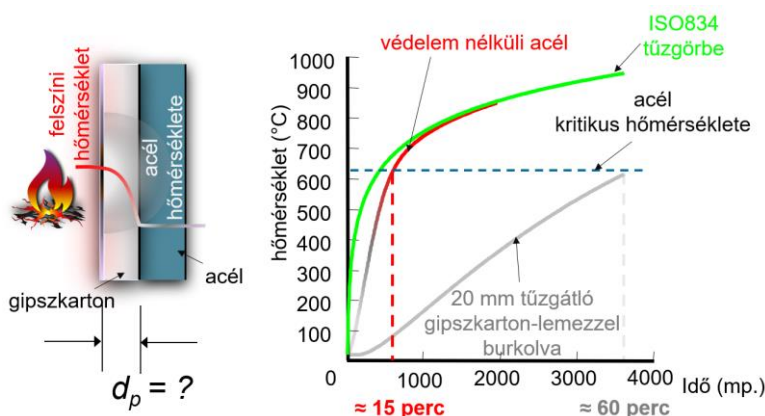
Tűzvédelmi létesítési követelmények oldaláról a könnyű acélszerkezetek alkalmazásával létesülő építmények tüzeseti szerkezeti szilárdsága jellemzőinek megfelelőségén túl ugyancsak számolni kell a szerkezeti anyagok hőtani fizikai jellemzői okozta sajátosságokkal. Ezért nem elegendő pusztán a nem éghetőség nyújtotta látszólagos biztonságra alapozni a tüzeseti hatások precíz megítélésében.

A könnyűszerkezetes építési módszerrel létesülő építmények tüzeseti szerkezeti szilárdságának további fontos aspektusát adja, hogy valamennyi épületgépészeti, stb. rendszer kiépítéséhez is ezek adják a megfelelő strukturális alapot. Azaz az azok rögzítő elemeinek installálásában is ezek képezik az eredendő szerkezeti állékonyságot. Tehát valamennyi tűzvédelmi követelményekkel rendelkező rögzítő elemmel való fizikai kapcsolatnál érvényesülnie kell a tűzállósági teljesítmények összhangjának. Sem egyik, sem másik nem gyengítheti az előírások szerint kialakított tűzállóságot. Ez értelemszerűen vonatkozik az aktív tűzvédelmi rendszerekkel alkotott szerkezeti kapcsolatokra és az azok tüzeseti vezérlésében lényeges kábelek funkcióinak megtartására is, melyek sajátosságaira a későbbiekben még kitérek.

Azonban a tűz, magától értetődően megfelelően tartós kölcsönhatás esetén, bármely épületszerkezet tönkremenetelét is előidézhetheti. Az ezt befolyásoló állapotok elérésének kivédését a szerkezet anyagának megválasztásán túl egyéb passzív védelmet fokozó anyagok hozzáadásával jelentősen módosíthatjuk, ami a szerkezeti tűzállóság növelését jelenti.

Annak ellenére, hogy az acélszerkezetek nem éghető anyagúak és nagy szilárdságúak, a tűz hatására már relatíve alacsony hőmérsékletek, mintegy 620 °C-on jelentős szilárdságvesztést szenvednek el és ennek nyomán eldeformálódva szerkezeti funkciójukat nem lesznek képesek betölteni. Tehát ennél nagyobb tűzállósági teljesítményt igénylő épületek kivitelezésére, csak megfelelő kiegészítő védelmet adó módszerek felhasználásával lesznek alkalmasak. Az ilyen nagyobb szerkezeti állékonyságot megkövetelő épületekben az alapesetben nagyságrendileg mintegy 15 perces tűzállóságú acélt kiegészítő védelemmel kell alkalmazni. Ezt elburkolással, hőre habosodó festéssel vagy szórással felvitt tűzgátló habarcs jelentette kiegészítő védelemmel érhetjük el. A tűzvédő festékeket olyan esetekben célszerű alkalmazni, amikor az elérni kívánt tűzállósági teljesítmény nem túl magas, valamint a szerkezet bonyolultsága például rendkívül körülményessé tenné annak elburkolással történő védelmét. Az acélszerkezetek a tűzállóságának fokozását meglehetősen kis rétegvastagságban felhordott (szórással, festéssel), de tűz esetén jelentős, jellemzően több nagyságrenddel nagyobb vastagságúra felhabosodó védőréteggel érhetjük el. Az akár a helyszínen is elkészíthető és száradása után 0,3-1 mm festékrétegben található komponensek a tűzfejlődés eredményezte hőmérsékletnövekedés hatására bomlást szenvednek el, majd a tovább emelkedő hőmérséklet következtében a megduzzadó anyagot felhabosítva elzárják a szerkezetet a közvetlen tűzhatástól és hőszugárzástól.

Elvi megfontolásait illetően hasonlóan a tűzvédő festék felhabzása jelentette szigetelő hatáshoz, a szükséges tűzállósági teljesítmény elérhető megfelelő, a közvetlen tűzhatástól védő és viszonylag kis rétegvastagságú tűzgátló képességű szilikát alapú anyagokkal kialakított szórt bevonatokkal, például tűzgátló habarccsal. Ugyanakkor egyéb neméghető anyagok felhasználásával tűzvédő réteget vonhatunk az acélszerkezet köré. Az így kialakított például gipszkarton hőszigetelő rétegekkel elburkolva a szerkezeti anyagokat hatásosan növelhető a tűzállóság. Ennek egyik példáját láthatjuk a 11-es ábrán.



11. ábra: Hőszigetelő burkoló réteg tűzállósági teljesítményre gyakorolt hatása acél esetében
Forrás: Szerkesztette [24] nyomán a szerző

Az így nagyobb tűzállósági teljesítményt elérni képes szerkezetek kivitelezésénél a védelmet fokozó rétegek sérülésmentes beépítésére, illetve a tűzálló bevonatok helyszíni felhordási technológiával történő egyenszilárdságú védelem kiképzésére kiemelt figyelmet kell fordítani. A védőrétegek kialakításakor nagyfokú technológiai fegyelmet kell megkövetelni, mivel bármilyen folytonossági hiba tűzhatásban nemvárt módon és végtelenen felgyorsíthatja a tönkremenetelt súlyos veszélyeztetést előidézve a bent tartózkodókra. Különösen igaz ez a tűzálló festékrétegekre. Ezekkel a szerkekkel történő kezelése a szerkezeti anyagoknak nagyobb stabilitást, hosszabb ellenállóképességet biztosít a tűzzel szemben. Szaknyelven szólva megnövekedett tűzállósági teljesítményt kölcsönöz számukra. [25]

Az ilyen jellegű ipari létesítményekben másik fontos tűzvédelmi veszélytényező a tetőszintű tűzterjedés. Viszonylag gyakori eset a kiterjedt ipari tüzeseteknél a tetőszinten történő tűzterjedés, ezzel együtt a tetőhéjalás gyors tönkremenetele. Ezek kivédése céljából fontos a csarnoképületeknél a héjszerkezeteik védelme. Ezeket jellemzően trapézlemezekből alakítják ki, amelyek tetőszintű tűzterjedés elleni védelme, olyan neméghető szigetelő anyagokkal, mint a kőzetgyapot, jelentősen fokozható. Emellett alkalmaznak sprinkler-rendszereket is a szerkezet tüzeseti hűtésére.

Hasonlóan lényeges eleme ennek az építési technológiának a külső tételhatároló szerkezeteknél alkalmazott szendvicspanelek, melyek külső fém fegyverzeteiknek köszönhetően a tűztávolságok tartásával együtt meghatározó szerepet töltenek be a technológiai épületek közötti tűzterjedésben. Ezen építési technológia lapvető felhasználási területeit az ipari, mezőgazdasági, illetőleg a közösségi és kereskedelmi jellegű létesítmények, valamint a logisztikai raktárak képezik. Tűzvédelmi oldalról a viszonylag alacsony tüzeseti szerkezeti állékonyság jelentette biztonsági hátrányaik a viszonylag jelentős léptékű beépített aktív tűzvédelmi rendszerek egyidejű létesítésével kompenzálhatók. Ugyanakkor egyes tüzesetekben előállhatnak nem várt helyzetek, mint például éghető zsíros, olajos gőzök bedifundálása a fegyverzeten belülre és ott kondenzálódva, lerakódva a technológiai terekben kitört tűz során szintén meggyulladhatnak. Ezek oltása ellenben rendkívül nehéz és csak a szerkezet megbontásával kísérrelhető csak meg.

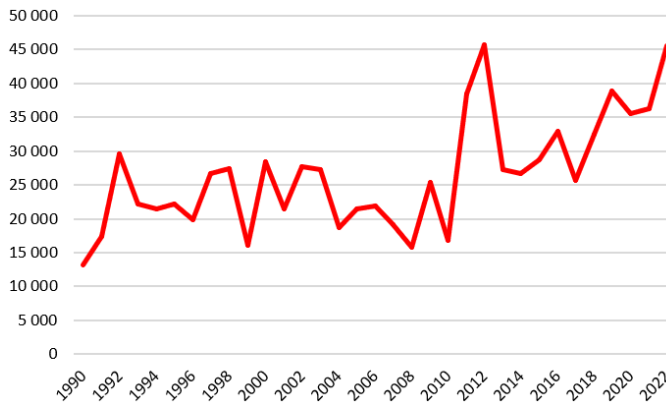
KÖVETKEZTETÉSEK

A tapasztalatok az mutatják, hogy az anyagi károk nagyságrendjének tekintetében élenjáró tényező a tüzesetek. Ráadásul amint azt a 12-es ábra is szemlélteti az 1990-es években szintet váltott. [26] Sőt ezek száma a 2012. utáni átmeneti jelentős csökkenést követően 2017-től újra drasztikusan emelkedni kezdett.

A munkahelyeken a tüzek kiváltó okai között – a vis maior eseteket nem számítva – a tűzbiztonsági előírások be nem tartása előkelő helyen szerepel. Az ezek keletkezésének kockázatait vizsgálva megállapítható, hogy a tűzveszélyesség szempontjából a tüzesetek másik fő tényezője a technológiai folyamatokhoz köthetően a munkaeszközök, berendezések szabálytalan keletkezése. [28]

Épp ezért a munkahelyi tüzmegelezésnek továbbra is meghatározó szerepet kell kapnia a passzív tűzvédelem hatékonyságát alapvetően befolyásoló létesítési előírások épületszerkezetekre vonatkozó követelményeinek. Különösen pedig a nagy volumenű ipari és mezőgazdasági termelés és alapanyag-felhasználás feltételei között jelentkező fokozódó tűzveszélyre adandó válaszoknak. Ideértve a tüzesetek jelentette káresemények következményeinek sikeres felszámolásának esélyét megteremtő aktív tűzvédelmi berendezéseket és

ezeknek a szerkezetekre való megbízható installálását. Az ehhez a munkahelyeken alapot adó stabil épületszerkezetek nem csak a munkavállalók menekülése biztonságossá tételének igen fontos elem, de a beavatkozó tűzoltó állomány védelmét is szolgálják mentési munkák során. Az idő előtt összeomló égő épületekből a sérültek felkutatása és kimentése és a tűz oltása szilárd szerkezetek nélkül elképzelhetetlen még a legkorszerűbb tűzoltó technika segítségével is.



12. ábra: Tűzesetek számának alakulása
Forrás: Szerkesztette [27] nyomán a szerző

REFERENCES

- [1] Tanács Irányelv (89/391/EGK) a munkavállalók munkahelyi biztonságának és egészségvédelmének javítását ösztönző intézkedések bevezetéséről, I. melléklet, 2. pont;
- [2] Beda L.: Tűzmodellezés és tűzkockázat elemzés, Ybl Miklós egyetemi jegyzet, 1999.;
- [3] SPELLMANAND F. R. & BIEBER R. M., Chemical Infrastructure Protection and Homeland Security, THE SCARECROW PRESS, INC., 2009., ISBN 978-1-59191-945-2, 149. o.;
- [4] Kemencés József: Nyomástartó berendezések biztonságtechnikája, OMKT Kft, Budapest, 2010. ISBN 978-963-89258-2-0, 96. o.;
- [5] Fölkl R. et al.: Munkaegészségügyi és Munkavédelmi Enciklopédia, Budapest 1987., 1. kötet, ISBN 963-592-433-X, 2653. o.;
- [6] Thomson N., Fire Hazards in Industry, Butterworth-Heinemann, Woburn, 2002., ISBN 0 7506 5321 3, 21. o.;
- [7] Csóke Béla: Biztosítási ismeretek - utazás a kockázatok kezelésének gyakorlatában, egyetemi jegyzet, Budapest, Óbudai Egyetem, 2012., 57. o.;
- [8] Beda L., Épületek tűzbiztonságának műszaki értékelése ZMNE Doktori (PhD) értekezés, 2004.;
- [9] Sárosi Gy., Veszélyes áru raktárlogisztika - korszerű követelmények. Budapest, 2006. Complex Kiadó, ISBN 963-224-869-1, 116. o.;
- [10] Horváth L., Kulcsár B., Lublós É., Sas V., Vigh L.G., Tartószerkezetek méretezése tűzhatásra. Magyar Mérnöki Kamara, 2010.;

- [11] Takács L., Tűzvédelmi burkolatok helyes szemléletű kialakítása Harmathy szabályainak elemzésével, Tanulmány, Védelem online, <https://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/448-tuzvedelmi-burkolatok-helyes-szemleletu-kialakitasa-harmathy-szabalyainak-elemzesevel.pdf>, (letöltve: 2024. január 31.)
- [12] EN 1992-1-2 (2004), Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC;
- [13] Majorosné Lublós É. et al.: Méretezés tűzterherre az Eurocode szerint – Vasbeton, acél-, fa-, falazott és öszvérszerkezetek tervezése, TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., Budapest, 2023., ISBN 9786155445941, 6. o.;
- [14] Bánky Tamás et al: Építési termékek megfelelősége, Terc Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., 2005., ISBN 963 9535 29 X, 179. o.;
- [15] TvMI 11.3:2022.06.13. Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői, B melléklet - Tűzhatás kitéti görbéi, 65. o.;
- [16] Kruppa Attila: Villamos vezetékrendszerek tűzvédelme, OBO Bettermann Kft., 2013., 24. o.;
- [17] Morgan J. Hurley, et al, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Greenbelt, MD, USA 2016., ISBN 978-1-4939-2565-0, 790. o.;
- [18] InfoGraph GmbH, Software for Structural Design, Fire Scenario for a Composite Frame, Temperature profiles of the used sections at time t=90 min, <https://www.infograph.eu/en/fire-scenario-for-a-composite-frame>, (letöltve: 2024. 02. 02.)
- [19] Insulation4less Ltd, Fire-resistant insulation, <https://insulation4less.co.uk/collections/insulation>, (letöltve: 2024. 02. 02.);
- [20] Kulcsár B., Tűzmodellezés és Tűzkockázat-elemzés, félévi gyakorlati feladatkiírás, FDS és PyroSim szoftver felhasználásával, 2014.;
- [21] Pál Károlyné - Macskásy H.: A műanyagok éghetősége. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980., ISBN 963-10-3179-9, 251. o.;
- [22] E. Mikkola: Charring of wood based materials, Fire Safety Science, 3 (1991), pp. 547-556, 10.3801/iafss.fss.3-547, https://publications.iafss.org/publications/fss/3/547/view/fss_3-547.pdf, (letöltve: 2023. 12. 08.);
- [23] Diana Helmerking: Basics Fire Safety, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2020., e-ISBN (PDF) 978-3-0356-1936-2, 21. o.;
- [24] Iványi M., Acélszerkezeti tervezés az EUROCODE 3 szerint, Acélszerkezetek (klsz.) Acélszerkezetek Tűzvédelme, 2008., ISSN: 1785-4822, 23. o.;
- [25] Jármái K., - Iványi M., Acélszerkezetek tűzvédelmi tervezése, Bevezetés az acélszerkezetekkel kapcsolatos európai szabványokba és alkalmazásukba, Gazdász-Elasztik Kft., Miskolc, 2008., ISBN 978-963-87738-4-5, 134. o.;
- [26] Vajda Gy.: Kockázat és Biztonság, Akadémia Könyvkiadó, 1998., ISBN 963-05-7493-4, 56. o.;
- [27] Központi Statisztikai Hivatal: 4.1.1.43. Munkabalesetek, otthoni balesetek és tűzesetek, https://www.ksh.hu/stadat_files/ege/hu/ege0042.html, (letöltve: 2024. 02. 03.);
- [28] Haubert Gábor: A munkahelyi kockázattértékelés és -kezelés gyakorlati kézikönyve, Munkavédelmi Kutatási Közalapítvány, Budapest, 2003, ISBN: 963-206-499-2, 118. o.;