

Érces Gergő

**A komplex tűzvédelem vizsgálata mérnöki módszerekkel történő
tűzvizsgálat alkalmazásával**



2015

Tartalomjegyzék

A komplex tűzvédelem	3
A mérnöki szemléletű tűzvizsgálat	6
Épített környezet, zárt terek tüzei	8
Vasbeton szerkezetek:	10
Acél szerkezetek:	12
Fa szerkezetek:.....	13
Falazott szerkezetek, oromfalak, tűzfalak:.....	15
Hőszigetelő anyagok:.....	17
Épülettüzek	17
Zárt terek tüzei	18
Zárttéri tűz fejlődése	19
Épülettüzek mérnöki szemléletű vizsgálatának speciális gyakorlati megoldásai	21
A rajzi ábrázolás.....	21
Számítástechnikai eszközök.....	24
Tűzidőtartam, a tűz keletkezési idejének meghatározása	25
Tűzmodellek	27
A tűzmodellezés csoportosítása:	27
A tűzmodellezés felhasználási területei:	28
A tűzmodellezés felhasználása a tűzvizsgálati eljárásokhoz.....	28

A XXI. század embere számára a civilizáció jelenlegi fejlődési szakaszában a biztonság, egészség, fenntarthatóság kulcsfontosságú igénygé lépett elő. Az európai életformánk és életszínvonalunk fenntartása és folyamatos fejlődése érdekében elengedhetetlen a biztonság sokrétű megvalósítása. A biztonság, az emberi élet- és vagyónvédelem, kiemelt jelentőséggel a létfontosságú rendszerek védelmének egyik alapvető pillére a tűzvédelem.

A tűzvédelem a különböző típusú védelmi eszközök (éltvédelem, vagyónvédelem, kritikus infrastruktúravédelem, stb.) jelentős részében kiemelt helyet foglal el. A katasztrófák elleni védekezésen túl a tűzvédelem fontossága megjelenik akár külső támadás esetében (terrorcselekmény során egy esetleges robbanás utáni tüzeset, bűncselekmény elkövetését, csalást leplezni kívánó szándékos tűzokozás), vagy emberi mulasztás okozta káresemények (szakszerűtlen tűzveszélyes tevékenység okozta tűzkeletkezés, tűzvédelmi szempontból fontos rendszer karbantartásának hiánya, stb.) során is. Gyakorlatilag az általános biztonság terén az egyik legszélesebb spektrumban játszik szerepet, így széles körű alkalmazása nem elhanyagolható.

A komplex tűzvédelem

A komplex tűzvédelem három alappilléren (három speciális szakterület) nyugszik:

1. tűzmegeelőzés
2. tűzoltás
3. tűzvizsgálat.

A három szakterület a gyakorlati alkalmazás terén jelenleg elkülönül, de a hármas egység körkörös, oda-vissza alapon történő egymásra hatása szakmai szempontból megbonthatatlan. A korszerű tűzoltóság ezen hármas egység megvalósításával védekezik leghatékonyabban a tüzesetek ellen.



1. ábra A tűzvédelem hármas egymásra hatása

A tűz elleni védekezésben részt vevő szereplők a gyakorlatban két nagy csoportra bonthatók:

1. hivatásos tűzoltóság (katasztrófavédelem különböző szintű szervezeti egységei)

a) központi szint

b) területi szint

c) helyi szint

2. civil szféra szereplői

a) tűzvédelmi mérnökök, szakmérnökök, szakértők, főelőadók, előadók, stb.

b) adott létesítményben a tűz elleni védekezésért felelős személyek

ba) ügyvezető, üzemeltető, vagy megbízottjaik

bb) biztonsági személyzet (tűzjelző-, tűzoltó berendezés felügyeletét ellátó személyzet)

bc) tűzvédelmi szolgáltatást ellátók (üzembe helyezők, karbantartók, felülvizsgálók)

c) tűzvédelmi eszköz forgalmazók, gyártók

A tűzvédelem, a biztonság megvalósítása terén betöltött súlyának megfelelően, szerteágazóan és több szinten valósítható meg. A több szintű megvalósítás egy-egy védeni kívánt épített környezeti elem (építmény, épület) esetében különböző időbeli periódusokban jelenik meg. A különböző időintervallumokban különböző szereplők vesznek részt, amelyek között léteznek átfedések, de bizonyos időpontok egy épített környezeti elem esetében teljesen elkülönülnek, nem valósul meg a tűzvédelem teljes folytonossága. Egy, a mai elvárásoknak eleget tevő, ötven évre tervezett építmény életét nem fedi le egy teljes egészében átívelő, egységes tűzvédelmi védőháló.

Egy építmény életének ciklusai:

1. építési szándék, koncepció – tűzvédelmi koncepció (tűzvédelmi tervező, szakértő)

2. tervezési fázis – tűzvédelmi tervezés (tűzmegeelőzést végző hivatásos tűzoltó állomány tagja, tűzvédelmi tervező)

3. kivitelezési fázis – tűzvédelem érintőlegesen jelenik meg, vagy hiányzik (a kivitelezésben részt vevő tűzvédelmi képesítéssel rendelkező személy)

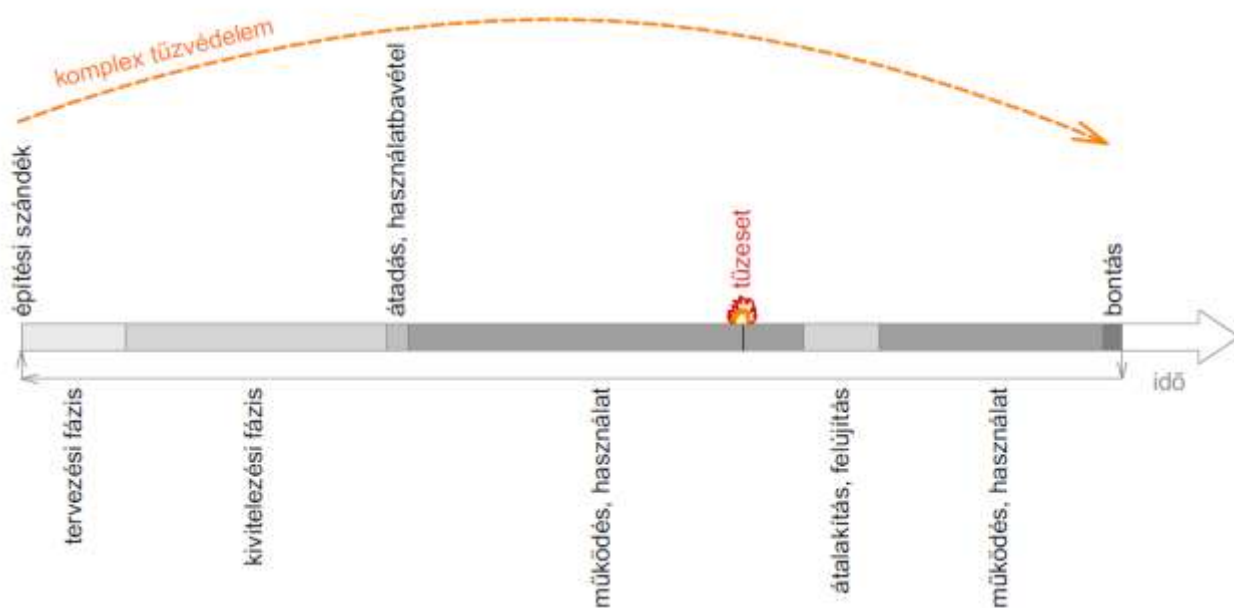
4. használatbavétel, építmény átadása – jellemzően a legjobb (pillanatnyi) tűzvédelmi állapot (tűzvédelmi képesítéssel rendelkező felelős személy, tűzmegeelőzést végző hivatásos tűzoltó állomány tagja)

5. használat, működés – tűzvédelem csak bizonyos esetekben jelenik meg, csak specifikus területeken (tűzvédelmi képesítéssel rendelkező szakember: pl. tűzvédelmi előadó, főelőadó, karbantartók, stb, tűzmegelőzést végző hivatásos tűzoltó állomány tagja ellenőrzés keretében, beavatkozó hivatásos tűzoltó állomány gyakorlat keretében)

6. átalakítás, felújítás, rendeltetés megváltoztatás – tűzvédelmi rendszerekben történő változás, de nem minden esetben tűzvédelmi tervezés (átalakítás körében és mértékében a tűzmegelőzést végző hivatásos tűzoltó állomány tagja, megfelelő tűzvédelmi képesítéssel rendelkező szakember)

7. bontás – tűzvédelem nem jelenik meg

+ esetleges tüzeset valamelyik ciklusban, vagy ciklusok közötti átmeneti állapotban (tűzoltást, tűzvizsgálatot, tűzvédelmi ellenőrzést végző hivatásos tűzoltó állomány, tűzvizsgálati szakértő, igazságügyi szakértő).



2. ábra Az épület teljes ciklusán átívelő komplex tűzvédelem

Egy építmény teljes élete során a fő ciklusok idején komplex tűzvédelem sok esetben a szakterületek és szereplők terén párhuzamosan, metszéspont(ok) nélkül valósul meg, amely a teljes tűzvédelem folytonosságán szakadásokat, fehér foltokat eredményez. A legnagyobb közös osztó a komplex tűzvédelem speciális szakterületei között a tűzvizsgálat. A tűzvizsgálat során összpontosul az adott építmény esetében a pillanatnyi tűzvédelmi helyzet, továbbá a tűz elleni védekezésben szereplők addigi eredménye a legintenzívebben. A tűzvizsgálat összegezheti mind a tűzmegelőzés, mind a tűzoltói beavatkozás, továbbá a civil szféra teljes tevékenységének eredményeit.

Azonban a komplex tűzvédelem fejlesztése csak akkor valósítható meg érdemben és hosszútávon, ha az összegzés visszacsatolásokkal, érdemi egymásra hatásokkal körkörös és folyamatos tevékenységet képez.

A legjobb védekezés a tűz ellen, akárcsak más veszély ellen, a megelőzés. A tűzvédelem területén ez nem szorítkozhat kizárólag a tűzmegeelőzés speciális szakterületére. A hosszú távú, egy-egy építmény teljes életciklusa során figyelembe vehető megelőző tevékenység a három tűzvédelmi szakterület nagyon átható és kölcsönös csapatmunkájával, valamint a tűzvédelemért tevékenykedő és felelős civil szféra szereplőinek szoros együttműködésével valósítható meg. Ez a térbeli és időbeli átfogó együttműködés jelenti a komplex tűzvédelmet, amely a leghatékonyabb megelőző eszköz a tűz elleni védekezés területén. A komplex tűzvédelem kialakításának célja a hatékony preventív tűzvédelem fejlesztése.

A mérnöki szemléletű tűzvizsgálat

A komplex tűzvédelem meghatározása első körben tapasztalati úton vizsgálható, amely egzakt eredményekkel szolgálhat. A legalkalmasabb módszer ezen a téren a tűzvizsgálat. A tűzvizsgálat kohéziót képez, és egységes mederbe tereli az adott pillanatban egymás mellett párhuzamosan megvalósuló tűzvédelmi szakterületeket. A megfelelő és egzakt eredmények elérésére megfelelő eszközrendszert kell alkalmazni, úgy, hogy az valamennyi szakterület számára érdemi eredményekkel szolgáljon, ezzel biztosítva a hibák javítását, fejlődés lehetőségét. A jelenleg alapvetően jogszabályi követelményeken nyugvó, *a tűzesetek vizsgálatára vonatkozó szabályokról* szóló 44/2011. (XII. 5.) BM rendelet (továbbiakban: tv rendelet) túlnyomórészt kriminalisztikai alapokon nyugvó tűzvizsgálatot határoz meg, amelyet a korszerű komplex tűzvédelem igényeihez és lehetőségeihez kell igazítani. A tv rendelet 1. §-a szerint: *A tűzvizsgálati eljárás során a tűzvédelmi hatóság (a továbbiakban: hatóság) vizsgálja*

- a) a tűz keletkezésének, terjedésének körülményeit; a tűz keletkezésének helyét, idejét; a tűz keletkezéséhez vezető folyamatot; továbbá a tűzesettel kapcsolatos személyi felelősséget,*
- b) a tűz keletkezésének megelőzésére, továbbterjedésének megakadályozására vonatkozó tűzvédelmi előírások érvényesülését, valamint*
- c) a tűzoltás alapvető feltételeinek meglétét.*

A jogszabály gyakorlatilag előírást tartalmaz arra vonatkozóan, hogy a komplex tűzvédelem megvalósuljon, azonban ezt csak bizonyos esetekben követeli meg, és kizárólag az elsőfokú tűzvédelmi hatóság szereplőitől. A tv rendelet 3. §-a szerint:

(1) Hivatalból tűzvizsgálati eljárást kell lefolytatni, ha:

- a) a tűzesettel összefüggésben bűncselekmény gyanúja merül fel,*

- b) a tüzeset következtében haláleset történt,
- c) a tüzeset minősített fokozata III-as vagy magasabb volt.
- d) a hatóság vezetője szakmai szempontból indokoltnak tartja.

(2) A tüzeset minősített fokozatának megállapításakor a ténylegesen beavatkozó erőket kell figyelembe venni.

A tűzvizsgálatok alakulása Magyarországon 2012-től a 2015. év első félévének végéig folyamatosan csökkenő tendenciát mutat:



3. ábra Tűzvizsgálatok számának alakulása Magyarországon¹

A tűzvizsgálat jogszabályi és szakmai téren is alkalmas lenne egzakt, a szakterületekre visszaható eredmények levonására, azonban a vizsgálatok száma nem elegendő pusztán ezen a módszeren történő fejlesztések alkalmazására. Megfelelő eszközrendszerrel összetettsége okán mindenképp alapja és első megközelítése a komplex tűzvédelem megvalósításának.

A korszerű tűzvédelemben a megfelelő eszközrendszer a mérnöki szemléletű tűzvédelem. Ez az eszközrendszer mérnöki módszereken alapszik, amely lehetővé teszi az egzakt vizsgálati eredmények elemzését. A hatályos tűzvédelmi jogszabályok, elsősorban az európai szinten is nagyon korszerű szemléletű 54/2014. (XII. 5.) BM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi szabályzat (továbbiakban: OTSZ) megfelelő jogi környezetet ad a mérnöki módszerek alkalmazásának, melyet a XXI. századi technikai fejlődés és a modern tervezési szakmai gyakorlat is preferál. A tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról szóló 1996. évi XXXI. törvény (továbbiakban: Tv törvény) 3/A. § (1) bekezdése szerint: *Az Országos Tűzvédelmi Szabályzat meghatározza az épületek, építmények létesítési és használati, valamint a tűzoltóságok beavatkozásával kapcsolatos tűzvédelmi követelményeket, az elérendő biztonsági szintet.*

Az OTSZ nagyon modern jogszabályi szemlélettel követelményeket, a tűzvédelmi biztonság színvonalának mércéjét határozza meg.

A megoldásokat mérnöki szemlélettel tűzvédelmi szabványokhoz, tűzvédelmi műszaki irányelvekhez, valamint mérnöki módszerekkel történő megfelelési igazolási módszerekhez köti. A Tv törvény 3/A. § (3) bekezdése szerint: *Az Országos Tűzvédelmi Szabályzatban meghatározott biztonsági szint elérhető*

a) tűzvédelmet érintő nemzeti szabvány betartásával,

b) a tűzvédelmi műszaki irányelvekben kidolgozott műszaki megoldások, számítási módszerek alkalmazásával, vagy

c) a tűzvédelmi műszaki irányelvektől vagy a nemzeti szabványtól részben vagy teljesen eltérő megoldással, ha az azonos biztonsági szintet a tervező igazolja.

A fenti szabályozások értelmében, az érdemi eredmények elérése céljából, a visszacsatolásoknak mérnöki szemléletű tűzvizsgálaton keresztül kell megvalósulniuk. Ezzel a módszerrel azonos rendszerben, így egzakt módon vizsgálhatjuk a komplex tűzvédelem létesítési, működési és operatív beavatkozási feltételeinek megvalósulását. Valamennyi egymásra ható tényező fenti rendszerben történő elemzésével hatékonyan fejleszthetők az egyedi, majd általános tűzvédelmi problémára adható megoldások, ezzel a komplex tűzvédelem. Ehhez szükséges a teljes tűzvédelmi szakma szemléletváltása, amely során a hangsúly a mérnöki szemléletre terelődik át. *„Az oly sokszor emlegetett szemléletváltás, ami nélkülözhetetlen az új OTSZ és a kapcsolódó irányelvek alkalmazásához, még nem mindenkinél következett be. Még nem tudatosult mindenkiben a mérnöki/műszaki gondolkodásra épülő új szemlélet.”²*

Épített környezet, zárt terek tüzei

A kialakuló tüzesetek jelentős része zárt térben, épített környezetben keletkezik. A nagyszámú eset és az emberi életvitel szempontjából, mivel életünk jelentős részét épített környezetben éljük (lakunk, dolgozunk, szórakozunk, gyógyulunk stb.), tűzvédelmi aspektusból kiemelkedő fontosságú a téma vizsgálata. A létfontosságú rendszereink jelentős része épített környezeti elem, azon belül is olyan építmény, amely tűzvédelmi szempontból zárt tereket tartalmaz.

A mérnöki szemléletű tűzvizsgálat lefolytatásához szükséges ismeretek csak analitikus módszerrel közölhetők. Ehhez azonban alapvető elemeire kell bontani a témakört, amely egységek koherens módon, de független résztémákként épülnek fel. Épülettüzek esetében egy hármas, egymásra nagymértékben ható egységről beszélhetünk, amely az ember – épület – tűz részegységekből álló komplex jelenséget alkot. Ezen hármas viszonya határozza meg az adott tüzesetek lefolyását.

A három fő tényező természetesen további altényezőkre bontható, amelyek, mint egy-egy egyenlet változói, jellemzik, befolyásolják a tüzeseteket.

A változók variálhatósága és sokfélesége teszi valamennyi típustüzet is egyedivé és különbözővé bármelyik másiktól, ezért pontos algoritmust nem lehet adni a tűzvizsgálatok megoldásaira, de speciális látásmódot kialakító, a lényegre irányító elveket, tapasztalati és mérnöki módszereket igen. A három fő csoportból jelen értekezés az *építmény, épület* csoportot taglalja, a *tűz* csoport zárt téri jellemzői (alcsoportja) alapján. Az emberi tényező ezen szempontrendszer szerint a tűz keletkezésében, továbbá túlmutatva a tűzvizsgálat témakörén, a preventív tűzvédelemben játszik elsődleges szerepet. Az alapvető tűzvizsgálati eljárási cselekményeken túl (helyszíni szemle, ügyfél-, tanú meghallgatás, mintavételezés, stb.) az azokba beépítendő, vagy azokat kiegészítő szemlélet- és eszközrendszer mérnöki megoldásait tartom szükségesnek a kriminalisztikai alapokon nyugvó bizonyítékok szakszerű alátámasztására és a komplex tűzvédelem fejlesztésére. Ezek az eszközök:

1. térbeli elrendezés sajátosságainak felmérése
2. építészmérnöki szerkezeti kapcsolatrendszerek megismerése
3. anyagjellemzők viselkedésének vizsgálata
4. Eurocode szerinti méretezések ellenőrzése
5. rekonstrukció, rekonstrukciós ábrázolás
6. matematikai tűzmodellek alkalmazása

A továbbiakban a mérnöki szemléletű tűzvizsgálat fenti eszközrendszerét összegezem.

Az épülettüzek mérnöki szemléletű vizsgálata szempontjából elengedhetetlen a keretrendszer, „a ház” felépítésének ismerete, az épület anatómiájának tanulmányozása. Az épületek „corpusa” különböző, funkcionálisan meghatározott épületszerkezeti elemekből áll. Az égési folyamat szempontjából az épületszerkezeti elemek anyaga (mint éghető anyag – az égés egyik alapfeltétele) játszik fontos szerepet. Ezen túl azonban az épületszerkezetek kapcsolati csomópontjai (egymáshoz történő illesztései, rögzítései) is nagy jelentőséggel bírnak az égési reakció alakulása szempontjából. Az épülettüzek analizálásához hozzátartozik az eredeti állapot pontos ismerete, amely, ha rendelkezésre állnak, az építészeti tervekből megismerhető. Az esetek jelentős részében azonban nem áll rendelkezésre az eredeti tervrajz, így a tapasztaltak alapján kell felépíteni a károsodott rendszert. Az égési folyamat szempontjából meghatározó, az azt befolyásoló szerkezeti elemeket így szükséges rendszerezni. A rendszerezést építészeti elvek, szabványok alapján kell elvégezni, a több mint 5000 éves építéstudomány eredményeit kell felhasználni.

Az épületek térbeli rendszert alkotnak egymással. A tűz szintén térbeli jelenség, amely a keletkezési hely függvényében változó térbeli alakot ölt, amelyet befolyásol az éghető anyagok elhelyezkedése.

A tűz terjedésében, a hő- és füstáramlásban szerepet játszik a szellőztetés, hő- és füstelvezetés kialakítása, amely szintén három dimenzióban történik. Fontos, hogy a jellemzően két dimenzióban történő ábrázolás és sok esetben gondolkodás metodikáját a tűzvédelem területén felváltta a térbeli, háromdimenziós látásmód. Ezt a térbeli gondolkodást tovább kell fokozni egy negyedik dimenzióval is nevezhető tényezővel, amely zárt, épített terek esetében rendkívüli jelentőséggel bír. Ez a tényező az idő. Valamennyi térbeli változást mindig az idő függvényében kell vizsgálnunk. A térbeli ábrázolás és gondolkodás szerves részévé kell váljon a mérnöki szemléletű tűzvizsgálatnak, mert valamennyi vizsgált jelenség, elváltozás térbeli esemény valamilyen leképezése.

Az épített környezet, építmények kapcsolati rendszere természetesen meghatározott anyagokból áll, amelyek fizikai, kémiai tulajdonságai befolyásolják a tüzesetek lezajlását. A zárt terek berendezései, az ott tárolt anyagok tulajdonságai szintén befolyásolják az égési folyamatokat.

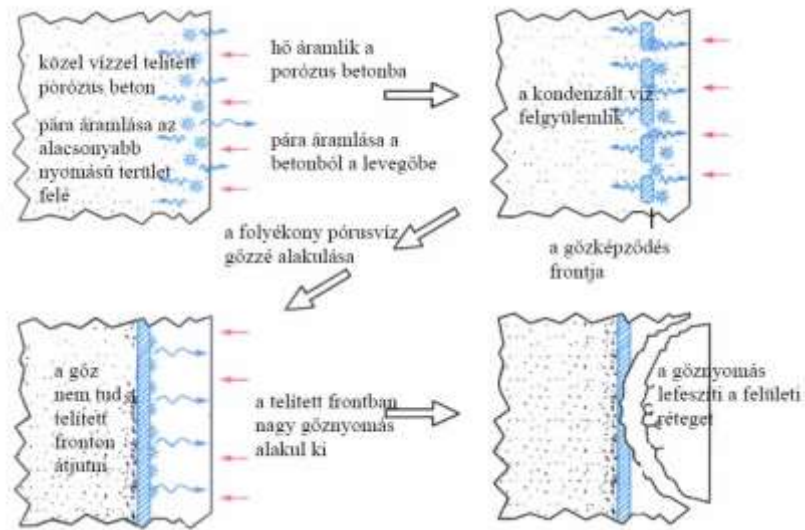
Alapvetően öt anyagcsoportot kell megkülönböztetni:

1. beton, vasbeton anyagok
2. acél anyagok
3. fa anyagok
4. szilikátok, égetett agyagok
5. műanyagok (jellemzően nem tartószerkezeti szerkezeti anyagcsoport)

A különböző anyagok jellemzői és szerkezeti kialakításuk lehetőséget nyújtanak arra, hogy mérnöki módszerekkel meghatározzuk az azokkal szemben támasztott követelményeknek való megfeleltetést, így tervezhetőek. Mivel tervezhetőek, ellenőrizhetőek is, tehát egy tüzeset után a megfelelő mérési módszerek alkalmazásával a vonatkozó Eurocode (továbbiakban: EC) szerinti számításokkal egzakt tűzvizsgálati eredményeket kapunk, amelyek összevethetők a jogszabályi követelményekkel is.

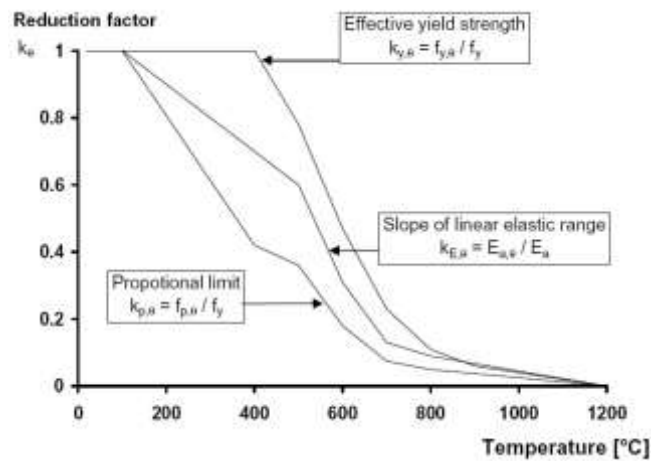
Vasbeton szerkezetek:

A vasbeton anyag nem éghető kategóriába tartozik, azonban tűzben, nagy hő hatására az anyag tulajdonságai megváltozhatnak, amely a szerkezet állékonyságvesztéséhez, összeomlásához vezethet. Az alábbi ábrarozaton a vasbeton szerkezetek egyik legveszélyesebb tönkremenetelét, a hirtelen bekövetkező réteges leválást (ún. spalling) mutatom be:



4. ábra A beton viselkedése hő hatására³

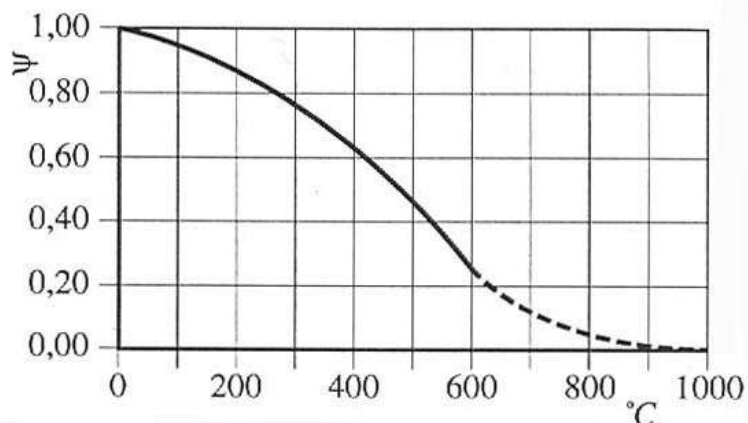
A betonacél szilárdságtani jellemzői a hőmérséklet változásával az alábbiak szerint alakulnak:



5. ábra A betonacél szilárdságtani jellemzői⁴

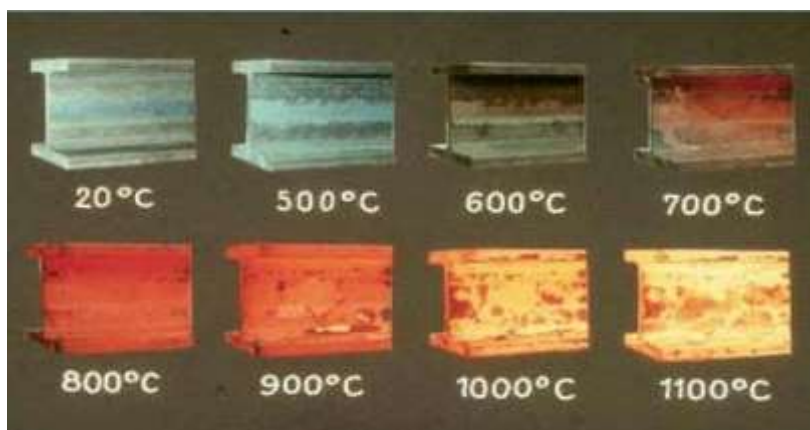
Acél szerkezetek:

Az acél a nyersvas max. 2% szénnel, ill. más elemekkel alkotott ötvözet:



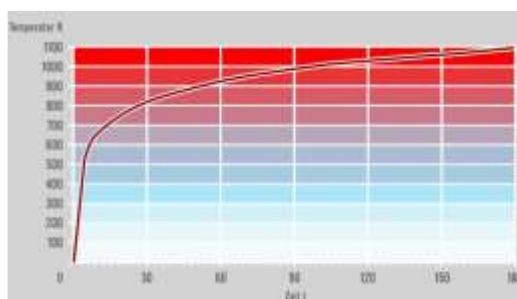
6. ábra Acél lágyulása diagram⁵

Tapasztalatok alapján tűzben 10-15 perc után a kiegészítő tűzállóságot növelő védelem nélküli acélszerkezetek elvesztik állékonyságukat, és összedőlhetnek. Az acél hőmérséklettől függő sugárzási képe:



7. ábra Az acél színe különböző hőmérsékleteken⁶

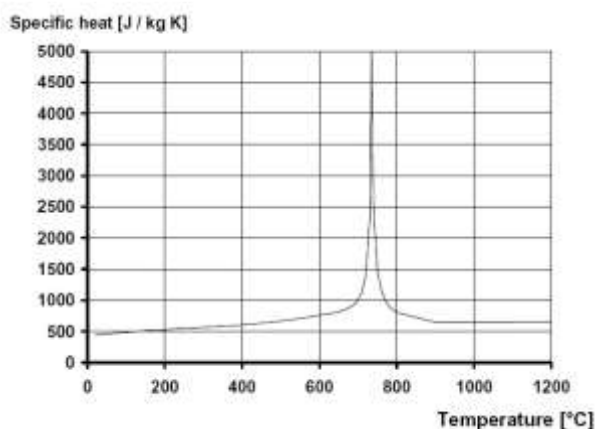
Acél hőmérséklete kifejlődött tűzben:



8. ábra Az acél hőmérsékletének alakulása az idő függvényében⁷

Acélelemek hőtani modellje:

Kb. 700 °C-on egy energiaigényes kristályátalakulás, fázis átalakulás megy végbe.



9. ábra Az acél energia változása a hőmérséklet függvényében⁸

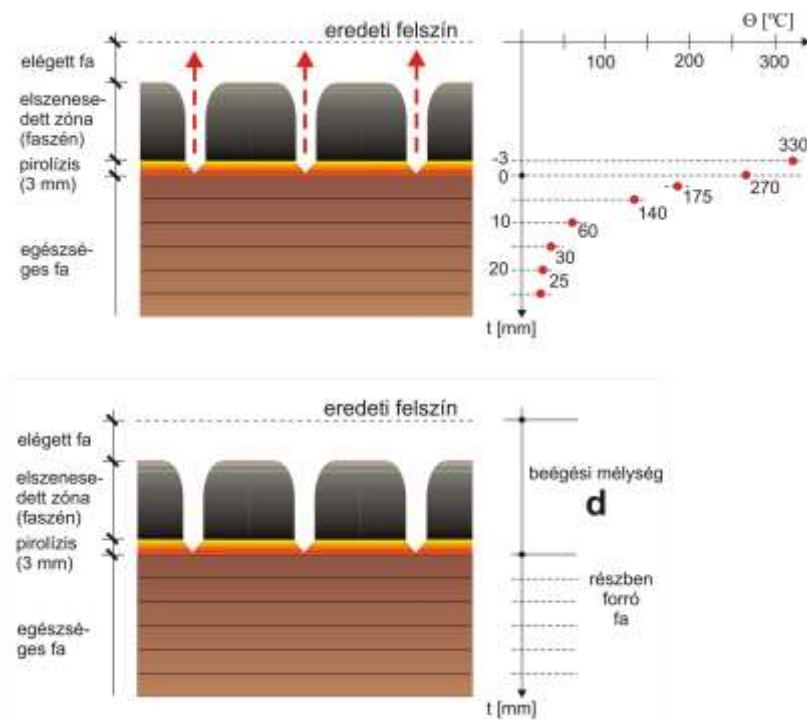
Fa szerkezetek:

Az épületek esetében a fa építőanyag elsősorban a tetőszerkezetekben, azon belül is a magastetők esetében jelenik meg. Az éghető szerkezeti anyagok miatt ez a leghatékonyabban tűzveszélyes típus a szerkezet éghető komponens tartalmából. Ma az épülettüzek legnagyobb száma fa tetőszerkezetekben, tetőterekben történik.



10. ábra Könnyűszerkezetes épület, faház tüzesete

Fa szerkezeti elemek beégése:



11. ábra A fa beégése - elméleti vázlat⁹

A fa szerkezeti elemek égése során az anyag külső rétegeitől a belső felé haladva ég el. A fa szerkezeti elemek tűz általi károsodását beégésnek (EC: elszenesedés) nevezzük. A beégés során az anyag legfelső rétegei elégnak, megsemmisülnek, anyagvesztés alakul ki. Ezt követi az úgynevezett elszenesedett zóna, amelyben faszén található. A következő rétegben átlagosan 3 mm vastagságban zajlik a pirolízis, amely alatt a felmelegedett, de még ép faréteg húzódik. A fa szerkezeti elemek az égés során keresztmetszet csökkenést szenvednek, amely következtében a szerkezet állékonyságát veszítheti, és összedőlhet.

A faanyag az egyik legjobb tulajdonságokkal bíró anyag a tűzvizsgálat szempontjából, az égése során kialakult változások sok mindentről árulkodnak.

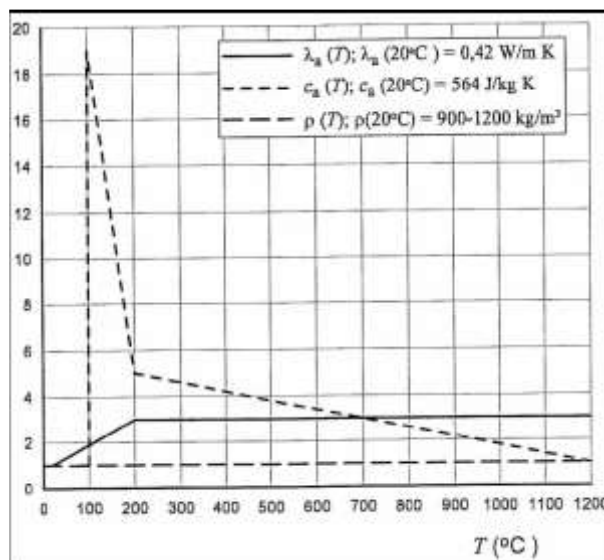
A beégések mélysége, az anyagveszteségek mértéke információkkal szolgál a tűz időtartamáról, intenzitásáról, a terjedés irányáról.



12. ábra Beégés nyomok mélységének változása a szarufákon

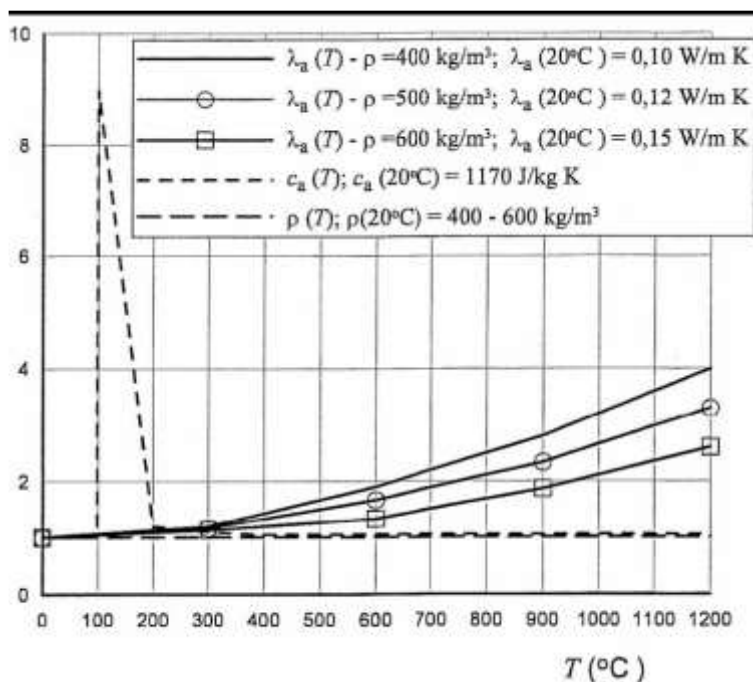
Falazott szerkezetek, oromfalak, tűzfalak:

Égetett agyag téglák (kisméretű téglák, falazóelemek)



13. ábra Égetett agyag falazóelem tulajdonságai a hőmérséklet függvényében¹⁰

Pórusbeton falazóelem



14. ábra A pórusbeton falazóelem tulajdonságai a hőmérséklet függvényében¹¹

A falak önmagukban állékony szerkezetek, de statikai szempontból merevíteni kell őket, amely megoldható irányultság szempontjából egymásra merőleges, vagy szöget bezáró falakkal, a falakat összetartó födémszerkezettel, stb. Nem éghető anyagúak, de omlásveszélyt, mechanikai károsító hatást jelenthetnek az épületre.

Az égetett agyag téglá felülete tartós 1000 C° hőmérséklet felett megolvad és egy ún. üvegmáz réteg alakul ki a falfelületen.



15. ábra Tűzfal stabilitás vesztese és leomlása

Hőszigetelő anyagok:

Tűzvédelmi szempontból két fő csoportot különböztethetünk meg:

1. éghető anyagú, jellemzően égve csepegő, műanyag alapú hőszigetelő anyagokat - expandált polisztirolhabok (EPS), extrudált polisztirolhabok (XPS)
2. nem éghető anyagú kőzet-, ásványgyapot alapú hőszigetelő anyagokat.

Az épületek hőszigetelését, utólagos hőszigetelését külső falsíkon, homlokzati síkon kivitelezik. A hőszigetelő anyagok jellemzően táblákban, elemenként rögzíthetők a falszerkezetre. A rögzítés módja ragasztással és dübelezéssel történik. A homlokzat kialakítása lehet normál hőszigetelt homlokzat (hőszigetelés a falszerkezetre rögzítve, vakolattal bevonva), illetve átszellőztetett homlokzat (hőszigetelés a falszerkezetre rögzítve, átszellőztetett légréteg, majd homlokzatburkolat). Homlokzati tűzterjedés szempontjából a nem megfelelően kivitelezett homlokzati hőszigetelő rendszerek potenciális veszélyt jelentenek. A homlokzati tűzterjedés mérése és elemzése a mérnöki szemléletű tűzvizsgálat szempontjából kiemelten fontos.

A nem éghető anyagú, tűzhatlan hőszigetelések jelenléte is jelenthet kockázatot, és okozhat nagy károsodásokat. A jó tűzállósági határértékkel rendelkező építőlemezek esetében a burkolt felületek hosszú percekig elviselik a hő- és lángterhelést. A mögöttük lévő hőszigetelő anyag miatt a zárt tetőtérben kialakuló hő az adott helyiségben akkumulálódik, amely felgyorsítja a flashover kialakulását, és a szerkezet lehullása után hirtelen hőszökkenettel jelleggel fejti ki hatását.

Épülettüzek

Épülettüzek esetében alapvetően a már említett két rendszer – épület és tűz – egymásra hatásáról beszélhetünk. Ezen két rendszer viszonya határozza meg az égési folyamat lezajlását.

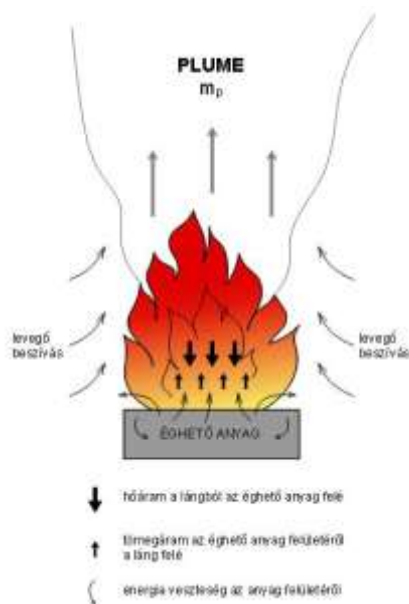
A két rendszert külön-külön leíró fizikai, kémiai jellemzők az épület, mint rendszerhatár (*nem éles határokról beszélhetünk, de alapvetően a szabad tér /zárt tér szabja meg a fizikai határokat*) keretei között egy speciális kölcsönhatásba lépnek egymással. A tűz az épületeken belüli, speciális körülmények miatt egyedi égési folyamatokat produkál, amelyeket égésméleti megközelítésből zárt terek tüzeinek nevezünk. A zárt terek tüzeinek egyedi jellemzői adják az épülettüzek égésméleti alapját. A téma specialitása a zárttéri hatások kialakulásán alapszik. Egy mérhető, végletes 3 dimenziós, szerkezetekkel körülhatárolt térben az éghető anyagok mennyisége is véges. A szerkezetekkel körülhatárolt, zárt térfogatban az oxigénmennyiség szintén véges, az építőelemek pedig hő hatásával kölcsönhatásba lépnek. Elnyelik a hő egy részét, felmelegednek, a hő más részét visszaverik, fokozva ezzel a belső tér hőmérsékletének növekedését.

Zárt terek tüzei

A tűz fejlődésének elsődleges folyamatai

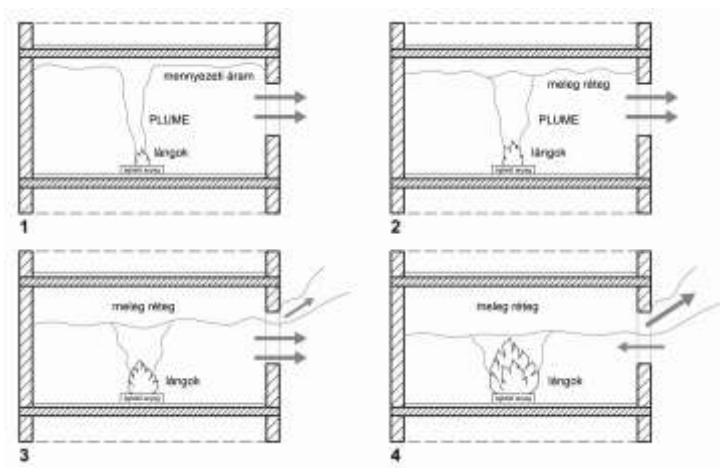
A plume kialakulása

Az el nem égett gázok, a gáz halmazállapotú égéstermékek, valamint a beszívott levegő alkotják az ún. plume-ot. A plume energia és tömegáramot képvisel, amelyet az égés és a beáramló levegő szabályoz.



16. ábra A plume kialakulásával kapcsolatos folyamat¹²

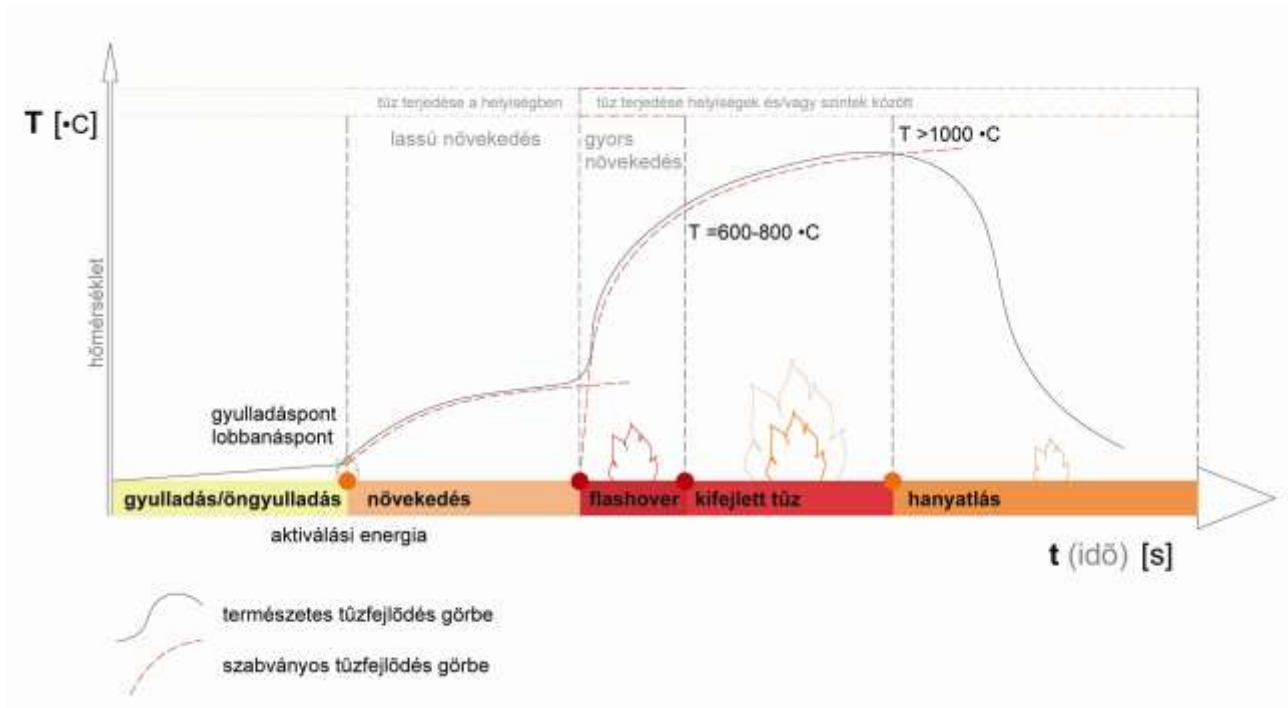
A meleg réteg kialakulásának folyamata



17. ábra A meleg réteg kialakulásának folyamata¹³

Zárttéri tűz fejlődése

Az épületekben keletkező tüzek fejlődése leírható a zárttéri tüzek fejlődésével. A földszinti, emeleti helyiségekben keletkező tüzek fejlődése során a nyílászárók üvegezése a hőhatás következtében kitörik, a légcseré biztositottá válik. Tetőtüzek esetén a folyamatos légcseré a rétegréteg folytonosságának megszakadása (pl.: részleges omlás, átégés) után valósul meg.



18. ábra Természetes tűzfejlődés zárt térben diagram

A zárttéri tűz fejlődésének szakaszai:

- a tűzkeletkezés időpontja, az első anyag(ok) meggyulladása
- a tűz növekedésének fázisa, nem jellemző még a zárttér hatása, vagy elhanyagolhatóan kicsi, az égési folyamat sebessége, a növekedés sebessége az éghető anyagok mennyiségétől és fizikai tulajdonságaitól függ
- átmenet a növekedési fázisból a kifejlett tűz szakaszába, amely határán következik be a flashover jelensége, amely gyors változásokkal jár, ahol 600 °C hőmérsékletnél a légnemű bomlástermékek meggyulladnak
- kifejlett tűz fázisa, a teljes helyiség égése, valamennyi éghető komponenseket tartalmazó anyag ég, az égési folyamat sebességét a zárttér hatása befolyásolja

- a hanyatlás szakasza, ahol már az éghető komponenseket tartalmazó anyagok mennyisége jelentősen csökken, amely befolyásolja az égés sebességét, ezáltal a hőtermelés lelassul.



19. ábra Zárt téri tűz fejlődése

Épülettüzek mérnöki szemléletű vizsgálatának speciális gyakorlati megoldásai

A vizsgálat során elsősorban a zárttéri tüzek következményei tárhatók fel, amelyek néhány speciális gyakorlati megoldást igényelnek. A mérnöki szemléletű vizsgálat tüzeseti helyszíni szemléje mérnök jellegű bizonyíték- és állapot rögzítést takar.

A helyszíni szemle egyik kiemelt szakasza a tüzeseti helyszín rajzi formában történő ábrázolása. Az ábrázolás jelentősége, hogy a bizonyítékokat szemléletesen és geometriailag mérhető formában rögzítse.

A rajzi ábrázolás

A tüzeseti helyszíni szemle során kézzel rajzolt ún. manuálét készítünk. A rajzot a helyszín alapos bejárása és megismerése után, lépték helyesen szükséges megörökíteni.

A kiindulás minden esetben az építészeti tulajdonságok minél hűbb ábrázolása az épület jellegétől, a tüzeset kiterjedésétől, a károsodásoktól és veszélyeztetettségétől függő megjelenítési formában.

Az ábrázolást, rajzi megjelenítést a tűzvizsgálati eljárás egészével azonos módon, fokozatosan közelítő (a tűz keletkezési helyére irányuló) formában kell elvégezni. Tehát a tüzeset helyszínéről egy tüzeseti helyszínrajzot kell készíteni. Rendkívül fontos a megelőző tűzvédelem és a tűzoltói beavatkozás szempontjából vizsgálni a tűzoltó vízforrásokat (földalatti-, földfeletti tűzcsapok), középmagas-, magas lakóépületek előtt a tűzoltási felvonulási út és terület meglétét. Ezeket fel kell tüntetni a helyszínrajzon.

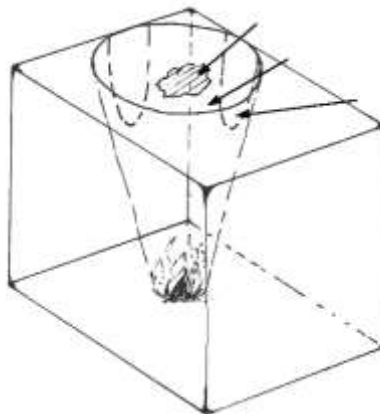
A további rajzi megjelenítést közelítően a keletkezési helyhez 1:100-as (esetleg 1:200-as) léptékben kell ábrázolni úgy, hogy a további elemzések érdekében valamennyi szerkezeti kapcsolat, anyagjellemző, térbeli elrendezés, stb. mért adatokkal szolgálhasson. Kiemelt figyelmet és rajzi megjelenítést, pontos geometriai elhelyezést kell biztosítani a potenciális gyújtóforrásoknak.

A statikus elváltozások geometriailag méretezett ábrázolása mellett fontos a tűz dinamikus viselkedésének megjelenítése. A tűz alapvetően térben terjed, ezért nem csak egy egyenes vonalú irányt kell megjelölni, hanem alaprajzi szinten egy területet, amely jellemzően egy amorf, szabálytalan formát eredményez. Ezen túl a metszeti rajzokon meg kell jelenjen a magassági dimenzió ábrázolása is.

Tehát a pontos építészeti terek ábrázolása az első lépés, azonban természetesen elengedhetetlen a károsodott szerkezetek, burkolatok, stb., valamint a tűz, a hő és a füst, továbbá az oltóvíz által károsodott berendezési tárgyak pontos, kótázott elhelyezése is a rajzfelületen.

A helyszíni szemle dinamikus szakaszában, a tűzkeletkezéssel potenciálisan összefüggésbe hozható helyek részletes rajzi megjelenítése javasolt, amelyet érdemes 1:20 léptékben ábrázolni és a részletezettséghez mérhető tartalommal feliratozni, megtölteni.

Az alaprajzi megjelenítés mellett fontos egyrészt a térbeli rekonstruáláshoz, másrészt a károsodások teljes körű megjelenítéséhez szükséges metszetek, homlokzati rajzok, belső falnézetek ábrázolása is. A tűz térbeli jelenség, ezért az adott tűz helyszín térbeli megjelenítése is elengedhetetlen, ami 2 dimenziós ábrázolási technikával papíron, a megfelelő számú vetület (alaprajzok, metszetek, homlokzatok, falnézetek, részletrajzok) rögzítésével lehetséges. A tűzmintázatok vetületi megjelenése (különböző síkfelületeken pl.: mennyezet, falak) a térbeli anyagáramlás síkfelületekkel történő metsződése következtében alakul ki. Az égési folyamat alatt keletkező áramlás során szabályos térbeli alakzatok alakulnak ki, amelyek forró égéstermék áramlás formájában szabályos síkbeli geometriai alakzatokként jelennek meg a sík felületekkel való metszések következtében.



22. ábra Térgeometriai alakzat síkmetszetei a zárt tér határoló felületein¹⁴

Az elváltozások pontos kiterjedésének, mértékének ábrázolása mellett fontos egy rekonstrukciós rajz, elsősorban alaprajz készítése, ahol a tűz előtti állapot ábrázolása a cél. A tüzeset minél pontosabb rekonstruálása érdekében alapvetően fontos a két végpont meghatározása, esetünkben a tüzeset előtti és a tüzeset megszűnése (oltása vagy kialvása) utáni állapot rögzítése. Megfelelő objektív bizonyíték, rögzített nyom, vett minta birtokában a két ismert, rekonstruált végállapot között lezajló folyamat, esemény a megfelelő ismeret birtokában megállapítható.



23. ábra Rekonstrukció

Számítástechnikai eszközök

A XXI. század fejlett számítástechnikai eszközeit érdemes felhasználni a tűzvizsgálat elemzési szakaszában. A 2 dimenzióban, manuálé formájában rögzített adatok teljes mértékben alkalmazhatók a számítógépes pontos, léptékhelyes rajzi megjelenítéshez, továbbá az abból építhető virtuális 3 dimenziós modell készítéséhez. A szemléletes virtuális 3D-s megjelenítés segíti a vizsgálat elemzési fázisát, akár hetek, hónapok elteltével is élethűen őrizi az addigra rég megváltoztatott eredeti helyszín virtuális mását. A bizonyítási eljárás során közérthetően, egyszerűen szemlélteti a lezajlott események egy-egy jelentős szakaszát.

Tűzmodelleket, tűzmodellezést, szimulációkat végző szoftvereket alkalmaznak épületekben kialakulható, feltételezett tüzek lefolyása, az áramlási viszonyok elemzése érdekében (lásd később).

A tűzeseti helyszíni szemle során a legelterjedtebb és megfelelő alkalmazás mellett a valóságot leghűbben tükröző állapotrögzítési módszer a fényképfelvételek készítése. A fényképes dokumentálás azonban nem helyettesítheti a fentiekben említett lényegyet kiemelő absztrahált rajzi megjelenítést. Viszont ezáltal a módszer által rögzíthető valamennyi adat, nyom, elváltozás, anyagmaradvány, valamennyi, az égési folyamat után hátra maradt objektív bizonyíték. A fényképes dokumentálás menete azonos elveken, a nagy és általános képek rögzítésétől a folyamatosan szűkülő, fokozatosan a lényegre, a tűz keletkezési helyére és a lehetséges gyújtóforrásra fókuszáló eljárásan alapszik. A fényképes dokumentálás elvégzése tervezett munkavégzés kell legyen. Elvégzését a rajzi dokumentálás után érdemes és javasolt végrehajtani, olyan módon, hogy a rajzokon rögzítve legyen a fényképezés útvonala, a fontosabb képfelvételek irányultsága és elhelyezkedése. A tűzvizsgálat elemzési szakaszában a fényképek egy térbeli sorrendiséget tükröznek, egy logikai menetet ábrázolnak, amelyek teljes egészében kiegészítik a rajzi vizsgálati munkarészeket, valamint egyértelműen számozott módon visszakereshetők. A fontosabb nyomokat, bizonyítékokat oly módon kell megörökíteni, hogy azok térbeli elhelyezkedése az adott helyiségben egyértelmű legyen.

Tűzidőtartam, a tűz keletkezési idejének meghatározása

A tűz keletkezési idejének mérnöki módszerekkel történő meghatározása leghatékonyabban a kiemelt időpontok elemzésének számbavételével lehetséges.

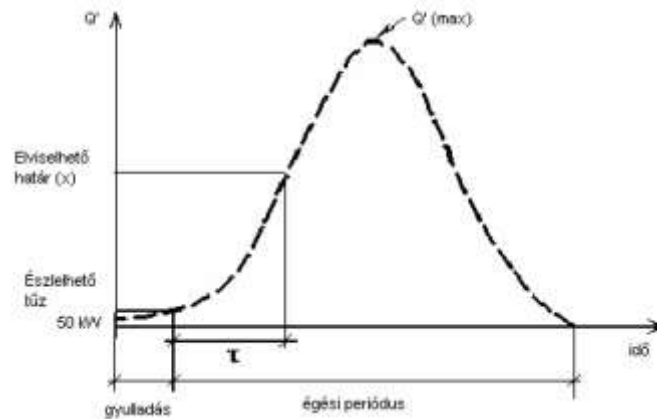
A fenti ismertetett módszerekkel gyűjtött adatok segítségével a zárt térben a tűzfejlődés különböző szakaszai jó közelítéssel meghatározhatók, amelyből kiszámítható a tűz keletkezésének időpontja.

A károsodások, az anyagveszteségek mértéke mind időhöz köthető, ezért abból megállapítható egy kezdeti időpont. Az anyagok éghetőségi paramétereit laboratóriumi vizsgálatokkal lehet megállapítani. A mérésre használt eszközöket ún. kalorimétereknek nevezzük. A tárgyak (esetünkben jellemzően bútorok, burkolatok) éghetőségi jellemzőit, esetünkben a kiemelt fontosságú gyulladási időt, az égés folyamán végbe menő tömegveszteség sebességét, stb. különböző kaloriméterekkel mérhetjük:

- Cone-kaloriméter
- Bútor kaloriméter
- Szobasarok kaloriméter

A tűzterhelés függvényében meghatározható az égési folyamat időintervalluma.

Az adott tűzfejlődési szakaszhoz tartozik egy jellemző hőmérséklet, amely az elváltozásokból, károsodásokból kiolvasható. Az égett anyagok ismeretében azok égése során felszabaduló hő az idő függvényében nő, ezért a maximum hőmérséklet elemzése után az ismeretlen idő kiszámítható.



24. ábra Hőmérséklet maximum¹⁵

Megismert égett anyagok (bútorok, burkolatok, stb.) esetében a lángterjedés (vízszintes, függőleges) sebessége kiszámítható. A megtett út mérhető, ezáltal az idő tényező meghatározható. Objektív információt jelentenek a beépített tűzjelző berendezés által rögzített adatok, időpontok elemzése. További információt nyújthat a tűzjelző adatbázisában rögzített időpontok elemzése, amelyből a tűzterjedés sebessége leszűrhető a térben folyamatos — érzékelők által történő — adatközlés révén.

A tűz keletkezési idejének megállapításához fontos adat az elsőként meggyulladt tárgy és fizikai tulajdonságainak, valamint közvetlen környezetének ismerete. Ez a kiindulási pont meghatározó a tűzfejlődés időintervallumainak alakulásában. Ez az állapot gyakorlatilag minden tüzeset során egyedi. Egy átlagosan berendezett helyiség tűzfejlődése négy csoportba sorolható:

- Gyors tűzfejlődés (nagy csúcs-hőtermelési sebesség; éghető anyag és megfelelő rendelkezésre álló oxigén jelenléte, megfelelő légcserre, égésgyorsító anyag, stb.; gázok, folyadékok égése során, vagy textíliák, drapériák lángra lobbanása esetén)
- Késleltetett tűzfejlődés (közepes csúcs-hőtermelési sebesség; jellemzően a lángra lobbanást megelőző izzási folyamat, lassú égési folyamat)
- Lassú tűzfejlődés (alacsony csúcs-hőtermelési sebesség; lappangó égésekre jellemző, lassú, de fokozatos hőtermelődé; $Q_{\text{hőterm.}} > Q_{\text{hőelvez.}}$)

- Korlátozott égés (éghető anyag vagy oxigén mennyiség jelentős korlátozottsága, lokális kiterjedés)

A tűzidőtartam és a tűzkeletkezés időpontjának meghatározásához szükséges az alapadatok ismerete a tűzhelyszínen tapasztaltak és a rendelkezésre álló laboratóriumi adatok alapján. Ezt követően az ezekből számított időtartamok segítségével az oltás befejezésétől visszszámítható a tűzkeletkezés időpontja. A számítások sok esetben rendkívül bonyolult matematikai összefüggéseket takarnak, és a sok ismeretlen tényező miatt az algoritmusok használata is nehéz. Ennek ellenére a módszer által, pusztán objektív bizonyítékok felhasználásával, számítható a tűz keletkezésének ideje, függetlenül a szemtanúk nyilatkozataitól.

Tűzmodellek

Matematikai tűzmodellek alkalmazása a mérnöki módszerek egyik leginnovatívabb eredménye. A tűzvizsgálati eljárás során gyűjtött információk, mért és számított adatok felhasználásával ellenőrizhetővé válik egy-egy zárt téri tüzeset lefolyása, amely közelítő eredményt nyújtva alátámaszthatja, vagy cáfolhatja az addig elért vizsgálati eredményeinket.

A tűzmodellezés csoportosítása:

- *Fizikai modellek:*
 - *Valódi méretű modellek:* A tűz helyszínét valódi méretben építik meg, mérőműszerekkel szerelik fel. Költséges módszer annak megállapítására, hogy a valóságosnak megfelelő feltételek között a tűz hogyan viselkedik.
 - *Kicsinyített méretű modellek:* A valóságos tűzhelyszín arányosan kicsinyített másai. Hátránya, hogy nem minden tűzparaméter adaptálható a valódi méretekre.
 - *Laboratóriumi vizsgálatok:* Alapadatokat szolgáltat a matematikai modellek számára, amelyek lehetnek: gyulladási hőmérséklet, füstfejlődési sebesség, füstösszetétel, stb.
- *Matematikai modellek:*
 - *Determinisztikus modellek:* A folyamatok leírása az égés és tűzfejlődés fizikai, kémiai, fizikai-kémiai törvényszerűségeinek ismeretében, és egyéb természeti törvények felhasználásával történik.
 - *Zóna modellek:* Olyan, átlagosan berendezett, szokványos méretű helyiségek vizsgálatára alkalmas, ahol a tűz fejlődése során egy meleg felső zóna és egy hidegebb alsó zóna alakul ki.
 - *Cellamodellek:* Tetszőleges méretű, alakú, akár több helyiség vizsgálatára is

alkalmas, mivel a tér több ezer, kocka alakú cellára van felosztva. Az eljárás számítástechnikai eszközökkel elemzi a fluidumok áramlását, így főként a füst terjedésének vizsgálatára alkalmas.

- *Sztocasztikus modellek:* Valószínűség számítás segítségével, statisztikai adatok ismeretében mutatja be a helyiségen belüli és helyiségek közötti tűzterjedést.

A tűzmodellezés felhasználási területei:

Fizikai modelleket alkalmaznak többek között az épületszerkezetek tűzállósági paramétereinek vizsgálatára, a homlokzati tűzterjedés meghatározására, elsősorban az épületek biztonságosabb, gazdaságosabb kivitelezése céljából.

A matematikai modellek tűzmodellező szoftverek segítségével szimulálják a tűz fejlődését, terjedését. Elsősorban a tüzeseteket megelőzően alkalmazzák, az építmények tervezése során. A tűzmodellek megbízhatósága nagymértékben függ a betáplált adatok pontosságától. A szimulált tüzesetek változói, bizonytalansági faktorai nagyok, a tűzmodellezés során keletkezett szituációk megbízhatósága nem fogadható el feltételek nélkül.

A tűzmodellezés felhasználása a tűzvizsgálati eljárásokhoz

A tűzvizsgálat mérnöki jellegű fejlesztésének első lépése egy a tüzesetek és beavatkozás-elemzések során készített – tűzmodellezéshez használható információkkal rendelkező – adatbázis készítése lenne. Ezt két úton, a legszélesebb spektrumban kellene lefedni:

1. az egyik út a tüzesetek során gyűjtött mérnöki módszerekkel történő megfelelő tapasztalatok rögzítése lenne,
2. a másik pedig laboratóriumi kísérletek alapján mért eredmények gyűjtése, rendszerezése lehetne.

Komplex, széleskörű adatbázissal rendelkezve lehetséges lenne a tűzvizsgálat által feltárt információk alapján a tűz lefolyásának tűzmodellekkel történő megjelenítése, elemzése. A szimuláció pontossága, ismerve az égett anyagokat, szerkezeti kialakításokat, körülményeket – megfelelő rekonstrukcióval –, jóval megbízhatóbb lenne, mint a feltételezett helyzetekben. A szoftver által készített szimuláció a feltételezéseket - adott vizsgálati fázisban – megerősítheti, vagy eltérés esetén további vizsgálatok lefolytatására hívhatja fel a figyelmet.

Az épülettüzek helyszínének pontos, megfelelő rekonstruálására mérnökök által használt tervező és modellező szoftverekre lenne szükség (Archicad, Autocad, stb.). Ehhez alapos, részletes, hozzáértő felmérésekre van szükség egy-egy tüzeset helyszínén.

A rekonstruált állapotot el kell helyezni tűzmodellező szoftverben és az események szimulálását a rendelkezésre álló információk alapján végre lehet hajtani. Egy lehetséges, hazánkban is elérhető szoftver a determinisztikus - cellamodell elvű Fire Dynamics Simulator (FDS, tűzdinamikai szimulátor). A modell matematikai eredményei alapján a „Smokeview” nevű program három dimenziós ábrát hoz létre, amely időben változó képkockákon mutatja be az eseményeket, mért, kiszámított értékeket, amik lehetnek a tűz-, a füst terjedésére, hőmérséklet alakulására, gázkoncentráció változására, áramlási viszonyok irányára vonatkozó információk.

A korszerű komplex tűzvédelem megvalósításához szükséges a 2015-ig tartó szemlélet megváltoztatása. A mérnöki szemléletű komplex tűzvédelem legátfogóbb megközelítését a mérnöki módszereken alapuló tűzvizsgálat megvalósításával lehet elérni, amely feltárja a további lehetőségek tárházát.

Taksony, 2015. szeptember 14.

Érces Gergő

Bibliográfia

1. FENTOR László: Tűzvizsgálat a gyakorlatban-2015, Katasztrófavédelmi szemle 2015. 22. évfolyam, 4. szám, p. 60.
2. ÉRCES Ferenc: Az új OTSZ és a Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek kapcsolata, Katasztrófavédelmi szemle 2014. 21. évfolyam, 6. szám, p. 26.
- 3-11. KULCSÁR Béla: Bevezetés az anyagok és szerkezetek tűzvédelmébe, SZIE Ybl Tűzvédelmi és Biztonságtechnikai intézet 2009. előadás vázlat
12. DR. BEDA László: Tűzmodellezés, Tűzkockázat-elemzés, Budapest, 1999, SZIE/YMMFK 2000-05, p. 30. alapján
13. DR. BEDA László: Tűzmodellezés, Tűzkockázat-elemzés, Budapest, 1999, SZIE/YMMFK 2000-05, p. 31. alapján
14. BARTHA Iván, FENTOR László: A tűzvizsgálat alapjai, Budapest, 2006, Fővárosi Tűzoltóparancsnokság, p. 58.
15. KULCSÁR Béla: Bevezetés az anyagok és szerkezetek tűzvédelmébe, SZIE Ybl

Tűzvédelmi és Biztonságtechnikai intézet 2009. előadás vázlat

A mérnöki szemléletű tűzvizsgálat a NAGY László Zoltán által összeállított: Alkalmazott Tűzvizsgálat, Budapest, 2012, Magyar Rendvédelmi Kar, Budapesti Tűzoltó Szövetség, 2. fejezet: ÉRCES Gergő: Otthon jellegű létesítmények tűzvizsgálata p. 58-165. alapszik.